

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Katarina Katić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Katarina Katić

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Ovaj rad je rađen u sklopu i-RESEV projekta financiranog od strane Hrvatske zaklade za znanost koja je potakla istraživanja i omogućila prikupljanje podataka, bez čega ovaj rad ne bi bio moguć no izneseni podaci i rezultati niti u kom slučaju ne održavaju stajališta HRZZ-a.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Nevenu Duiću na pruženoj prilici za rad na ovoj temi, te pomoći i savjetima pri izradi rada. Zahvaljujem se asistentu dr.sc. Goranu Krajačiću koji mi je svojim savjetima pomogao i usmjeravao me tijekom izrade rada. Posebne zahvale upućujem asistentu dipl. ing. Luki Perkoviću na pomoći tijekom izrade rada i korisnim raspravama, pruženom strpljenju i vremenu, te pomoći za prikupljanje potrebnih podataka i literature.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i cimerici Mariji na podršci i razumijevanju prilikom izrade rada.

Ovaj rad posvećujem majci Slavici i ocu Mirku koji su mi svojim velikim odricanjem omogućili studiranje i pružili mi potporu tijekom cijelog razdoblja školovanja.

Katarina Katić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA	5
SAŽETAK.....	9
SUMMARY	10
1. UVOD.....	11
2. METODOLOGIJA	14
2.1. <i>Four Step</i> model (FSM)	17
2.1.1. Generiranje putovanja	20
2.1.2. Distribucija putovanja	23
2.1.3. Izbor prometnog sredstva.....	24
2.2. Satna potrošnja električnog vozila	25
2.3. H2RES	28
2.4. Strategije punjenja električnih vozila.....	30
2.4.1. Neregulirano (dump) punjenje	30
2.4.2. Pametno (smart) punjenje	30
2.4.3. V2G.....	30
3. PRIMJENA FSM-A NA IZRAČUN SATNE DISTRIBUCIJE POTROŠNJE EV TE STANJA NAPUNJENOSTI AGREGATNE BATERIJE ZA SLUČAJ GRADA ZAGREBA	32
3.1. Prikupljanje i obrada podataka.....	32
3.1.1. Prikupljanje i obrada podataka za FSM	32
3.1.2. Prikupljanje i obrada podataka o vozilima.....	34
3.1.3. Prikupljanje i obrada podataka o potrošnji električne energije.....	34
3.1.4. Prikupljanje i obrada podataka o modelu električnog vozila.....	36
3.2. FSM.....	37
3.3. Scenariji penetracije električnih vozila u Zagrebu.....	47
3.3.1. Scenarij 10% penetracije električnih vozila u Zagrebu	47
3.3.2. Scenarij 20% penetracije električnih vozila u Zagrebu	49
3.3.3. Scenarij 30% penetracije električnih vozila u Zagrebu	50
3.3.4. Scenarij 40% penetracije električnih vozila u Zagrebu	51
3.3.5. Scenarij 50% penetracije električnih vozila u Zagrebu	52
3.4. Popunjenost parkirnih mjesta.....	54
4. UTJECAJ INTEGRACIJE ELEKTRIČNIH VOZILA NA KRIVULJU POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA GRAD ZAGREB	55
4.1.1. Scenarij 10% penetracije električnih vozila u Zagrebu	57
4.1.2. Scenarij 20% penetracije električnih vozila u Zagrebu	57
4.1.3. Scenarij 30% penetracije električnih vozila u Zagrebu	58
4.1.4. Scenarij 40% penetracije električnih vozila u Zagrebu	59
4.1.5. Scenarij 50% penetracije električnih vozila u Zagrebu	60

5. PROCJENA GODIŠNJIH EMISIJA CO ₂ IZ OSOBNIH VOZILA UZ INTEGRACIJU ELEKTRIČNIH VOZILA ZA SLUČAJ GRADA ZAGREBA	62
5.1. Europske emisijske norme	62
5.2. Osobna vozila prema starosti vozila i vrsti goriva	64
5.3. Godišnje emisije CO ₂ osobnih vozila za referentni scenarij	65
5.3.1. Godišnje emisije CO ₂ vozila na dizel	65
5.3.2. Godišnje emisije vozila na benzin	66
5.3.3. Godišnje emisije vozila pogonjena na ukapljeni naftni plin (UNP)	67
5.3.4. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila	67
5.4. Scenarij promjene strukture gradskog prometa	67
5.4.1. Godišnje emisije električnih vozila	68
5.4.2. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 10% EV	68
5.4.3. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 20% EV	69
5.4.4. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 30% EV	69
5.4.5. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 40% EV	70
5.4.6. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 50% EV	71
5.4.7. Usporedba CO ₂ emisija svih scenarija	71
6. ZAKLJUČAK	73
LITERATURA	76
PRILOZI	79

POPIS SLIKA

Slika 1.	Osnovni koraci pri izvođenju rada	14
Slika 2.	Dijagram toka metodologije rada	16
Slika 3.	Four Step Model	17
Slika 4.	Dijagram toka FSM-a	19
Slika 5.	Proračun potrošnje električne energije EV-a	25
Slika 6.	Dijagram toka H2RES-a	29
Slika 7.	Struktura registriranih vozila na motorni pogon grada Zagreba u 2010.	34
Slika 8.	Proračunata potrošnja električne energije za Zagreb	35
Slika 9.	Unutarnje zone Grada Zagreba	37
Slika 10.	Broj putovanja osobnim vozilom prema namjeni za Zagreb	45
Slika 11.	Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za karakterističan dan	45
Slika 12.	Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za subotu	46
Slika 13.	Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za nedjelju	46
Slika 14.	Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 10% EV u Zagrebu	48
Slika 15.	Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 10% EV u Zagrebu	48
Slika 16.	Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 20% EV u Zagrebu	49
Slika 17.	Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 20% EV u Zagrebu	49
Slika 18.	Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 30% EV u Zagrebu	50
Slika 19.	Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 30% EV u Zagrebu	51
Slika 20.	Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 40% EV u Zagrebu	51
Slika 21.	Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 40% EV u Zagrebu	52
Slika 22.	Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 50% EV u Zagrebu	53
Slika 23.	Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 50% EV u Zagrebu	53
Slika 24.	Položaj parkirnih mjesta u centralnim zonama u Zagrebu	54
Slika 25.	Satna krivulja potrošnje električne energije za punjenje EV za scenarij s 50% EV	56
Slika 26.	Ukupna potrošnja električne energije s 10% penetracijom električnih vozila	57
Slika 27.	Ukupna potrošnja električne energije s 20% penetracijom električnih vozila	58
Slika 28.	Ukupna potrošnja električne energije s 30% penetracijom električnih vozila	59
Slika 29.	Ukupna potrošnja električne energije s 40% penetracijom električnih vozila	60
Slika 30.	Ukupna potrošnja električne energije s 40% penetracijom električnih vozila	61
Slika 31.	Godišnje emisije CO ₂ za osobna vozila na dizel u Zagrebu	66
Slika 32.	Usporedba emisija CO ₂ za različite scenarije penetracije EV	72
Slika 33.	Usporedba troškova emisija CO ₂ za različite scenarije penetracije EV	72

POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj zaposlenih u uslužnim djelatnostima u Zagrebu	32
Tablica 2. Broj zaposlenih u ostalim sektorima u Zagrebu	33
Tablica 3. Broj kućanstava po gradskim četvrtima u Gradu Zagrebu	33
Tablica 4. Vrste električnih vozila i njihove karakteristike.....	36
Tablica 5. Koeficijenti za računanje produkcija putovanja za Zagreb	38
Tablica 6. Produkcije po zonama prema namjeni putovanja.....	39
Tablica 7. Podaci o prosječnom dnevnom prometu za vanjske postaje	40
Tablica 8. Ulazni podaci za unutarnja-vanjska/vanjska-unutarnja putovanja	40
Tablica 9. Produkcije putovanja osoba vanjskih zona	40
Tablica 10. Atraksije putovanja osoba vanjskih zona.....	41
Tablica 11. Balansirajući faktor	41
Tablica 12. Balansirane atrakcije putovanja unutarnjih zona.....	42
Tablica 13. Ukupni broj putovanja osoba prema namjeni za Zagreb.....	43
Tablica 14. Faktor popunjenosti vozila po namjeni putovanja	43
Tablica 15. Broj putovanja vozila prema namjeni za Zagrebu.....	43
Tablica 16. Postotak putovanja vozila za radni dan	44
Tablica 17. Izračunata parkirna mjesta za centralne zone u Zagrebu	54
Tablica 18. Postrojenja koja opskrbljuju područje grada Zagreba električnom energijom.....	55
Tablica 19. Euro standardi za osobna vozila	63
Tablica 20. Euro standardi za CO ₂ za osobna vozila	64
Tablica 21. Podijela osobnih vozila prema vrsti goriva	64
Tablica 22. Podijela osobnih vozila prema starosti i vrsti goriva iz 2010. u Zagrebu	64
Tablica 23. Godišnje emisije CO ₂ za osobna vozila na dizel	65
Tablica 24. Emisije CO ₂ osobnih vozila na benzin	67
Tablica 25. Godišnje emisije CO ₂ osobnih vozila.....	67
Tablica 26. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 10% EV u Zagrebu	68
Tablica 27. Godišnje emisije osobnih vozila s 10% EV	68
Tablica 28. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 20% EV u Zagrebu	69
Tablica 29. Godišnje emisije osobnih vozila s 20% EV	69
Tablica 30. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 30% EV u Zagrebu	69
Tablica 31. Godišnje emisije osobnih vozila s 30% EV	70
Tablica 32. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 40% EV u Zagrebu	70
Tablica 33. Godišnje emisije osobnih vozila s 40% EV	70
Tablica 34. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 50% EV u Zagrebu	71
Tablica 35. Godišnje emisije osobnih vozila s 50% EV	71
Tablica 36. Broj putovanja vozila prema namjeni za Zagrebu.....	73
Tablica 37. Utjecaj potrošnje električne energije za punjenje EV	74

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
a, b, i, c	-	Koeficijenti modela
ADPTH	%	Prosječna dnevna putovanja osoba prema veličini kućanstava
ADPTP	%	Prosječna dnevna putovanja osoba prema namjeni
ADT_i	vozila	Prosječni dnevni promet
A_e	atrakcije osoba	Atrakcije vanjskih zona
A_{EV}	put. EV vozila	Broj putovanja električnim osobnim vozilom
A_{HBO}	%	Postotak HBO unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih atrakcija
A_{HBW}	%	Postotak HBW unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih atrakcija
A_j	atrakcije osoba	Broj atrakcija u zoni j
A_j^P	-	Sveukupne produkcije putovanja tipa p za analizirano područje j
A_{NHB}	%	Postotak NHB unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih atrakcija
A_z	atrakcije osoba	Atrakcije unutarnjih zona
A'_z	atrakcije osoba	Balansirane atrakcije
Balansirajući faktor	-	Faktor za balansiranje atrakcija
BEV	-	Battery electric vehicle
CEEP	-	Critical Excess of Electricity Production
CT_P	-	kontrola produkcija
Δt	min	Vremenski interval
EEA	-	European Environment Agency
$E-E_i$	put. voz.	Broj vanjskih-vanjskih putovanja vozilom
EV	-	Električna vozila
$EV\%$	%	Udio električnih vozila
f_h	%	Postotak putovanja osobnih vozila
f_{HBO}	%	Postotak HBO unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih putovanja osoba od I-E, E-I _i
f_{HBW}	%	Postotak HBW unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih putovanja osoba od I-E, E-I _i
F_{ij}	min	Friksijski faktor koji se odnosi na prostornu odvojenost između zona i i j

f_{NHB}	%	Postotak NHB unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih putovanja osoba od I-E, E-I _i
FSM	-	Four Step Model
$f_{\text{vec.occup}}$	osoba/vozila	faktor popunjenosti vozila
HBO Atrakcije	-	Osobne atrakcije putovanja za HBO putovanja
$\text{HBO}_{\text{I-E,E-I}}$	put.osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBO putovanja vozila
$\text{HBO}_{\text{I-E,E-I}}$ Atrakcije	atrakcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBO atrakcija
$\text{HBO}_{\text{I-E,E-I}}$ Produkcije	produkcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBO produkcija
HBO_{od}	put. osoba	Tablica putovanja HBO u O-D formatu
HBW Atrakcije	-	Osobne atrakcije putovanja za HBW putovanja
HBW Produkcije	-	Osobne atrakcije putovanja za HBW putovanja
$\text{HBW}_{\text{I-E,E-I}}$	put.osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBW putovanja osoba
$\text{HBW}_{\text{I-E,E-I}}$ Atrakcije	atrakcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBW atrakcija
$\text{HBW}_{\text{I-E,E-I}}$ Produkcije	produkcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih HBW produkcija
HBW_{od}	put.osoba	Tablica putovanja HBW u O-D formatu
HH	kućanstva	Broj kućanstava
HH(1)	kućanstva	Broj kućanstava s 1 ukućanom
HH(2)	kućanstva	Broj kućanstava s 2 ukućana
HH(n)	kućanstva	Broj kućanstava s n ukućana
ICT	-	Information and communications technology
I-E, E-I _i	put.voz.	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih putovanja vozila
K_{ij}	-	Izborni regulacijski faktor distribucije za izmjenu između zona i i j
LEV	-	Low emission vehicle
LOLP	-	Loss of Load Probability
M_{homet}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku t i parkirana su u trenutku t
M_{homet1}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i parkirana su u trenutku t
M_{homet2}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i parkirana su u trenutku t

M_{roadt}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku t i ostala su na cesti u trenutku t
M_{roadt1}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i ostala su na cesti u trenutku t
M_{roadt2}	put. vozila	Putovanja električnih vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i ostala su na cesti u trenutku t
N_{dt}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku t i ostala su na cesti u trenutku t
N_{dt1}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i ostala su na cesti u trenutku t
N_{dt2}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i ostala su na cesti u trenutku t
NHB Atrakcije	-	Osobne atrakcije putovanja za NHB putovanja
$NHB_{I,E,E-I}$	put.osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih NHB putovanja vozila
$NHB_{I,E,E-I}$ Atrakcije	atrakcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih NHB atrakcija
$NHB_{I,E,E-I}$ Produkcije	produkcije osoba	Broj unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih NHB produkcija
NHB_{od}	put. osoba	Tablica putovanja NHB u O-D formatu
N_{pt}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku t i parkirana su u trenutku t
N_{pt1}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i parkirana su u trenutku t
N_{pt2}	vozila	Električna vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i parkirana su u trenutku t
OD_{ij}	put. osoba	Matrica broja putovanja osoba
OE	osobe	Broj zaposlenih u ostalim gospodarskim sektorima
OIE	-	Obnovljivi izvori energije
P_e	produkcije osoba	Produkcije vanjskih zona
P_{HBO}	%	Postotak HBO unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih produkcija
P_{HBW}	%	Postotak HBW unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih produkcija
PHEV	-	Plug-in hybrid electric vehicle

P_i	produkcije osoba	Broj produkcija u zoni i
P_i^P	-	Sveukupne produkcije putovanja tipa p za analizirano područje i
P_{NHB}	%	Postotak NHB unutarnjih-vanjskih, vanjskih-unutarnjih produkcija
$P_{rob,A-B}$	-	Vjerojatnost putovanja iz A u B
$P_{rob,B-A}$	-	Vjerojatnost putovanja iz B u A
P_z	produkcije osoba	Produkcije putovanja unutarnjih zona
SE	osobe	Broj zaposlenih u uslužnom sektoru
TAZ	-	Traffic Analysis Zone
TE	osobe	Ukupni broj zaposlenih
T_{ij}	put. osoba	Broj putovanja iz zone i u zonu j
t_{ij}	min	Vrijeme putovanja
tmp	min	Preostalo vrijeme vožnje vozila
ULEV	-	Ultra low emission vehicle
UNP	-	Ukapljeni naftni plin
V_h	put.vozila/h	Putovanja vozila u satu
V_{ij}	put. vozila	Matrica putovanja vozila
X	min	Omjer vožnje
Y_i	%	Postotak vanjskih-vanjskih putovanja od ADT _{i}

SAŽETAK

Radi znatnijeg smanjenja emisija ugljičnog dioksida u transportnom sektoru Republike Hrvatske potrebno je zamijeniti konvencionalna goriva s obnovljivim izvorima energije. To je moguće napraviti primjenom električnih vozila te se sve više pažnje posvećuje na njihovu integraciju u transportne i energetske sustave. Cilj diplomskog rada je ispitati transportni sustav grada Zagreba s fokusom na putovanja osobnih vozila, kako bi se dobila satna krivulja opterećenja transportnog sektora. Rad se temelji na metodi *Four step model* (FSM) za predviđanje potreba za putovanjima te opterećenje transportnog sustava.

Koristeći analogiju s modelima predviđanja prometnog opterećenja FSM potrebno je razviti matematički model primjene FSM u svrhe energetske planiranja te napraviti procjenu krivulja opterećenja u sektoru transporta u urbanim sredinama. FSM metoda dovela je do izračuna broja putovanja osobnih vozila pomoću kojih se dobila krivulja opterećenja punjenja električnih vozila (EV).

Svrha rada je ispitati utjecaj elektrifikacije transporta na krivulju potrošnje električne energije u Zagrebu. Proračuni i ispitivanja provedena su za pet scenarija s različitim postotkom penetracije električnih vozila. Proračunato je i opterećenje sustava u H2RES-u te je prikazan utjecaj integracije električnih vozila na elektroenergetski sustav grada Zagreba. Analizom rezultata utvrdilo se da integracija EV negativno utječe na elektroenergetski sustav Grada Zagreba te da neregulirano punjenje EV negativno utječe na distribuciju krivulje potrošnje.

U radu su se analizirale i ukupne emisije CO₂ proizvedene u Zagrebu iz osobnih vozila. Pokazano je da se povišenjem udjela električnih vozila smanjuju ukupne emisije CO₂. S obzirom na referenti scenarij zabilježeno je smanjenje emisija CO₂ od 34,7% u scenariju s penetracijom električnih vozila od 50%. Uz smanjenje emisija CO₂ integracijom električnih vozila se ostvaruje smanjenje drugih štetnih produkata izgaranja CO, NO_x, THC čestice i buke.

Ključne riječi: električna vozila, Four Step Model, krivulja opterećenja transportnog sustava, emisije CO₂

SUMMARY

To reduce the greenhouse emissions of the Croatian transport sector conventional fuels have to be replaced with energy produced from renewable sources. Technologies that are getting the most attention nowadays are various types of electric vehicles. Integration of electric vehicles in the transport and energy systems is a way to significantly reduce greenhouse emissions. The purpose of this paper is to examine the transportation system of the City of Zagreb, with a focus on personal vehicle trips and to obtain the power load curve for the transport sector. The paper is based on travel demand forecasting, also referred to as the four step model (FSM). The FSM is used for the forecasting of future demand and performance of a transportation system, and it was developed for the estimation of infrastructure projects.

Using the analogy with models for forecasting traffic load FSM it is necessary to develop a mathematical model for the application of the FSM for the purpose of energy planning and an assessment of load curves in the transport sector in urban areas. FSM method has led to a calculation of the number of trips of passenger vehicles that resulted with acquiring charging load curves for electric vehicles (EV).

The purpose of this thesis is to examine the impact of electrification in the transport sector on the curve of the electricity consumption in Zagreb. Calculations and tests were conducted for five scenarios with different percentage of the penetration of electric vehicles. The load of the power system was analyzed in H2RES to demonstrate the influence of the integration of electric vehicles on the electric power system of Zagreb. The results of the analysis show that that the integration of EV negatively affects the electrical system of the City of Zagreb and that dump charging adversely affects the distribution power curve.

The total CO₂ emissions produced in Zagreb from passenger cars were also analyzed in this paper. It is shown that increasing the share of electric vehicles in the transport sector reduce overall CO₂ emissions. Given the baseline scenario that was compared with the scenario with 50% penetration of electric vehicles it is observed a reduction in CO₂ emissions by 34.7%. In addition to reducing CO₂ emissions, integration of electric vehicles has a significant reduction of other toxic emissions CO, NO_x, THC particles and noise.

Key words: electric vehicles, Four Step Model, power load curves for transportation system, CO₂ emissions

1. UVOD

Prometni sektor sudjeluje s oko jednom trećinom od ukupne potrošnje energije u državama članicama *European Environment Agency* (EEA), a s više od petine ukupnih emisija stakleničkih plinova. Također je odgovoran za velik dio urbanog zagađenja zraka. Nadalje, transport ima ozbiljan utjecaj na krajolik, jer dijeli prirodna područja u male dijelove s ozbiljnim posljedicama za životinje i biljke. [1]

Promet je nezaobilazan čimbenik gospodarskog i društvenog razvoja, osobito nakon industrijske revolucije do danas. Međutim, sa stupnjem razvoja prometa (izgradnja infrastrukture, sredstva prometa) eksponencijalno je rastao i štetan utjecaj prometa na sve sastavnice okoliša (zrak, tlo, vode i dr.). Mnoga od tih onečišćenja neposredno ugrožavaju zdravlje čovjeka, ali i životinjski i biljni svijet. S druge strane, onečišćenja od prometa djeluju kao posredni učinci doprinoseći globalnim poremećajima, kao što je globalno zagrijavanje odnosno negativan utjecaj na klimu i oštećenja ozonskog sloja. U zadnjoj trećini prošlog stoljeća nastupilo je doba u kojem smo postali svjesni da trendovi porasta prometa u bliskoj budućnosti mogu bitno ugroziti kvalitetu života ljudi, ako ne i onemogućiti život barem u nekim područjima koji su danas prepoznati kao vrlo kvalitetni životni prostori. Nova politika glede prometa mora biti ugrađena u sve prioritetne temeljne političke ciljeve na svim razinama, od svjetske preko drugih: kontinentalnih, međunarodnih asocijacija, makroregionalnih i nacionalnih razina, pa sve do lokalnih sredina. [2]

Promet je istodobno važna grana gospodarstva koja pridonosi gospodarskom rastu, zapošljavanju, jačanju konkurentnosti i stvaranju dobiti. Spomenute pozitivne učinke prometa nužno je promatrati u odnosu na činjenicu da je taj sektor teret društva u različitim područjima: onečišćenje zraka, buka, prometne nesreće, prometna zagušenja i emisija CO₂. U sektoru energetike promet je najveći izvor emisije CO₂, a veći dio ukupne emisije iz prometa potječe iz cestovnog prometa (86-95% ovisno o godini), zatim iz željezničkog i domaćeg zračnog i brodskog prometa. [3] Porast emisije stakleničkih plinova najteže je suzbiti u prometu, budući da implementacija mjera vrlo sporo djeluje, a one se u najvećoj mjeri odnose na napredak u tehničkim značajkama motornih vozila. Hrvatska također treba slijediti trend smanjenja emisije iz prometnog sektora i usvojiti predložene mjere oporezivanja i poreznih olakšica, kako bi se vozni park učinio ekološki prihvatljivim. [2]

U cilju smanjenja štetnih emisija, proizvođači automobila moraju raditi na proizvodnji učinkovitih vozila i dosljedno sudjelovati u razvoju alternativnih goriva s nižim emisijama. Ovaj pristup bi trebao omogućiti smanjenje emisije CO₂ za nova vozila koja dolaze na tržište. Potrebno je navesti da briga o okolišu i prirodi nije nužno uklanjanje osobnih vozila sa cesta, nego upotreba vozila s alternativnim gorivima. Tehnologije koje danas dobivaju najviše pažnje su različite vrste električnih vozila.

Radi znatnijeg smanjenja emisija ugljičnog dioksida u transportnom sektoru Republike Hrvatske potrebno je zamijeniti konvencionalna goriva s obnovljivim izvorima energije. To je moguće napraviti primjenom električnih vozila te se sve više pažnje posvećuje na njihovu integraciju u transportne i energetske sustave. Cilj rada je ispitati transportni sustav grada Zagreba s fokusom na putovanja osobnih vozila, kako bi se dobila satna krivulja opterećenja transportnog sektora i primijenila u energetske planiranju. Za dobivanje putovanja osobnih vozila primijenjen je *Four step model* (FSM) za predviđanje potreba za putovanjima te opterećenje transportnog sustava. FSM metoda dovela je do izračuna broja vozila na cesti i prijedeni broj kilometara osobnih vozila kako bi se dobila krivulja opterećenja punjenja vozila. Također, poznavajući kapacitet baterije i broj električnih vozila na raspolaganju za punjenje FSM omogućuje dobivanje satne razine napunjenosti agregatne baterije električnih vozila.

Zadatak diplomskog rada je procijeniti utjecaj uvođenja električnih vozila (EV) u područje grada Zagreba na satnu krivulju potrošnje električne energije. U radu je objašnjena metodologija i postupci proračuna te je dat prikaz rezultata za područje grada Zagreba. Prikazani su rezultati više različitih scenarija koji obuhvaćaju različiti postotak električnih vozila u voznom parku grada Zagreba te njihov utjecaj na postojeći elektroenergetski sustav grada Zagreba.

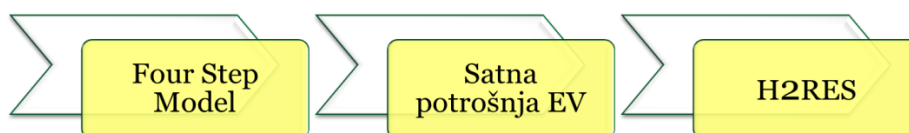
U radu je objašnjena metodologija FSM, te je dat prikaz primjene FSM-a na izračun satne distribucije potrošnje električnih vozila te stanja napunjenosti agregatne baterije za slučaj grada Zagreba. Analiziralo se pet različitih scenarija koji uključuju scenarije s 10% , 20%, 30%, 40% i 50% osobnih električnih vozila u transportnom sustavu Grada Zagreba. Za sve navedene scenarije prikazana je analiza proračuna utjecaja penetracije EV na satnu krivulju potrošnje električne energije, odnosno utjecaja potrošnje električne energije za punjenje EV

na vršna opterećenja distribucijske krivulje. Na kraju rada dana je procjena godišnjih emisija CO₂ iz osobnih vozila uz integraciju električnih vozila za slučaj Grada Zagreba

2. METODOLOGIJA

FSM je alat za prognoziranje prometa s ciljem dobivanja broja vozila ili ljudi koji će koristiti određeno prijevozno sredstvo u budućnosti. Uz pomoć metode FSM-a moguće je primijeniti na energetske planiranje i izračunati krivulju opterećenja prometa. Poznavajući krivulju opterećenja prometa lako se odredi krivulja prometa, a iz nje se može odrediti raspoloživost vozila za punjenje, ili priključenih na mrežu. Uzimajući u obzir poznati kapacitet baterije i broj vozila na raspolaganju te njihove potrebe za energijom punjenja, dobije se potrošnja električne energije za punjenje EV. *Highway to Renewable Energy Sources* (H2RES) je program za balansiranje na satnoj razini koji simulira integraciju obnovljivih izvora energije (OIE) u elektroenergetski sustav te ima mogućnost integracije različitih skladišta energije s ciljem bolje penetracije intermitentnih obnovljivih izvora energije. Rad je podijeljen u tri osnovna koraka.

Prvi korak obuhvaća razvoj FSM-a s ciljem dobivanja broja putovanja osobnih vozila. Drugi korak obrađuje dobivanje satne krivulje potrošnje energije električnih vozila temeljem FSM-a. Treći korak se odnosi na proračun opterećenje elektroenergetskog sustava u H2RES-u te prikaz utjecaja integracije električnih vozila na sustav.

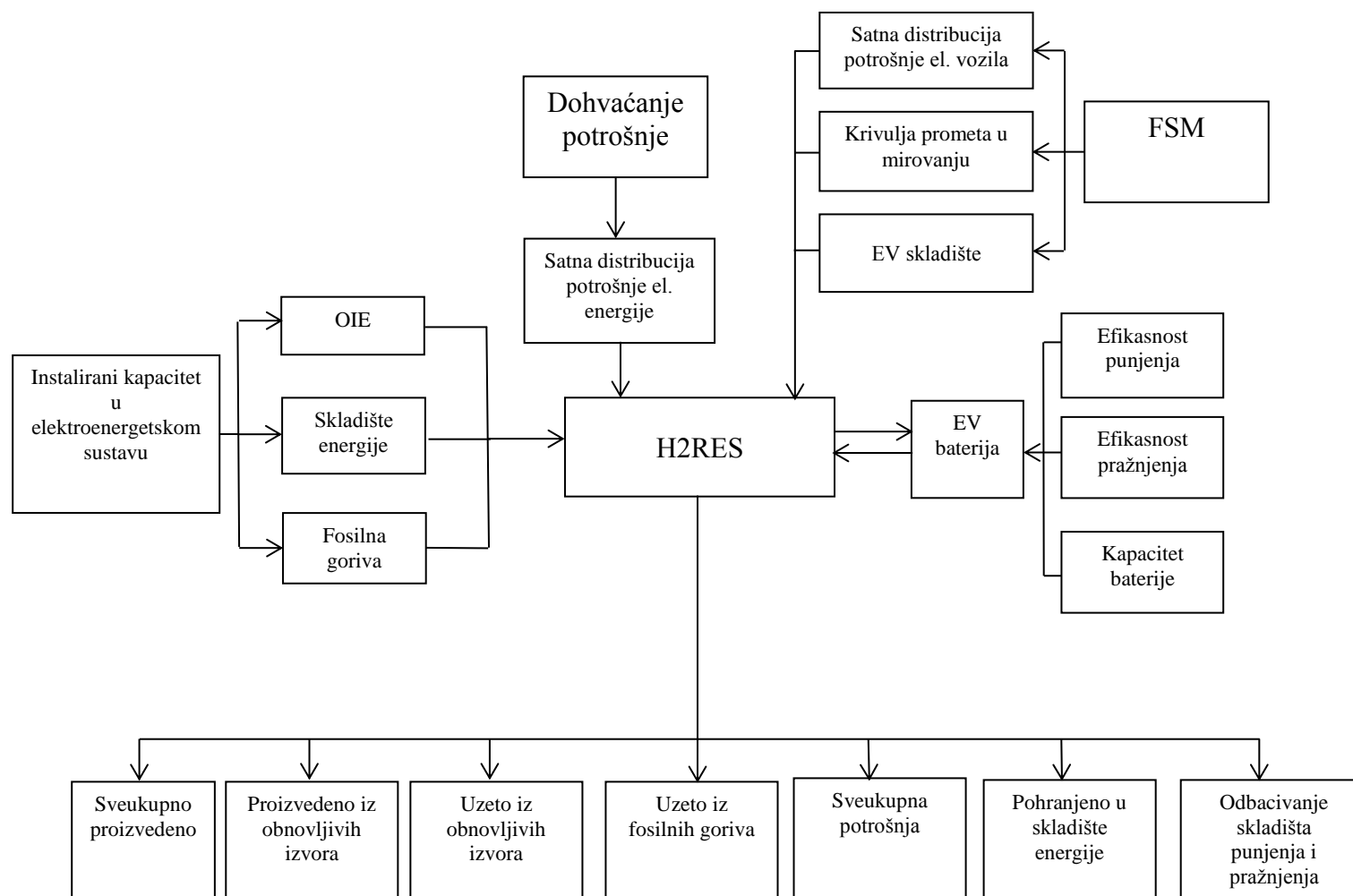


Slika 1. Osnovni koraci pri izvođenju rada

Dijagram toka [Slika 2] obuhvaća i povezuje komponente procesa koje ovaj rad obuhvaća. Za predviđanje potreba za putovanjima te opterećenje transportnog sustava koristi se *Four step model* (FSM). Nakon dobivanja broja putovanja osobnih vozila pomoću FSM-a sljedeći korak je izračun satne krivulje potrošnje električne energije za punjenje EV koji je zahtijevao prikupljanje podataka o proizvodnji, potrošnji i vozilima u Gradu Zagrebu. S obzirom na

dobivenu krivulju i satnu krivulju potrošnje električne energije te postojeći elektroenergetski sustav, gleda se utjecaj penetracije EV na krivulju potrošnje električne energije u H2RES-u.

H2RES analizira elektroenergetski sustav te utjecaj potrošnje električne energije EV na sveukupnu potrošnju električne energije. Ulazni podaci potrebni za H2RES su satna distribucija ukupne potrošnje električne energije, uključujući i EV te podaci o svim instaliranim kapacitetima postrojenja na području koje se analizira.



Slika 2. Dijagram toka metodologije rada

2.1. Four Step model (FSM)

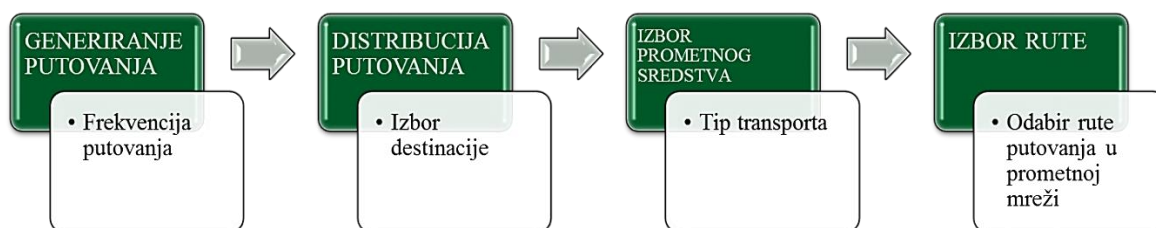
Modeliranje transporta razvijeno je u sklopu procesa analize prijevoza u SAD-u, a njegova početna primjena analitičkih metoda je počela 1950, koja je kasnije dovela do prve primjene modela u četiri koraka u studiji koja je rađena za transportni sustav za područje grada Chicago.

FSM je primarni alat za predviđanje budućih potreba i performanse transportnog sustava, obično je definiran na regionalnoj ili pod-regionalnoj razini. Sustav modela je razvijen za ocjenjivanje velikih infrastrukturnih projekata. Primjena prognostičkih modela putovanja je kontinuirani proces. [4], [5]

Jedinica analize koja se koristi u putničkim modelima baziranim na aktivnostima je dan u tjednu. Implicitna pretpostavka je da postoji mala razlika u uzorku aktivnosti putovanja u različitim danima u tjednu. Istraživanje koje se fokusira čak i na jednostavne agregatne mjere u ponašanju kod modela baziranih na aktivnostima (kao što su to frekvencija putovanja, te broj i vrsta zaustavljanja tijekom jutra ili večeri) ukazalo je na vrlo bitnu međuljudsku promjenjivost tijekom radnih dana.

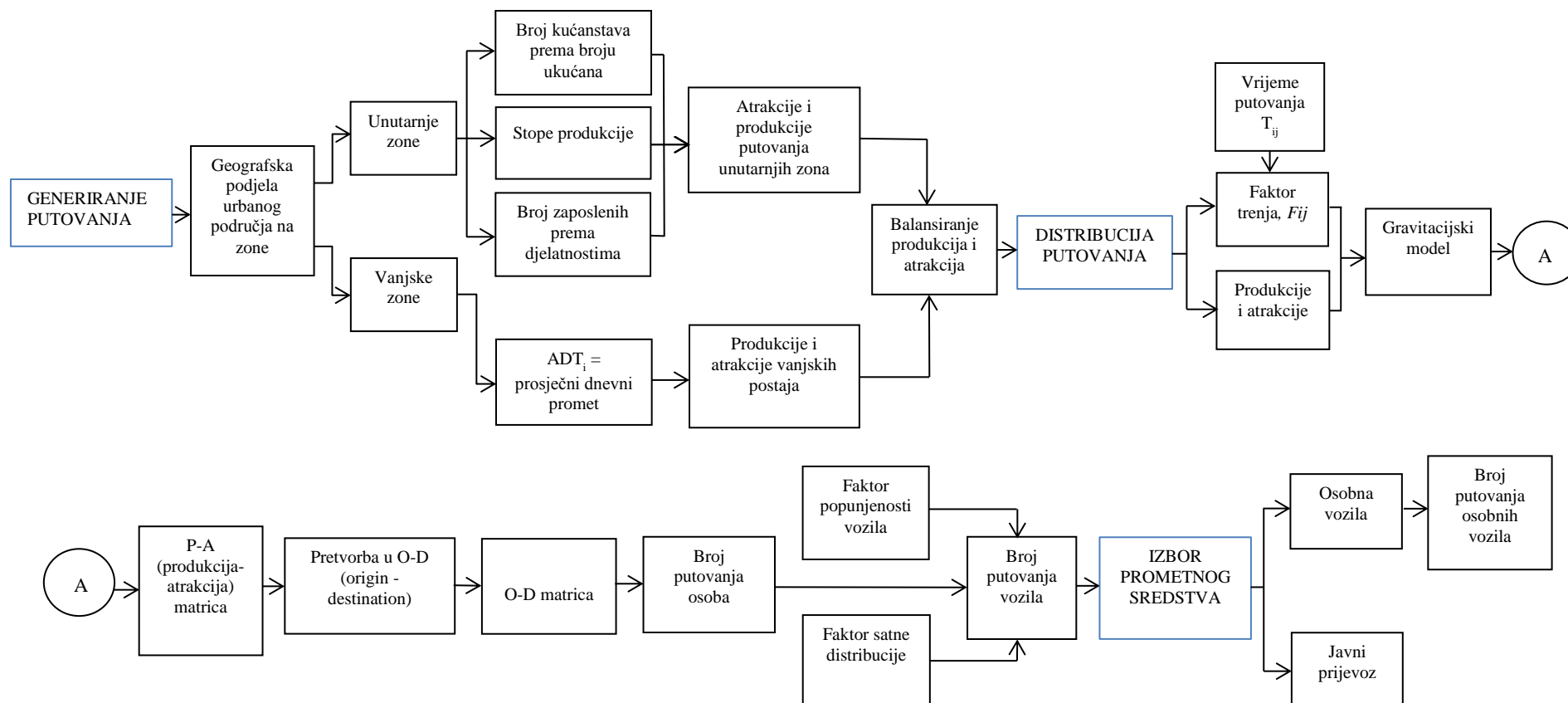
Može se očekivati značajne varijacije od dana do dana kada se uzima u obzir cijeli tjedan pri razmatranju cjelokupnog obrasca putovanja baziranih na aktivnostima. Osim toga, fokus na jednom tjednu ne dopušta ispitivanje interakcije u sudjelovanju u djelatnostima između vikenda i radnih dana. Naravno, korištenje cijelog tjedan kao jedinice analize zahtjeva podatke zabilježene tijekom najmanje jednog tjedna. [6]

FSM model se sastoji od četiri glavne komponente: generiranje putovanja, distribucija putovanja, izbor prometnog sredstva i dodjela (izbor rute putovanja). [7]



Slika 3. Four Step Model

Prvi korak je definirati područje istraživanja i podijeliti područje na geografske zone definirane kao TAZs (*Traffic Analysis Zones*). [4] Analizirano područje je definirano geografskom kordon linijom, izvan koje se mogu definirati vanjske zone koje predstavljaju putovanja koja prelaze kordon liniju. Namjene putovanja se klasificiraju u tri grupe putovanja kuća-posao (*Home Based Work trips - HBW*), kuća-ostale destinacije (*Home Based Others trips - HBO*) i putovanja kojima polazna baza nije kuća (*Non-Home Based trips -NHB*). [4] [8]



Slika 4. Dijagram toka FSM-a

2.1.1. Generiranje putovanja

Prvi korak u predviđanju putovanja je utvrđivanje putovanja koja se trenutno odvijaju u analiziranoj regiji. Generiranje putovanja se može opisati kao odluka putnika da putuje s određenom svrhom. Cilj je definirati broj osoba ili putovanja vozila prema i od aktivnosti u području koje se analizira. Faktori koji utječu na broj putovanja u analiziranom području su vlasništvo automobila, dohodak, veličina kućanstva, razvoj i pristupačnost javnog prijevoza te kvaliteta transportnog sustava. [9] Primjena socioekonomskih podataka, poput veličine kućanstava, dohotka daje najbolji model generiranja putovanja. [7] [8]

Ovaj korak se sastoji od dva modela, produkcije putovanja i atrakcije putovanja za svaku zonu u analiziranom području. Za svaku svrhu putovanja dva su posebna modela za produkciju i atrakciju. [4] Produkcije putovanja su završeci putovanja kod kuće, dok su atrakcije putovanja završeci putovanja u nestambenom području. Format produkcija-atrakcija ne ukazuje na pravi smjer putovanja, zato je potrebna pretvorba u format polazište-odredište.

$$P_{ip} = f_{Pp} \quad (1)$$

$$A_{jp} = f_{Ap} \quad (2)$$

Podaci o zaposlenju i kućanstvima se upotrebljavaju za procjenu ukupnih atrakcija i produkcija generiranih po zonama u analiziranoj regiji. Pomoću sljedećih jednadžbi računaju se osobne atrakcije putovanja za analizirano područje :

$$HBW \text{ Atrakcije} = 1.45 \times TE \quad (3)$$

$$HBO \text{ Atrakcije} = 1.7 \times SE + 0.5 \times OE + 0.9 \times HH \quad (4)$$

$$NHB \text{ Atrakcije} = 1.2 \times SE + 0.5 \times OE + 0.5 \times HH \quad (5)$$

Za izračun produkcija putovanja u analiziranom području potrebni su podaci o broju kućanstava po veličini kućanstva. Koristeći podatke za domaćinstvo, ovisno o veličini urbanog područja, mogu se dobiti podaci o prosječnom broju automobila po kućanstvu, postotak kućanstava prema broju posjedovanih automobila, prosječna dnevna putovanja osoba po domaćinstvu i po veličini kućanstva. [7] Jedna od metoda proračuna produkcija putovanja je :

$$HBW \text{ Produkcije} = ADPTP \times ADPTH \times HH(1) + ADPTP \times ADPTH \times HH(2) \dots + ADPTP \times ADPTH \times HH(n) \quad (6)$$

$$HBO \text{ Produkcije} = ADPTP \times ADPTH \times HH(1) + ADPTP \times ADPTH \times HH(2) \dots + ADPTP \times ADPTH \times HH(n) \quad (7)$$

$$NHB \text{ Produkcije} = ADPTP \times ADPTH \times HH(1) + ADPTP \times ADPTH \times HH(2) \dots + ADPTP \times ADPTH \times HH(n) \quad (8)$$

Za svaku vrstu putovanja, HBW, HBO i NHB, koeficijenti koji se upotrebljavaju u jednadžbama za računanje produkcija i atrakcija putovanja su preuzeti iz *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) izvještaja.

Svi koeficijenti i stope su nastali iz istraživanja raznih modela urbanih područja te predstavljaju konsenzus tih modela za različite veličine gradova. [4] [10]

Sljedeći korak je izračunavanje produkcije i atrakcije vanjskih postaja. Vanjska putovanja su ona putovanja koja završavaju ili počinju izvan granice (kordon linije). Metoda koja se primjenjuje za računanje vanjskih putovanja je da na svakoj vanjskoj postaji postoji podatak o prosječnom dnevnom prometu koji prelazi kordon granicu. Potrebno je dobiti broj putovanja koja se dnevno odvijaju iz unutarnjih zona izvan granice kordonske linije te njihov povratak u unutarnje zone. [7] [11]

Vanjska-vanjska te vanjska-unutarnja i unutarnja-vanjska putovanja vozila računaju se sljedećim jednadžbama [7]:

$$E - E_i = ADT_i \times Y_i \quad (9)$$

$$I - E, E - I_i = ADT_i - E - E_i \quad (10)$$

Podjela vanjskih-unutarnjih i unutarnjih-vanjskih putovanja osoba prema namjeni računa se prema:

$$HBW_{I-E, E-I} = f_{HBW} \times I - E, E - I_i \times f_{vec.occup} \quad (11)$$

$$HBO_{I-E,E-I} = f_{HBO} \times I - E, E - I_i \times f_{vec.occup} \quad (12)$$

$$NHB_{I-E,E-I} = f_{NHB} \times I - E, E - I_i \times f_{vec.occup} \quad (13)$$

Produkcije vanjskih-unutarnjih i unutarnjih-vanjskih putovanja vanjskih postaja računaju se sljedećim jednadžbama:

$$HBW_{I-E,E-I} \text{ Produkcije} = P_{HBW} * HBW_{I-E,E-I} \quad (14)$$

$$HBO_{I-E,E-I} \text{ Produkcije} = P_{HBO} * HBO_{I-E,E-I} \quad (15)$$

$$NHB_{I-E,E-I} \text{ Produkcije} = P_{NHB} * NHB_{I-E,E-I} \quad (16)$$

Izračun atrakcija vanjskih-unutarnjih i unutarnjih-vanjskih putovanja vanjskih postaja dobiva se prema:

$$HBW_{I-E,E-I} \text{ Atrakcije} = A_{HBW} * HBW_{I-E,E-I} \quad (17)$$

$$HBO_{I-E,E-I} \text{ Atrakcije} = A_{HBO} * HBO_{I-E,E-I} \quad (18)$$

$$NHB_{I-E,E-I} \text{ Atrakcije} = A_{NHB} * NHB_{I-E,E-I} \quad (19)$$

Sljedeći korak u modelu generiranja putovanja je balansiranje produkcija i atrakcija. Procijenjene sveukupne produkcije putovanja na razini kućanstava trebaju biti jednake sveukupnim atrakcijama putovanja, te svako putovanje mora imati dva kraja (produkciju i atrakciju). Proces balansiranja produkcija i atrakcija se primjenjuje za svaku svrhu putovanja, HBW, HBO i NHB. [7] [12]

Za izračun ukupne kontrole produkcija putovanja upotrebljavaju se sljedeće jednadžbe:

$$CT_P = \sum P_z + \sum P_e - \sum A_e \quad (20)$$

Sljedeći korak je izračunati balansirajući faktor za svaku vrstu putovanja :

$$\text{Balansirajući faktor} = \frac{CT_P}{\sum A_z} \quad (21)$$

Kako bi se dobile izbalansirane atrakcije putovanja za svaku zonu množe se s balansirajućim faktorom atrakcije putovanja svake pojedine zone.

$$A'_z = \text{Balansirajući faktor} \times A_z \quad (22)$$

Na kraju zonalne NHB produkcije se zamjenjuju sa zonalnim NHB atrakcijama. [7] [8]

$$NHB \text{ Produkcije} = NHB \text{ Atrakcije} \quad (23)$$

2.1.2. Distribucija putovanja

Sljedeći korak je distribucija putovanja koja spaja produkcije putovanja i atrakcije zona za svaku zonu u analiziranom području. Najčešća metoda koja se primjenjuje je gravitacijski model za distribuciju produkcija i atrakcija izračunatih u prethodnom koraku generiranja putovanja. [7] Gravitacijski model proizvodi tablicu putovanja za svaku svrhu i definira se :

$$T_{ij} = P_i \left(\frac{A_j \cdot F_{ij} \cdot K_{ij}}{\sum_{k=1}^{zones} A_k \cdot F_{ik} \cdot K_{ik}} \right) \quad (24)$$

Faktor trenja je koherentan s prostornim odvajanjem zona i to predstavlja ponašanje putnika za konzumacijom vremena i udaljenosti na određeno putovanje. [7] [8]

$$F_{ij} = a \cdot t_{ij}^b \cdot e^{c \cdot t_{ij}} \quad (25)$$

Jedna od mogućnosti računanja vremena t_{ij} tj. dobivanja *skim tree* je:

$$\text{Vrijeme putovanja (m)} = \frac{\text{Dužina veze(km)} \cdot 60}{\text{Dopuštena brzina} \left(\frac{\text{km}}{\text{h}} \right)} \quad (26)$$

Vrijeme putovanja unutar zone može se dobiti tehnikom najbližeg susjeda i jednako je polovici prosječnog vremena putovanja do najbliže zone. [7] [12]

Nakon izračuna tablice putovanja produkcija-atrakcija (P-A) sljedeći korak je pretvorba P-A formata u polazak-destinacija (O-D) format. Pretvorba se samo primjenjuje na HBW i HBO putovanja, NHB P-A tablica putovanja je po svojoj definiciji već O-D tablica. Pretvorba se vrši prema:

$$HBW_{od} = P_{rob,A-B} \cdot HBW_{pa} + P_{rob,B-A} \cdot HBW'_a / (P_{rob,A-B} + P_{rob,B-A} = 1) \quad (27)$$

$$HBO_{od} = P_{rob,A-B} \cdot HBO_{pa} + P_{rob,B-A} \cdot HBO'_a / (P_{rob,A-B} + P_{rob,B-A} = 1) \quad (28)$$

$$NHB_{od} = NHB_{pa} \quad (29)$$

Model distribucije završava dobivanjem O-D matrica koje predstavljaju broj putovanja osoba.

$$f(O - D) = OD_{ij} \quad (30)$$

Različiti jednostavni pod-modeli mogu se koristiti kako bi precizirali procjene koje su napravljene u prva tri koraka upotrebom koeficijenta za pretvorbu putovanja osoba u putovanja vozila i procjene putovanja u određenom satu tijekom dana. [13]

Kako bi se izrazila popunjenosti vozila, dnevna putovanja osoba su podijeljena s faktorima popunjenosti vozila po vozilu za pojedinu svrhu putovanja. [14]

$$V_{ij} = OD_{ij} / f_{vec.occup} \quad (31)$$

Broj putovanja vozila tijekom dana dobiva se pomoću faktora koji predstavljaju postotak putovanja vozila tijekom svakog sata unutar jednog dana za pojedino urbano područje. [7] [13]

$$(V_h)_{ij} = V_{ij} \times f_h \quad (32)$$

Krajnji rezultat je satna distribucija putovanja vozilom.

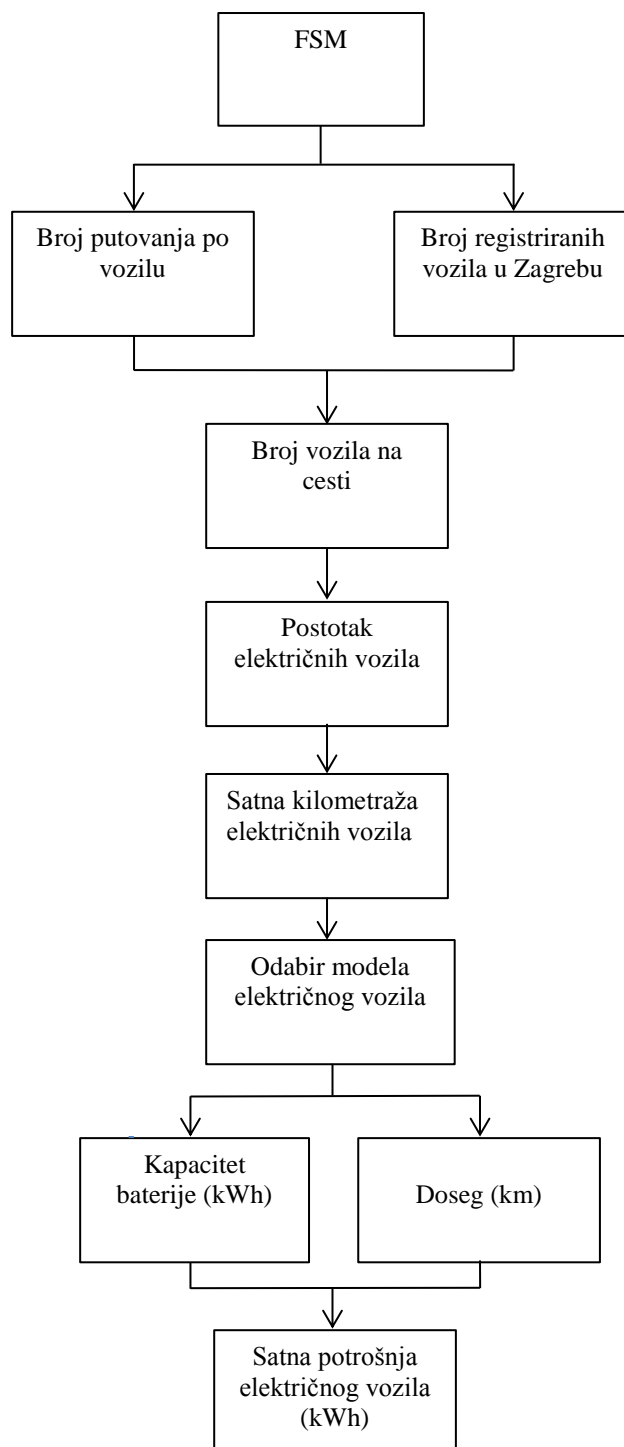
2.1.3. Izbor prometnog sredstva

Izbor prometnog sredstva je treći korak koji predviđa koji tip prijevoznog sredstva će putnik izabrati, da li će to biti osobni automobil, bicikl, javni prijevoz ili pješice. [4] Uz poznati postotak koliko se putovanja obavi s osobnim automobilom dobije se broj putovanja osobnim vozilom prema:

$$(V_{osb.vozila})_{ij} = (V_h)_{ij} \times f_{\% osb.vozila} \quad (33)$$

Krajnji rezultat FSM je broj putovanja osobnim vozilom tijekom 24 sata.

2.2. Satna potrošnja električnog vozila



Slika 5. Proračun potrošnje električne energije EV-a

Dijagram toka [Slika 5] prikazuje korake koji vode do krivulje potrošnje električne energije EV-a. U proračun satne krivulje potrošnje električne energije EV-a kreće se s ulaznim podatkom o broju putovanja osobnim vozilom dobivenim iz FSM-a. Uz poznavanje ukupnog broja registriranih vozila u urbanom području dobiva se broj vozila u prometu, odnosno broj parkiranih vozila koja su slobodna za punjenje. Uz poznavanje karakteristika električnog vozila [15] i postotka EV u voznom parku područja koje se promatra te dnevne kilometraže koje vozilo u prosjeku prođe dobiva se potrošnja električne energije za EV.

Utjecaj penetracije električnih vozila na elektroenergetski sustav će se gledati na način da će se mijenjati postotak električnih vozila od ukupnog broja osobnih vozila koja se nalaze na cesti u urbanom području. Broj putovanja osobnim električnim vozilima dobiva se prema:

$$A_{EV} = (V_{osb.vozila})_{ij} \times EV\% \quad (34)$$

Omjer vožnje se dobije dijeljenjem preostalog vremena vožnje s vremenskim intervalom koji iznosi 60 minuta.

$$X = \frac{tmp}{del_t} \quad (35)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku t i ostala su na cesti u trenutku t se računa prema:

$$N_{d_t} = A_{EV} \times M_{road_t} \times X_{d_t} \quad (36)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i ostala su na cesti u trenutku t se računa prema:

$$N_{d_{t1}} = A_{EV} \times M_{road_{t1}} \times X_{d_{t1}} \quad (37)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i ostala su na cesti u trenutku t se računa prema:

$$N_{d_{t2}} = A_{EV} \times M_{road_{t2}} \times X_{d_{t2}} \quad (38)$$

Ukupan broj vozila na cesti se dobije tako da se zbroje vozila koja su krenula u vremenu t i ostala na cesti u trenutku t , vozila koja su krenula u vremenu $t-1$ i ostala na cesti u t i vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i još su na cesti u trenutku t .

$$N_d = N_{d_t} + N_{d_{t1}} + N_{d_{t2}} \quad (39)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku t i parkirana su u trenutku t se računa prema:

$$N_{p_t} = A_{EV} \times M_{home_t} \times X_{p_t} \quad (40)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i parkirana su u trenutku t se računa prema:

$$N_{p_{t1}} = A_{EV} \times M_{home_{t1}} \times X_{d_{t1}} \quad (41)$$

Broj vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i parkirana su u trenutku t se računa prema:

$$N_{p_{t2}} = A_{EV} \times M_{home_{t2}} \times X_{d_{t2}} \quad (42)$$

Ukupan broj parkiranih vozila se dobije tako da se zbroje vozila koja su krenula u vremenu t i parkirana su u trenutku t , vozila koja su krenula u vremenu $t-1$ i parkirana su u t i vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i parkirana su u trenutku t .

$$N_p = N_{p_t} + N_{p_{t1}} + N_{p_{t2}} \quad (43)$$

Energija potrebna za vozila koja su krenula u trenutku t i parkirala se u trenutku t dobiva se pomoću:

$$E_{p_t} = A_{EV_t} \times M_{home_t} \times S \times E_{kWh_km} \quad (44)$$

Energija potrebna za vozila koja su krenula u trenutku $t-1$ i parkirala se u trenutku t dobiva se pomoću:

$$E_{p_{t1}} = A_{EV_{t1}} \times M_{home_{t1}} \times S \times E_{kWh_km} \quad (45)$$

Energija potrebna za vozila koja su krenula u trenutku $t-2$ i parkirala se u trenutku t dobiva se pomoću:

$$E_{p_{t2}} = A_{EV_{t2}} \times M_{home_{t2}} \times S \times E_{kWh_km} \quad (46)$$

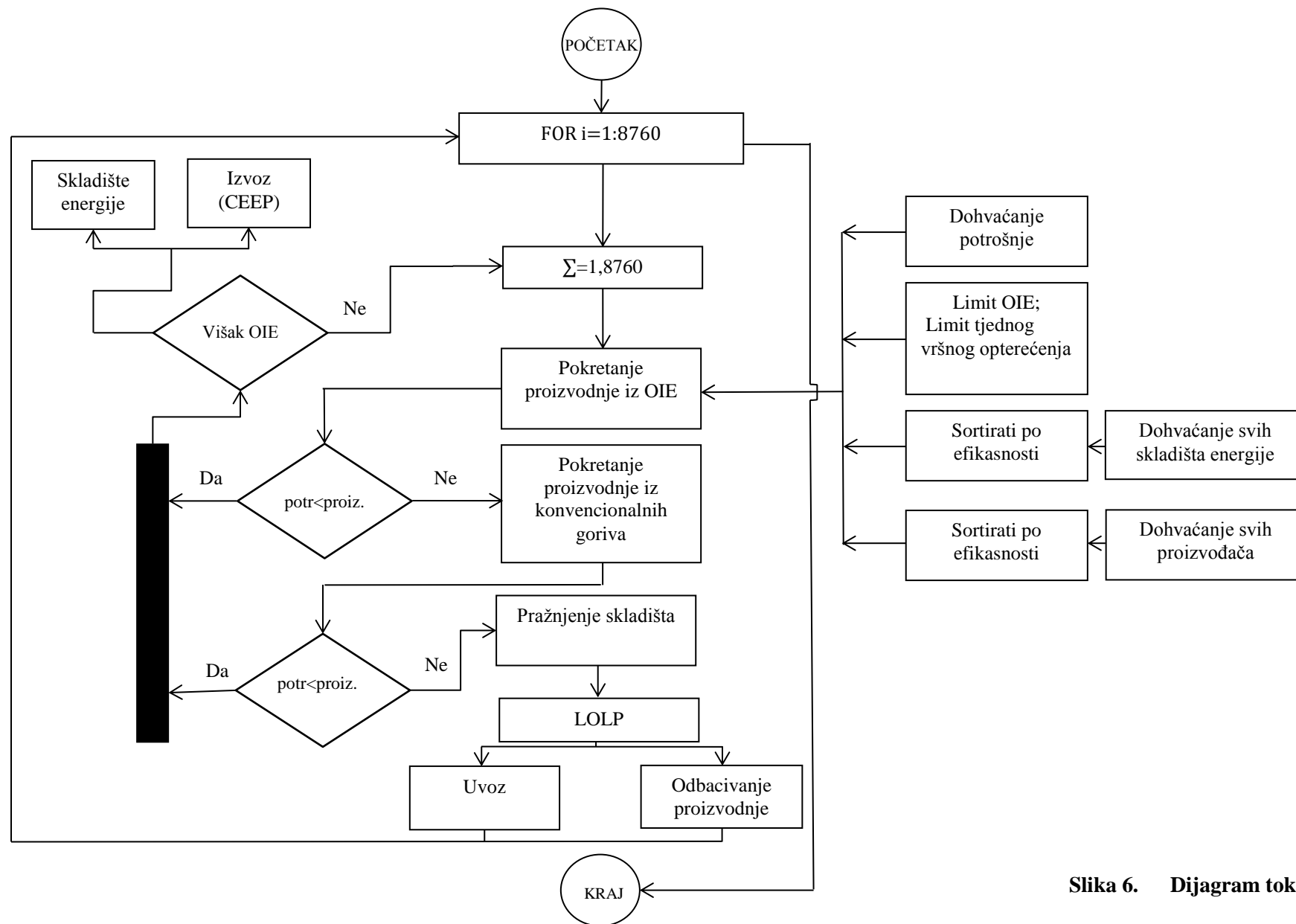
Ukupna energija potrošena na punjenje vozila parkiranih u trenutku t iznosi:

$$E_p = E_{p_t} + E_{p_{t1}} + E_{p_{t2}} \quad (47)$$

2.3. H2RES

H2RES je softverski model za balansiranje proizvodnje energije na satnoj razini koji simulira integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav. Glavna svrha modela je energetska planiranje otoka i izoliranih regija koji djeluju kao otočni sustavi, ali također može poslužiti kao alat za planiranje jedne vjetroelektrane, hidroelektrane ili solarne elektrane povezane na veći elektroenergetski sustav. [16] [17] Za simulaciju elektroenergetskog sektora koristi se modul opterećenja. Modul se temelji na zadanim kriterijima za maksimalno prihvatljivu električnu energiju iz obnovljivih izvora u elektroenergetskom sustavu, integrira dio ili proizvodnju od dostupnih obnovljivih izvora energije u sustav, dok ostatak raspoloživog potencijala ili skladišti ili odbacuje. Redoslijed izvora u opskrbi potražnje se postavlja prema kriterijima. Opterećenje se prvo zadovoljava električnom energijom proizvedenom iz OIE do vrijednosti koju dopušta sustav. Ako nije zadovoljeno, opterećenje se pokriva električnom energijom dobivenom iz izvora fosilnih goriva. Ukoliko opterećenje nije zadovoljeno iz obnovljivih i fosilnih goriva potražnja se namiruje iz uskladištene energije. Višak obnovljivih izvora električne energije može biti pohranjen u reverzibilnim hidroelektranama ili baterijama. [18] [19]

Proces u H2RES-u [Slika 6] počinje unosom satne krivulje potrošnje električne energije te definiranjem limita obnovljivih izvora energije (OIE) i limita tjednog vršnog opterećenja. S druge strane se elektroenergetski sustav oblikuje unosom instaliranih kapaciteta postrojenja koji proizvode električnu energiju na promatranom području. Također se definiraju karakteristike skladišta električne energije unosom kapaciteta baterije, efikasnosti punjenja te efikasnosti pražnjenja. Nakon što se kalkulira i zbroji svaki sat u godini krajnji rezultati pokazuju koliko je sveukupno proizvedeno električne energije, koliki je udio iz obnovljivih i udio iz fosilnih goriva potreban za pokrivanje potreba za električnom energijom. Također, H2RES daje i informaciju koliko je sveukupno energije pohranjeno u skladišta te koliki je dio pohranjen iz OIE i iz fosilnih goriva. Na kraju tu je i podatak o odbacivanju punjenja skladišta energije što znači da se skladište ne može više puniti jer je puno i podatak o odbacivanju pražnjenja skladišta što zapravo znači da se ne može uzimati energija iz skladišta jer je prazno. [19]



Slika 6. Dijagram toka H2RES-a

2.4. Strategije punjenja električnih vozila

2.4.1. Neregulirano (*dump*) punjenje

Neregulirano punjenje vozila je model koji se temelji na navikama i potrebama vozača. Vozila se pune u vremenu kada su parkirana, ovisno o zahtjevima potrošača nereguliranog punjenja električnih vozila je punjenje koje počinje odmah nakon što se baterija spoji na mrežu i puni se dok se potpuno ne napuni. Kod nereguliranog punjenja nema izmjene informacija s mrežom. Istog trenutka kada se električno vozilo spoji na mrežu punjenje počinje na maksimalnom opterećenju, ili po potrebama krivulje snage punjenja same baterije i traje dok se baterija ne napuni ili do trenutka kada korisnik ne prekine punjenje prije. [20]

2.4.2. Pametno (*smart*) punjenje

Pametno punjenje odnosi na kontrolirani proces punjenja (koji optimizira korištenje mreže i raspoložive električne energije) kako bi se smanjila dodatna ulaganja u mrežu i omogućila integraciju OIE. Kontrolni mehanizam može biti omogućen pomoću mreže, mjesta punjenja ili od strane samog vozila, dok komunikacijski sustav s mrežom omogućuje postupak punjenja koji u obzir uzima mogućnosti mreže. Cijena ili upravljački signali mogu se dostaviti putem *Information and communications technology* (ICT) infrastrukture (npr. inteligentni sustavi mjerenja i signala cijena) kako bi se omogućilo inteligentno punjenje koje će uzeti u obzir proizvodnju i mogućnosti mreže, te kako bi se omogućilo potrošaču korist uzimajući u obzir različite cijene punjenja. Pametno punjenje osigurava da je baterija svakog pojedinačnog vozila prije isključivanja omogućiti vozaču doseg za idući ciklus vožnje do punjenja.

Kroz kontrolu punjenja moguće je odgoditi punjenje tijekom vršnih opterećenja elektroenergetskog sustava. [20]

2.4.3. V2G

Vehicle-to-Grid (V2G) opisuje sustav u kojem *plug-in* električna vozila, kao što su *battery electric vehicle* (BEVs) i *plug-in hybrid electric vehicle* (PHEVs) komuniciraju s elektroenergetskom mrežom isporukom električne energije u mrežu, prigušivanjem vlastite brzine punjenja ili odgađanjem perioda punjenja. Koncept omogućuje V2G vozilima da osiguraju električnu energiju kako bi se održala ravnoteža opterećenja s *valley filling*

(punjenje noću kada je potražnja niska) i "peglanje vršnog opterećenja" (slanje električne energije natrag u mrežu kada je potražnja visoka). Takva vrsta punjenja omogućuje integraciju obnovljivih izvora energije kao što su primjerice vjetroelektrane, omogućujući pohranu viška energije proizvedene u vjetrovitim razdobljima i vraćajući ju natrag u mrežu za vrijeme visokih opterećenja, čime se učinkovito stabilizira intermitentnost vjetroelektrana. [21]

Tri su različita koncepta V2G punjenja električnih vozila:

- Hibrid ili vozilo na gorive ćelije, koji generira snagu od pohranjenog goriva, koristi vlastiti generator za proizvodnju energije za vrijeme vršnih opterećenja. Vozila služe kao distribuirana izvori za proizvodnju energije iz konvencionalnih fosilnih goriva, biogoriva ili vodika. [21]
- Električna ili *plug-in* hibridna vozila koja koriste svoj kapacitet baterije kako bi se osigurala energija tijekom vršnih opterećenja električne mreže. Ova vozila se pune izvan vremena vršnog opterećenja po jeftinijim cijenama, te na taj način pomažu da se apsorbira višak energije proizveden tijekom noćnih sati. [21]
- Solarna vozila koja koriste suvišni kapaciteta punjenja za davanje energije u električnu mrežu kada je baterija puna. Ovdje vozilo postaje učinkovita mala elektrana na obnovljivi izvor energije. Solarna vozila su još uvijek u fazi razvoja. [21]

V2G omogućuje punjenje vozila u vrijeme dostupnog "viška proizvodnje električne energije" i raspoloživog kapaciteta baterije unutar granica opterećenja priključka na mrežu. V2G vozila, uz punjenje, opskrbljuju mrežu u slučaju moguće zamjene proizvodnje i kao raspoloživa energija u baterijama koja se pohranjuje nakon zadovoljenja potrošnje energije u transportu. [21]

3. PRIMJENA FSM-A NA IZRAČUN SATNE DISTRIBUCIJE POTROŠNJE EV TE STANJA NAPUNJENOSTI AGREGATNE BATERIJE ZA SLUČAJ GRADA ZAGREBA

Zagreb je glavni i najveći grad Republike Hrvatske . Nalazi se na sjeverozapadu zemlje uz rijeku Savu. Prema popisu stanovništva iz 2011. u gradu Zagrebu živi 792.875 stanovnika. [22] Cestovni sustav grada Zagreba se sastoji od mreže s nekoliko glavnih arterija i zagrebačkom zaobilaznicom koja je zagušena autocesta s četiri traka i okružuje većinu grada. Grad Zagreb se zadnjih godina suočava s problemom gradskih gužvi koje postaju sve veće i koje uzrokuju velike kolapse u prometu. Razlog tome je povećanje broja vozila po glavi stanovnika. [23]

3.1. Prikupljanje i obrada podataka

Za izradu proračuna utjecaja elektrifikacije transporta na krivulju potrošnje električne energije bilo je potrebno prikupiti podatke potrebne za izradu FSM-a, podatke o vozilima na području grada Zagreba te podatke o potrošnji električne energije i elektroenergetskom sustavu Zagreba.

3.1.1. Prikupljanje i obrada podataka za FSM

Za izradu FSM-a bilo je potrebno pronaći i prikupiti podatke o ukupnom broju zaposlenih prema djelatnostima u Zagrebu. Također, nužni su i podaci o broju kućanstava u Zagrebu, kao i broj kućanstava prema broju članova. Svi potrebni podaci su preuzeti od Državnog zavoda za statistiku. Broj zaposlenih u uslužnim djelatnostima u svakoj gradskoj četvrti prikazuje se u tablici [Tablica 1].

Tablica 1. Broj zaposlenih u uslužnim djelatnostima u Zagrebu [24]

Gradska četvrt	Uslužni sektor	Gradska četvrt	Uslužni sektor
Brezovica	1.007	Peščenica-Žitnjak	7.502
Črnomerec	4.631	Podsljeme	6.417
Donja Dubrava	5.300	Podsused-Vrapče	5.334
Donji Grad	5.861	Sesvete	4.584
Gornja Dubrava	9.327	Stenjevec	6.235
Gornji Grad- Medveščak	7.182	Trešnjevka-jug	2.121
Maksimir	8.633	Trešnjevka-sjever	5.685
Novi Zagreb-istok	5.724	Trnje	6.456
Novi Zagreb-zapad	4.316		

Za računanje produkcija svake zone potreban je podatak o broju zaposlenih u svim ostalim gospodarskim sektorima te ukupan broj zaposlenih po zoni što prikazuje tablica [Tablica 2].

Tablica 2. Broj zaposlenih u ostalim sektorima u Zagrebu [24]

Gradska četvrt	Ostale djelatnosti	Gradska četvrt	Ostale djelatnosti
Brezovica	2.568	Peščenica-Žitnjak	9.106
Črnomerec	7.449	Podsljeme	3.129
Donja Dubrava	6.111	Podsused-Vrapče	8.199
Donji Grad	8.274	Sesvete	10.538
Gornja Dubrava	10.714	Stenjevec	8.448
Gornji Grad- Medveščak	6.521	Trešnjevka-jug	13.157
Maksimir	9.120	Trešnjevka-sjever	9.975
Novi Zagreb-istok	9.317	Trnje	8.656
Novi Zagreb-zapad	8.678		

Također, računanje produkcija i atrakcija uključuje podatke o ukupnom broju kućanstava i broju kućanstava prema broju ukućana. Tablica [Tablica 3] prikazuje podatke o kućanstvima za pojedinu gradsku četvrt u Zagrebu.

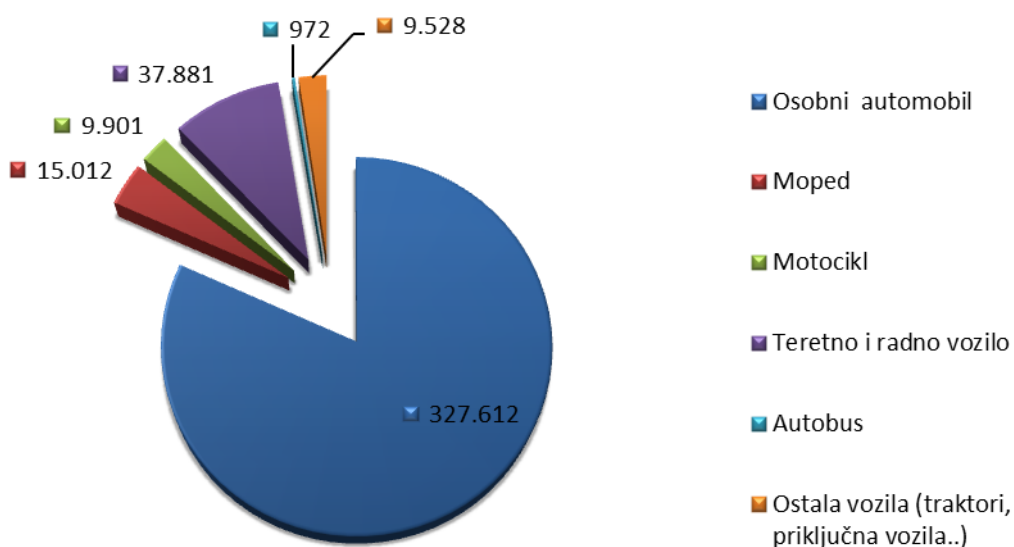
Tablica 3. Broj kućanstava po gradskim četvrtima u Gradu Zagrebu [24]

Gradska četvrt	1 član	2 člana	3 člana	4 člana	5+ članova	Ukupno kućanstava
Brezovica	397	544	516	653	888	2.998
Črnomerec	3.459	3.324	2.749	2.629	1.896	14.057
Donja Dubrava	1.769	2.248	2.231	2.588	2.290	11.126
Donji Grad	5.891	4.081	3.383	2.766	2.080	18.201
Gornja Dubrava	3.762	4.229	3.947	4.413	3.586	19.937
Gornji Grad- Medveščak	4.089	3.318	2.726	2.336	1.592	14.061
Maksimir	4.638	4.404	3.647	3.412	2.295	18.396
Novi Zagreb-istok	5.911	5.968	5.680	4.504	2.529	24.592
Novi Zagreb-zapad	3.635	3.844	3.368	3.494	2.589	16.930
Peščenica-Žitnjak	4.844	4.645	3.996	4.142	2.941	20.568
Podsljeme	933	1.193	1.064	1.289	1.121	5.600
Podsused-Vrapče	2.617	3.158	3.024	3.130	2.179	14.108
Sesvete	2.246	3.170	3.342	4.189	4.222	17.169
Stenjevec	2.494	2.649	3.011	3.453	2.013	13.620
Trešnjevka-jug	5.896	5.736	5.452	5.208	2.646	24.938
Trešnjevka-sjever	6.415	5.036	4.180	3.771	2.242	21.644
Trnje	4.840	4.155	3.535	3.225	1.764	17.519

3.1.2. Prikupljanje i obrada podataka o vozilima

U cilju provođenja elektrifikacije transporta potrebno je bilo pribaviti podatke o broju vozila na području grada Zagreba. U radu se elektrifikacija transporta odnosi samo na osobne automobile.

Broj registriranih vozila u Hrvatskoj svake godine je sve veći, pa takva je situacija i sa Gradom Zagrebom. Vozni park Grada Zagreba je raznolik, ali najveći udio među motornim vozilima zauzimaju osobna vozila. U 2010. broj registriranih osobnih vozila na području grada Zagreba je bio 327.612. [25] Prikaz strukture registriranih vozila na motorni pogon prikazan je na slici [Slika 7].

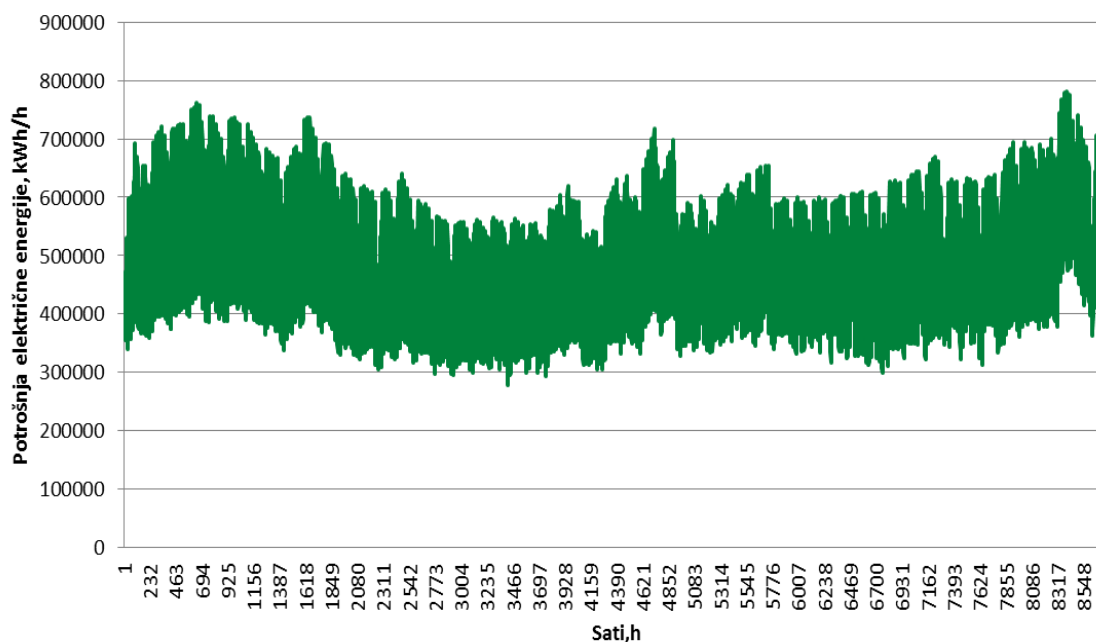


Slika 7. Struktura registriranih vozila na motorni pogon grada Zagreba u 2010. [25]

3.1.3. Prikupljanje i obrada podataka o potrošnji električne energije

Elektroenergetski sustav Grada Zagreba se može podijeliti na istočni i zapadni dio. Potreba za toplinom u Zagrebu se podmiruje iz dvije toplane locirane na Trešnjevci i Žitnjaku. Pogon EL-TO na Trešnjevci raspolaže instaliranom električnom snagom u iznosu od 87 MW te toplinskom od 440MW. Pogon TE-TO smješten na Žitnjaku veća je elektrana sa instaliranom

električnom snagom u iznosu od 440 MW i toplinskom od 850 MW. Oba postrojenja opskrbljuju potrošače toplinskom i električnom energijom s mogućnošću da jedna od njih tokom perioda toplih dana preuzme u cijelosti opskrbu grada toplinskom energijom. [26] Grad Zagreb koji je sjedište Republike Hrvatske je okarakteriziran s velikom potrošnjom električne energije. Elektroenergetsku mrežu grada Zagreba čini 19 rasklopnih postrojenja nazivnog napona 110 kV međusobno povezanih pripadajućim nadzemnim vodovima i kabelima. Proizvodnja električne energije iz lokalnih termoelektrana je nedovoljna da bi se u potpunosti pokrila potreba za električnom energijom stoga se razlika električne energije podmiruje iz 110 kV rasklopnih postrojenja. Prijenosna mreža Zagreb povezana je s Mađarskom, Slovenijom te Bosnom i Hercegovinom preko osam visokonaponskih dalekovoda. Prijenosna mreža na području Zagreb omogućuje siguran prijenos električne energije iz tri hidroelektrane dravskog sliva te HE Gojak, četiri termoelektrane te Nuklearne elektrane Krško. Ostvarena proizvodnja u 2005. godini je bila 6,2 TWh, a potrošnja električne energije je iznosila 7 TWh. [27]



Slika 8. Proračunata potrošnja električne energije za Zagreb [28]

3.1.4. Prikupljanje i obrada podataka o modelu električnog vozila

Za potrebe rada potrebno je bilo istražiti modele električnih vozila kako bi se izabrao model koji će se upotrebljavati u daljnjim proračunima. Tablica [Tablica 4] prikazuje neke od modela EV različitih proizvođača. U ovom radu izabran je model Nissan Leaf kapaciteta baterije 24 kWh. [29] U svim analiziranim scenarijima uzimale su se karakteristike ovog modela električnog vozila.

Tablica 4. Vrste električnih vozila i njihove karakteristike [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38]

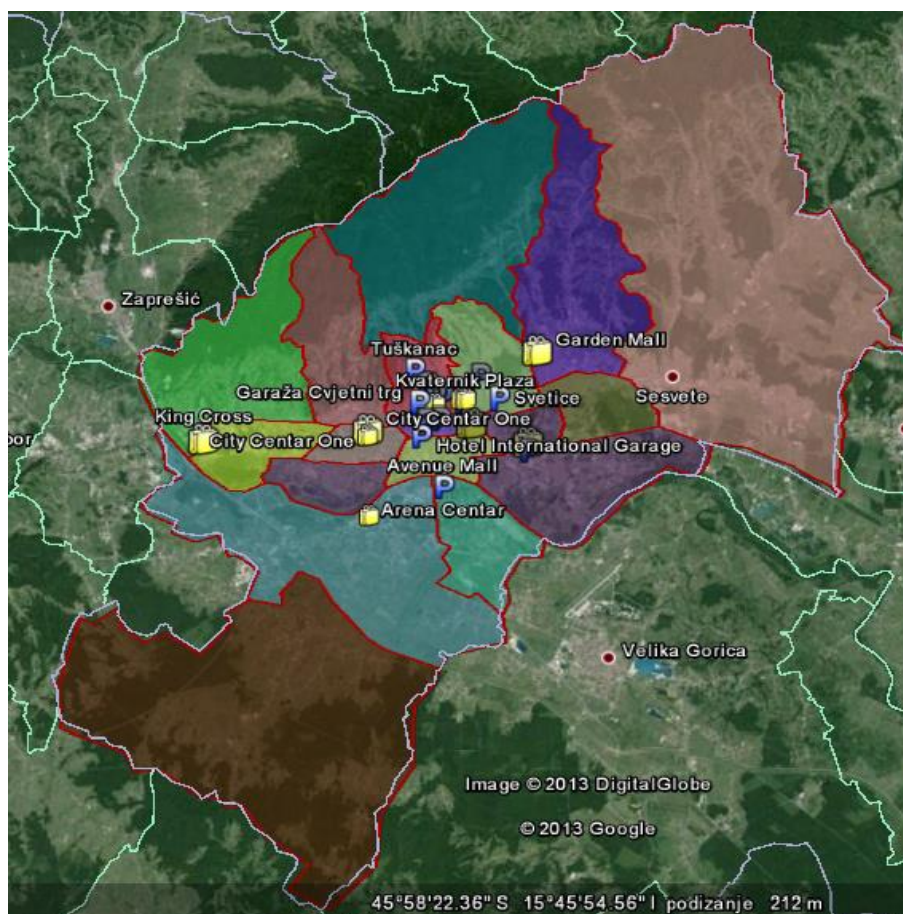
Model vozila	Kapacitet baterije (kWh)	Doseg	Snaga (kW)	Snaga punjenja (kW)	Cijena (\$)¹
Chevrolet Spark EV	20	132	110	2,8	27.495
Nissan Leaf	24	121	80	6,6	29.650
Mitsubishi i	16	100	66	2,6	29.795
Fiat 500e	24	140		6	31.800
Ford C-Max Energi	7,6	34	88	3	33.745
Chevrolet Volt	16,5	61	111	5,5	34.995
Ford Focus EV	23	122	107	6,6	35.995
Honda Fit EV	20	132	92	6,6	74.592
Toyota RAV₄ EV	41,8	166	115	10	50.645
Tesla Model S	85	426	270	10	91.070

¹ *1US\$=0,7315€

3.2. FSM

Prvi korak je podjela Grada Zagreba na zone. Zone su geografska područja koja dijele promatranu regiju koja predstavlja polaskе i destinacije putovanja unutar te regije. Kako nije moguće predstavljati svako kućanstvo, mjesto zaposlenja, *shopping* centar ili druge aktivnosti kao zasebni polazak i odredište, zone su pojednostavljene te se gledaju kao zasebni čvor iliti jedna točka. U ovom modelu Zagreb je podijeljen na 17 unutarnjih prometnih zona te 4 vanjske zone. Unutarnje zone zapravo predstavljaju površine 17 gradskih okruga: Brezovica, Črnomerec, Donja Dubrava, Donji Grad, Gornja Dubrava, Gornji Grad- Medveščak, Maksimir, Novi Zagreb-istok, Novi Zagreb-zapad, Peščenica-Žitnjak, Podsljeme, Podsused-Vrapče, Sesvete, Stenjevec, Trešnjevka-jug, Trešnjevka-sjever i Trnje. [23]

Vanjske zone predstavljaju brojači prometa na lokacijama Lučko-jug, Zaprešić-sjever, Sesevetski Kobiljak i Buševac. [14]



Slika 9. Unutarnje zone Grada Zagreba

Generiranje putovanja je izračunato na temelju prikupljenih podataka o broju kućanstava te broju zaposlenih po zonama. Koeficijenti za sve jednadžbe su preuzeti iz NCHRP izvještaja koji su izvedeni iz raznih studija za urbana područja i predstavljaju konsenzus modela za različite veličine urbanih područja. Svrhe putovanja u ovom modelu su razvrstane u putovanja kuća-posao (HBW), putovanja kuća- ostalo (HBO) i putovanja kojima baza nije stambene prirode (NHB). Generiranje putovanja se sastoji od produkcija putovanja i atrakcija putovanja. Podaci o kućanstvima i zapošljavanju koriste se za procjenu ukupno generiranih putovanja po svakoj zoni u Zagrebu. Koristeći jednadžbe (6),(7) i (8) izračunate su produkcije putovanja. Koeficijenti koji su upotrebljavani za računanje produkcija putovanja prikazani su u tablici [Tablica 5].

Tablica 5. Koeficijenti za računanje produkcija putovanja za Zagreb [7] [13]

URBANO PODRUČJE VELIČINE 500.000-999.999 STANOVNIKA						
Broj ukućana		1 član	2 člana	3 člana	4 člana	5+ članova
ADPTH		4,0	7,3	10,2	13,0	15,4
	HBW	0,23	0,24	0,23	0,21	0,18
ADPTP	HBO	0,54	0,53	0,54	0,57	0,62
	NHB	0,23	0,23	0,23	0,22	0,20

Sveukupni broj produkcija putovanja unutarnjih zona je 2.591.727, što uključuje 556.317 HBW produkcija, 1.464.450 HBO produkcija i 570.960 NHB produkcija. U tablici [

Tablica 6] su prikazane produkcije putovanja za svaku namjenu po zonama u Zagrebu.

Tablica 6. **Produkcije po zonama prema namjeni putovanja**

PRODUKCIJE PUTOVANJA			
	HBW	HBO	NHB
Brezovica	6.773	19.120	7.049
Črnomerec	27.888	73.060	28.805
Donja Dubrava	24.213	65.850	26.453
Donji Grad	33.823	87.500	35.800
Gornja Dubrava	42.118	113.170	46.833
Gornji Grad- Medveščak	26.761	69.190	33.396
Maksimir	36.215	94.340	42.594
Novi Zagreb-istok	48.526	124.660	42.074
Novi Zagreb-zapad	34.696	91.890	31.760
Peščenica-Žitnjak	41.429	109.220	42.103
Podsljeme	12.071	32.750	21.308
Podsused-Vrapče	29.620	78.530	31.003
Sesvete	38.600	106.880	34.181
Stenjevec	29.006	77.030	32.701
Trešnjevka-jug	49.817	128.810	38.135
Trešnjevka-sjever	41.041	105.710	39.969
Trnje	33.720	86.740	36.796

Atrakcije putovanja proračunate su slijedeći jednadžbe modela (3),(4) i (5). Ulazni podaci potrebni za kalkulacije uključuju podatke o zaposlenju podijeljeni u dvije grupe, uslužni sektor i ostala zaposlenja za svaku zonu. Atrakcije koje su proračunate predstavljaju atrakcije koje nisu balansirane. Ukupni broj nebalansiranih atrakcija unutarnjih zona iznosi 879.472, od kojih je 342.599 HBW atrakcija, 213.584 HBO atrakcija i 323.289 NHB atrakcija putovanja.

Sljedeći korak je izračunavanje produkcija i atrakcija za četiri vanjske postaje koje predstavljaju točke na kojima su postavljeni brojači prometa.

Kako bi dobili broj vanjska-vanjska putovanja potreban je podatak o prosječnom dnevnom prometu na vanjskim postajama. Prema (9) i (10) dobiven je broj vanjska-vanjska i unutarnja-vanjska/vanjska-unutarnja putovanja.

Tablica 7. Podaci o prosječnom dnevnom prometu za vanjske postaje [7] [39] [40]

VANJSKA ZONA	ADT	Y
Lučko-jug	13.342	13,3%
Zaprešić-sjever	6843	13,3%
Sesvetski Kobiljak	13.204	13,3%
Buševec	5.073	13,3%

Podjela unutarnja-vanjska/vanjska-unutarnja putovanja prema namjeni napravljena je prema (11) i (12) te su produkcije putovanja izračunate prema (14), (15) i (16). Ulazni podaci za proračun produkcija i atrakcija su vidljivi u tablici

Tablica 8. Ulazni podaci za unutarnja-vanjska/vanjska-unutarnja putovanja [7]

f_{HBW}	f_{HBO}	f_{NHB}	P_{HBW}	P_{HBO}	P_{NHB}	A_{HBW}	A_{HBO}	A_{NHB}
40%	45%	15%	75%	40%	50%	25%	60%	50%

Broj produkcija putovanja osoba vanjskih zona prikazuje tablica [Tablica 9]. Sveukupni broj produkcija putovanja vanjskih postaja je 25.361.

Tablica 9. Produkcije putovanja osoba vanjskih zona

PRODUKCIJE PUTOVANJA VANJSKIH ZONA				
	Lučko-jug	Zaprešić-sjever	Sesvetski Kobiljak	Buševec
HBW	3.921	2.011	3.881	1.491
HBO	3.436	1.762	3.400	1.306
NHB	1.442	739	1.425	548

Sljedeći korak je izračunati atrakcije putovanja vanjskih zona prema (17), (18) i (19). Ukupni broj atrakcija putovanja osoba vanjskih postaja iznosi 22.776 te je u tablici [Tablica 10] prikazana raspodjela atrakcija za svaku vanjsku zonu.

Tablica 10. Atrakcije putovanja osoba vanjskih zona

ATRAKCIJE PUTOVANJA VANJSKIH ZONA				
	Lučko-jug	Zaprešić-sjever	Sesvetski Kobiljak	Buševec
HBW	1.307	670	1.294	497
HBO	5.153	2.643	5.100	1.960
NHB	1.440	739	1.425	548

Nakon toga slijedi proračun balansirajućeg faktora za potrebe balansiranja atrakcija putovanja za svaku svrhu. Balansirajući faktori su izračunati prema (20) i (21) te su prikazani u tablici [Tablica 11].

Tablica 11. Balansirajući faktor

Balansirajući faktor	
HBW	1.6458
HBO	3.0003
NHB	1.7661

Nakon procesa balansiranja atrakcija putovanja s balansirajućim faktorom nova matrica balansiranih atrakcija putovanja je proračunata za svaku unutarnju zonu prema (22). Sveukupni broj balansiranih atrakcija putovanja unutarnjih zona iznosi 1.775.626, od kojih je 563.850 HBW atrakcija, 640.816 HBO atrakcija i 570.960 NHB atrakcija putovanja. Tablica [Tablica 12] prikazuje broj balansiranih atrakcija putovanja za svaku namjenu u svakoj zoni u Zagrebu.

Tablica 12. Balansirane atrakcije putovanja unutarnjih zona

BALANSIRANE ATRAKCIJE PUTOVANJA			
	HBW	HBO	NHB
Brezovica	8.531	1.724	7.049
Črnomerec	28.828	7.345	28.805
Donja Dubrava	27.231	6.704	26.453
Donji Grad	33.732	9.233	35.800
Gornja Dubrava	47.826	118.880	46.833
Gornji Grad- Medveščak	32.701	8.546	33.396
Maksimir	42.366	108.680	42.594
Novi Zagreb-istok	35.894	110.440	42.074
Novi Zagreb-zapad	31.009	8.140	31.760
Peščenica-Žitnjak	39.634	108.590	42.103
Podsljeme	22.781	5.351	21.308
Podsused-Vrapče	32.295	7.840	31.003
Sesvete	36.087	8.624	34.181
Stenjevec	35.040	8.219	32.701
Trešnjevka-jug	36.460	9.821	38.135
Trešnjevka-sjever	37.371	103.260	39.969
Trnje	36.064	9.419	36.796

Distribucija putovanja je sljedeći korak u kojem se povezuju produkcije i atrakcije putovanja za svaki par zona na području Zagreba pomoću gravitacijskog modela koji je uveden u prethodnom poglavlju. Kako bi se dobili svi potrebni podaci za gravitacijski model, bilo je potrebno izračunati vrijeme putovanja iz zona u zonu prema (25). Dužina puta je dobivena na način da su pomoću Google Earth-a nađene koordinacije više točaka unutar svake zone te su za svaku zonu izračunate koordinate težišta svake zone. Dužina puta između zona predstavlja dužinu između njihovih težišta. [41] [42] Također je pretpostavljena prosječna brzina od 50 km/h. Vrijeme putovanja unutar zone izračunato je metodom polovice vremena potrebne da se dođe do najbliže susjedne zone. Vrijeme putovanja potrebno je za izračun faktora trenja prema (24) koji ulazi u formulu gravitacijskog modela.

Produkcija-atrakcija matrica je stvorena za svaki par zona za svaku svrhu putovanja pomoću gravitacijskog modela (23).

Nakon što su izračunate P-A matrice slijedi pretvorba matrica u O-D format pomoću (26) i (27) kako bi se dobio broj putovanja iz svakog podrijetla prema svakom odredištu. Ukupan

broj putovanja osoba prikazan u tablici [Tablica 13] dobiven je zbrojem svih putovanja iz O-D matrice.

Tablica 13. Ukupni broj putovanja osoba prema namjeni za Zagreb

HBW putovanja osoba	HBO putovanja osoba	NHB putovanja osoba
567.552	1.474.355	575.110

Kako bi se izrazila popunjenosti vozila, dnevna putovanja osoba su podijeljena s faktorima popunjenosti vozila po vozilu za pojedinu svrhu putovanja. Prema (29) dobivena su putovanja vozila po namjeni za svaki par zona. Tablica [Tablica 14] prikazuje faktore popunjenosti vozila prema namjeni putovanja. Vidi se da je najmanja popunjenost vozila za putovanja kuća-posao gdje je u prosjeku 1,13 osoba u vozilu.

Tablica 14. Faktor popunjenosti vozila po namjeni putovanja [7] [14]

	HBW	HBO	NHB
Faktor popunjenosti vozila	1,13	1,65	1,66

Sveukupni broj putovanja vozilom za jedan dan iznosi 1.742.258 te je raspodjela po namjeni putovanja prikazana u tablici [Tablica 15].

Tablica 15. Broj putovanja vozila prema namjeni za Zagrebu

HBW putovanja osoba	HBO putovanja osoba	NHB putovanja vozila
502.258	893.548	346.452

Broja vozila tijekom dana dobiva se pomoću faktora koji predstavljaju postotak putovanja vozila tijekom svakog sata unutar jednog dana za pojedino urbano područje. Satna distribucija putovanja vozilom dobivena je pomoću (30). [7] [12]

Satnu distribuciju putovanja vozila za radni dan prikazuje tablica [Tablica 16] iz koje se može vidjeti da su najveći postotci putovanja vozilom u 7:00 i 8:00 sati, te popodne u 16:00 i 17:00. Raspodjele su drugačije za tri različite namjene putovanja. Vidimo da putovanja koja

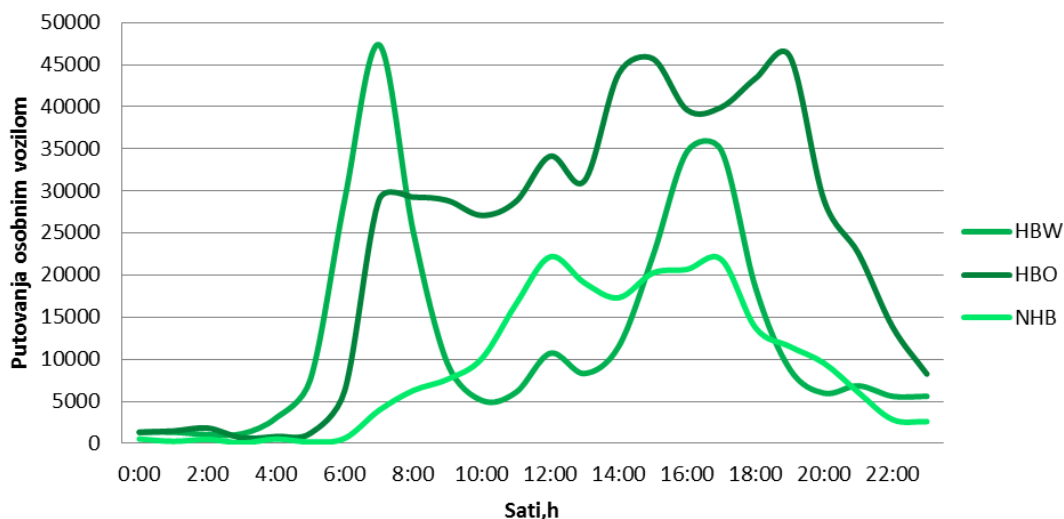
označavaju kuća-posao ima izrazito visoke postotke u tijekom vršnih satova tijekom radnih dana. Također satne distribucije su različite i s obzirom na veličinu urbanog područja koje se analizira.

Tablica 16. Postotak putovanja vozila za radni dan [7]

Urbano područje veličine 500.000-999.999 stanovnika			
POSTOTAK PUTOVANJA VOZILOM PO SATU			
Sat	HBW	HBO	NHB
00:00	0,43%	0,24%	0,25%
1:00	0,43%	0,27%	0,12%
2:00	0,34%	0,33%	0,23%
3:00	0,37%	0,12%	0,03%
4:00	0,98%	0,15%	0,25%
5:00	2,46%	0,22%	0,08%
6:00	9,32%	1,14%	0,29%
7:00	15,21%	5,22%	1,83%
8:00	8,07%	5,28%	2,93%
9:00	3,04%	5,21%	3,55%
10:00	1,64%	4,89%	4,69%
11:00	1,95%	5,19%	7,71%
12:00	3,44%	6,16%	10,32%
13:00	2,67%	5,63%	8,88%
14:00	3,70%	7,93%	8,06%
15:00	7,16%	8,25%	9,43%
16:00	11,14%	7,15%	9,63%
17:00	11,17%	7,21%	10,17%
18:00	5,93%	7,83%	6,39%
19:00	2,83%	8,30%	5,36%
20:00	1,92%	5,21%	4,44%
21:00	2,20%	4,08%	2,83%
22:00	1,80%	2,50%	1,32%
23:00	1,80%	1,49%	1,21%

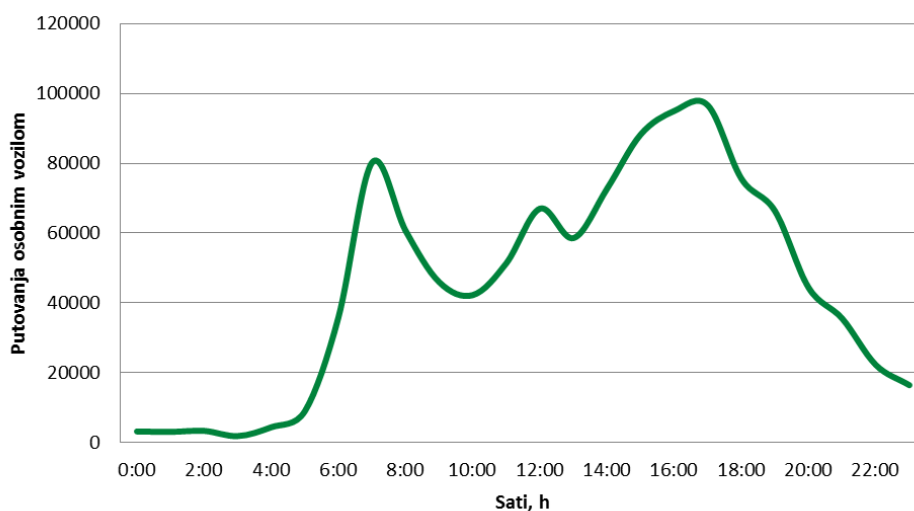
Izbor prometnog sredstva je treći korak koji predviđa koji tip prijevoznog sredstva će putnik izabrati, da li će to biti osobni automobil, bicikl, javni prijevoz ili pješice. Uz poznati postotak koliko se putovanja obavi s osobnim automobilom, koji u slučaju Grada Zagreba iznosi 62% [43], računa se prema (31) broj putovanja osobnim vozilom tijekom 24 sata. Satna krivulja

broja putovanja osobnim vozilom prema namjeni putovanja [Slika 1] prikazuje da je najmanje putovanja koja nisu bazirana kod kuće (NHB).



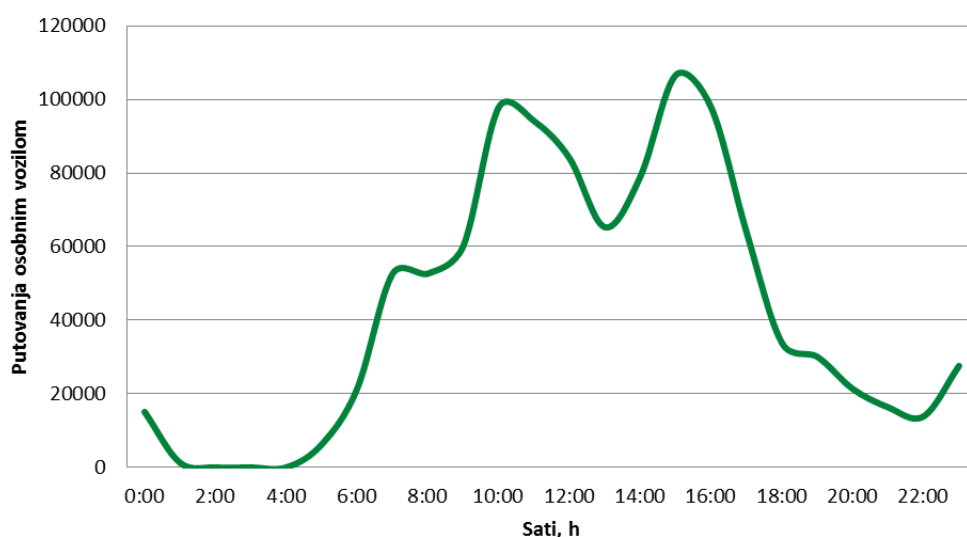
Slika 10. Broj putovanja osobnim vozilom prema namjeni za Zagreb

Krivulja ukupnog broja putovanja osobnim vozilom [Slika 11] je upotrijebljena kako bi se izračunao broj vozila koji su u prometu u Zagrebu tijekom jednog dana. Temeljem toga oblikovana je satna krivulja opterećenja za punjenje električnih vozila za Grad Zagreb. Izgled krivulje odražava navike ljudi, te prikazuje vršna opterećenja u jutarnjim satima kada ljudi idu na posao te u popodnevnim kada se vraćaju sa posla.

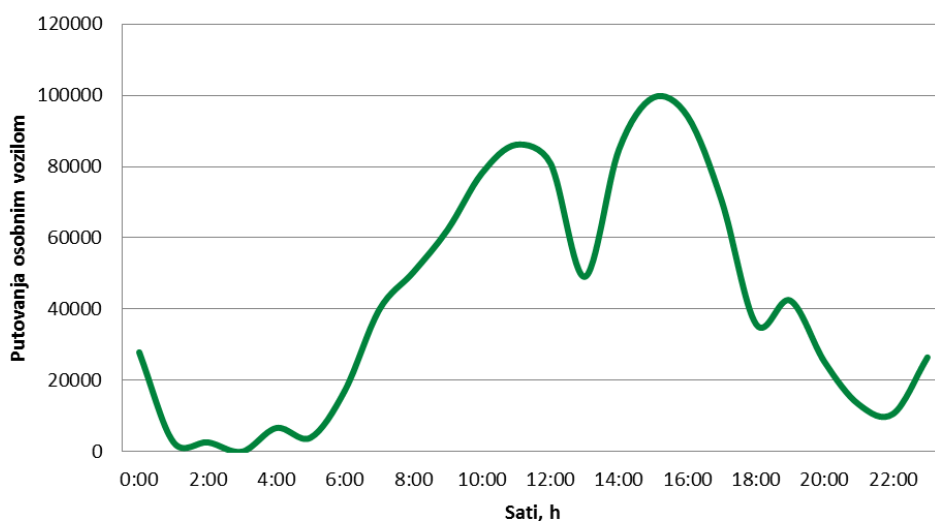


Slika 11. Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za karakterističan dan

FSM kao jedinicu analize koristi dan u tjednu i ne dopušta ispitivanje interakcije u sudjelovanju u djelatnostima između vikenda i radnih dana. [6] Pošto nema proračun u FSM za vikend kad se smanjuju putovanja prema poslu, a povećavaju neka druga putovanja, pretpostavljeno je da se HBW putovanja za subotu smanjuju za 50%, a u nedjelju za 60%. Također ostala putovanja su pretpostavljena da se povećaju za 10%. Satna distribucija prometa koja je primijenjena je različita za subotu i nedjelju. [44] Sljedeći dijagrami [Slika 12, Slika 13] pokazuju krivulju opterećenja prometa za subotu i nedjelju, ali se naglašava da su to pretpostavke jer FSM ne razlikuje vikend od radnog dana.



Slika 12. Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za subotu



Slika 13. Ukupan broj putovanja osobnim vozilom za Zagreb za nedjelju

3.3. Scenariji penetracije električnih vozila u Zagrebu

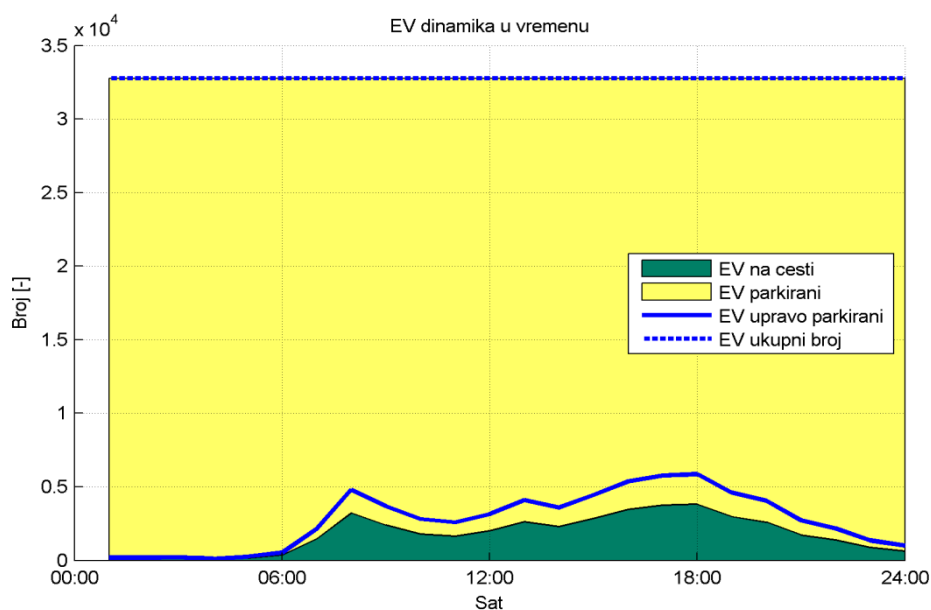
Jedan od dugoročnih planova politike Europske Unije (EU) je smanjenje emisije stakleničkih plinova u svim djelatnim sektorima. Prema dokumentu *Roadmap do 2050*. Europska Unija bi trebala smanjiti svoje emisije za 80% u odnosu na 1990. godinu kroz samo domaća smanjenja. Dokument također pokazuje kako su glavni sektori nadležni za europske emisija štetnih plinova proizvodnja električne energije, industrija, promet, zgrade i graditeljstvo i poljoprivreda te da se smanjenjem emisija u tim sektorima na troškovno najučinkovitiji način može napraviti prijelaz na *low-carbon* ekonomiju. [45]

Veće korištenje čistih tehnologija i električnih automobila znatno će smanjiti zagađenje zraka u europskim gradovima. Manje ljudi će patiti od astme i drugih respiratornih bolesti, znatno manje novca bi trebalo biti utrošeno na zdravstvenu skrb i opremu za kontrolu zagađenja zraka.

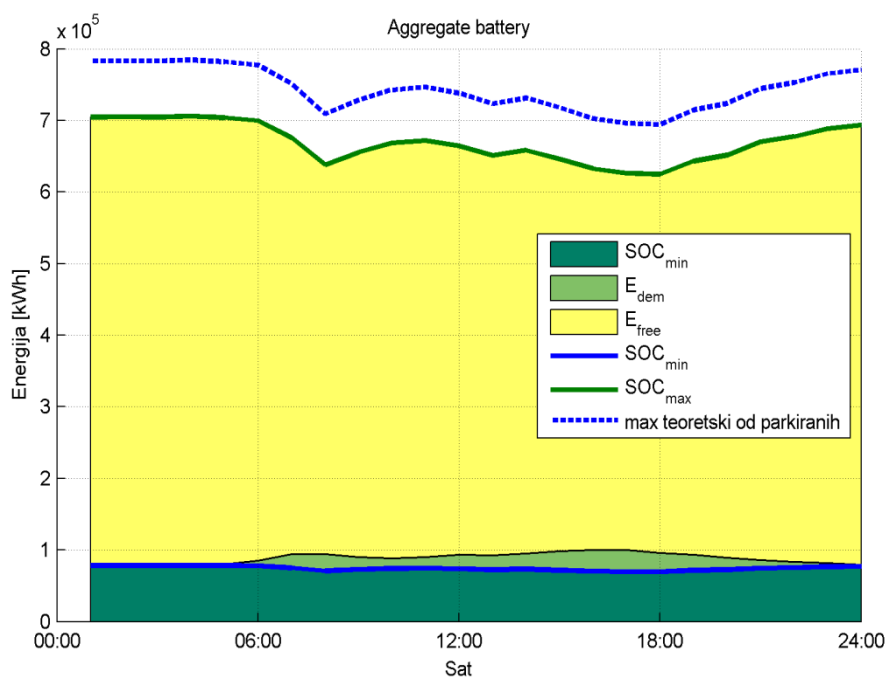
U prvi plan je stavljeno uvođenje električnih osobnih vozila. Budući da električna vozila imaju manje emisije štetnih plinova nego vozila na benzin ili dizel, svrha je pokušati smanjiti emisije na godišnjoj razini. Cilj je prepoloviti korištenje konvencionalna goriva u automobilima u gradskom prometu do 2030. te ih potpuno ukinuti u gradovima do 2050. [46] Analizirat će se pet različitih scenarija koji uključuju scenarije s 10% , 20%, 30%, 40% i 50% osobnih električnih vozila u transportnom sustavu Grada Zagreba.

3.3.1. Scenarij 10% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Ukupni broj električnih vozila iznosi 32.761. Dinamika električnih vozila za scenarij s 10% EV u Zagrebu dana je na dijagramu[Slika 14]. Krivulja električnih vozila na cesti prikazuje da ujutro u 7:00 je 3.219 električnih vozila na cesti, u 16:00 ih je 3.764 na cesti i u 17:00 3.826. Satna raspodjela vozila upravo parkiranih pokazuje vršne vrijednosti ujutro u 7:00 sati kad je broj parkiranih 4.815, te popodne u 16:00 sati kad je 5.763 upravo parkiranih električnih vozila i u 17:00 kad ih je 5.862.



Slika 14. Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 10% EV u Zagrebu

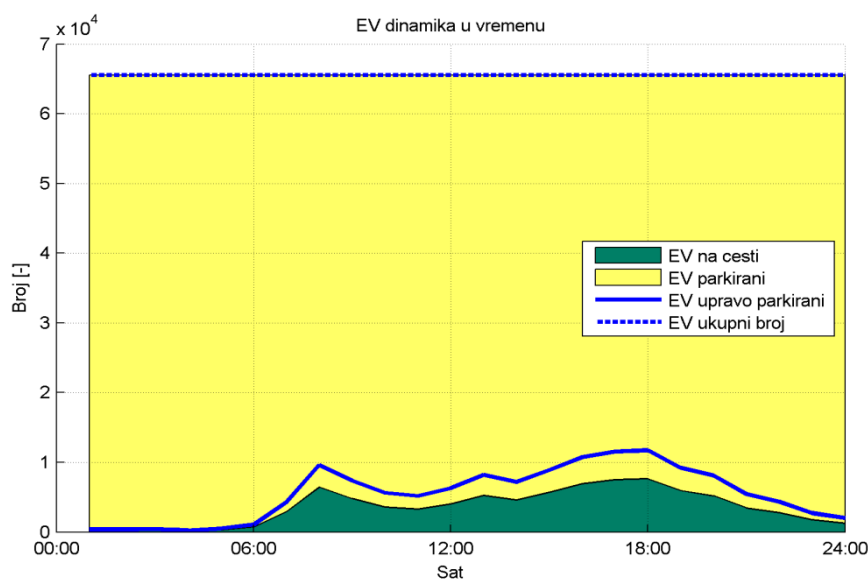


Slika 15. Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 10% EV u Zagrebu

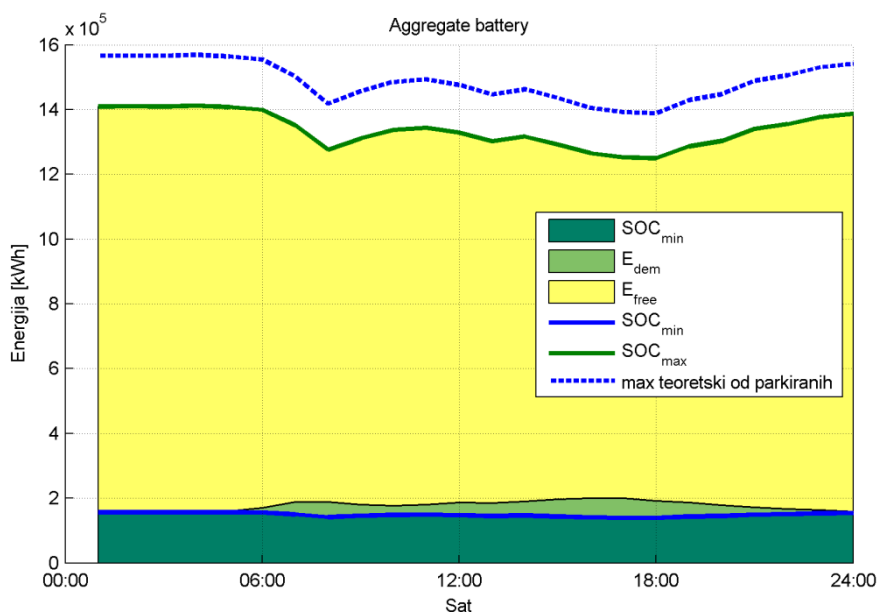
Dijagram [Slika 15] prikazuje energiju koja treba biti pohranjena u bateriji za kretanje električnih vozila i preostalu slobodnu energiju za druge svrhe. Također je prikazano minimalno i maksimalno stanje punjenja. Ukupna godišnja potrošnja električnih vozila za scenarij s 10% EV u Zagrebu iznosi 124,24 GWh.

3.3.2. Scenarij 20% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Ukupni broj električnih vozila iznosi 65.522. Dinamika električnih vozila za scenarij s 20% EV u Zagrebu dana je na dijagramu[Slika 16]. Krivulja električnih vozila na cesti prikazuje da ujutro u 7:00 je 6.438 električnih vozila na cesti, u 16:00 ih je 7.528 na cesti i u 17:00 7.651. Satna raspodjela vozila upravo parkiranih pokazuje vršne vrijednosti ujutro u 7:00 sati kad je broj parkiranih 9.630, te popodne u 16:00 sati kad je 11.525 upravo parkiranih električnih vozila i u 17:00 kad ih je 11.723.



Slika 16. Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 20% EV u Zagrebu

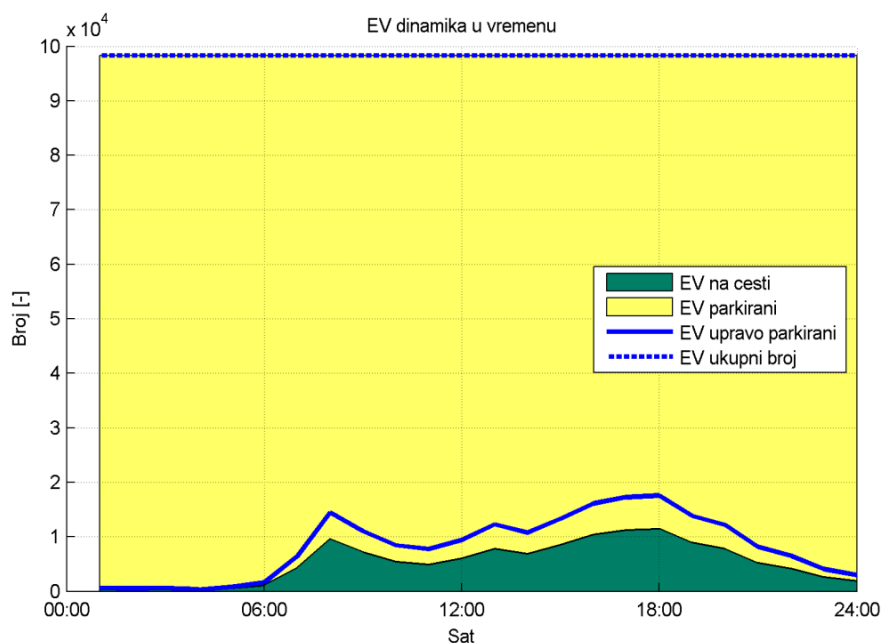


Slika 17. Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 20% EV u Zagrebu

Dijagram [Slika 17] za scenarij s 20% EV u Zagrebu prikazuje energiju koja treba biti pohranjena u bateriji za kretanje električnih vozila i preostalu slobodnu energiju za druge svrhe . Također je prikazano minimalno i maksimalno stanje punjenja. Ukupna godišnja potrošnja električnih vozila za scenarij s 20% EV u Zagrebu iznosi 248,48 GWh

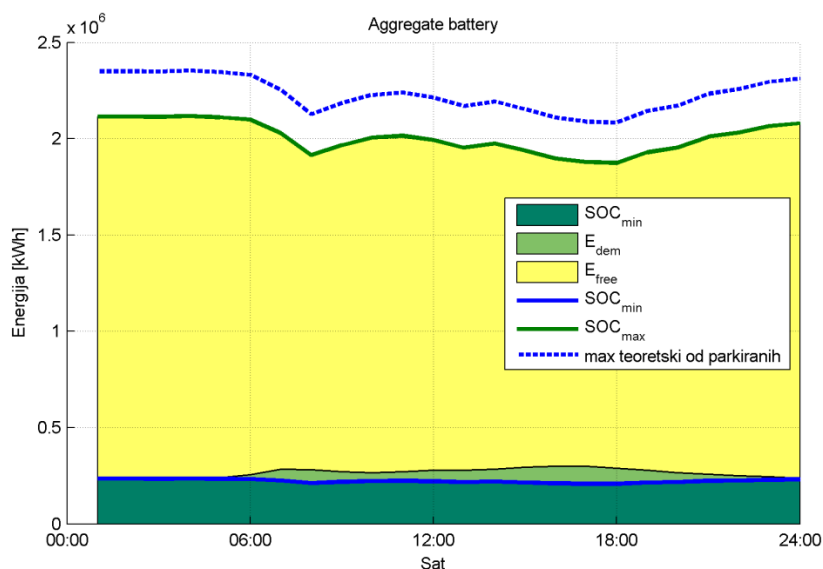
3.3.3. Scenarij 30% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Ukupni broj električnih vozila iznosi 98.284. Dinamika električnih vozila za scenarij s 30% EV u Zagrebu dana je na dijagramu[Slika 18]. Krivulja električnih vozila na cesti prikazuje da ujutro u 7:00 je 9.656 električnih vozila na cesti, u 16:00 ih je 11.292 na cesti i u 17:00 11.477. Satna raspodjela vozila upravo parkiranih pokazuje vršne vrijednosti ujutro u 7:00 sati kad je broj parkiranih 14.445, te popodne u 16:00 sati kad je 17.288 upravo parkiranih električnih vozila i u 17:00 kad ih je 17.585.



Slika 18. Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 30% EV u Zagrebu

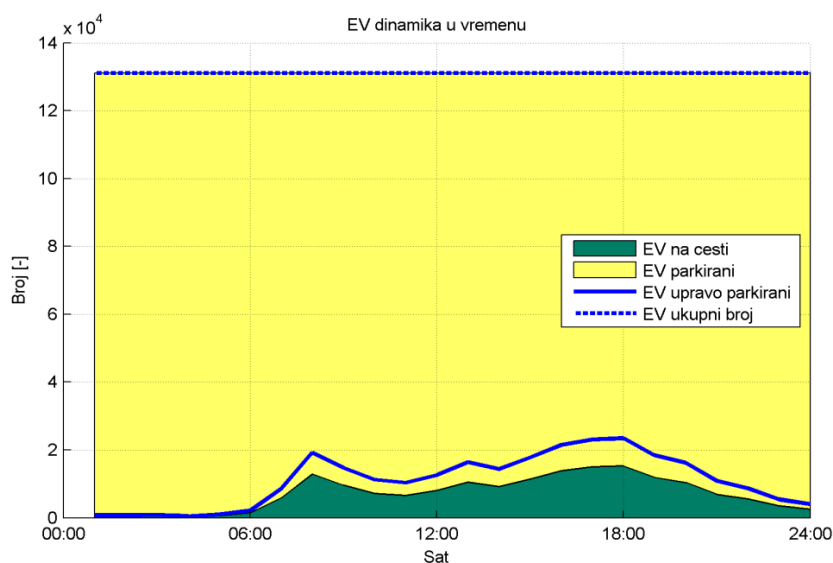
Dijagram [Slika 19] za scenarij s 30% EV u Zagrebu prikazuje energiju koja treba biti pohranjena u bateriji za kretanje električnih vozila i preostalu slobodnu energiju za druge svrhe . Ukupna godišnja potrošnja električnih vozila za scenarij s 30% EV u Zagrebu iznosi 372,72 GWh



Slika 19. Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 30% EV u Zagrebu

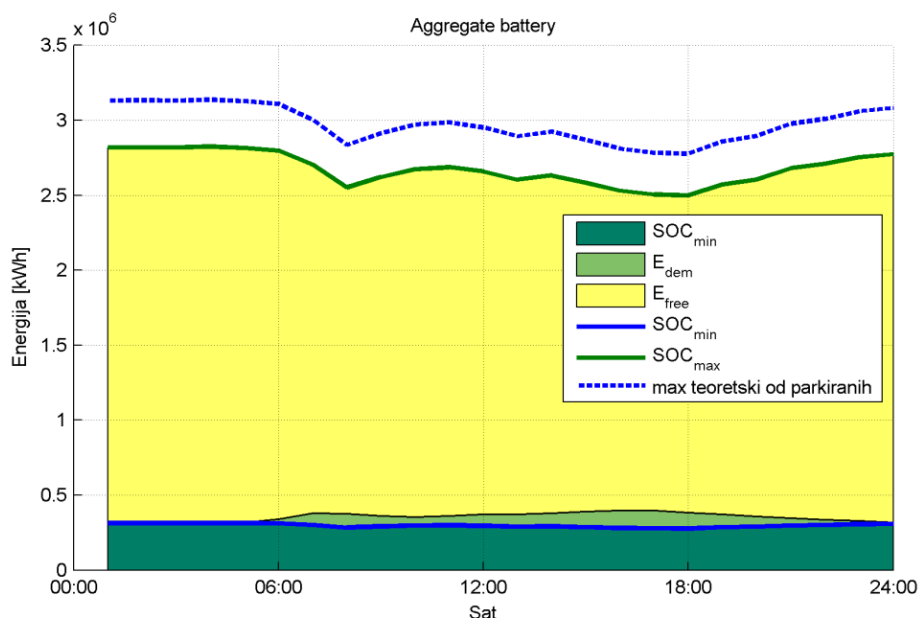
3.3.4. Scenarij 40% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Ukupni broj električnih vozila iznosi 131.045. Dinamika električnih vozila za scenarij s 40% EV u Zagrebu dana je na dijagramu [Slika 20]. Krivulja električnih vozila na cesti prikazuje da ujutro u 7:00 je 12.875 električnih vozila na cesti, u 16:00 ih je 15.056 na cesti i u 17:00 15.302. Satna raspodjela vozila upravo parkiranih pokazuje vršne vrijednosti ujutro u 7:00 sati kad je broj parkiranih 19.259, te popodne u 16:00 sati kad je 23.050 upravo parkiranih električnih vozila i u 17:00 kad ih je 23.446.



Slika 20. Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 40% EV u Zagrebu

Dijagram [Slika 21] za scenarij s 40% EV u Zagrebu prikazuje energiju koja treba biti pohranjena u bateriji za kretanje električnih vozila i preostalu slobodnu energiju za druge svrhe. Ukupna godišnja potrošnja električnih vozila za scenarij s 40% EV u Zagrebu iznosi 496,97 GWh

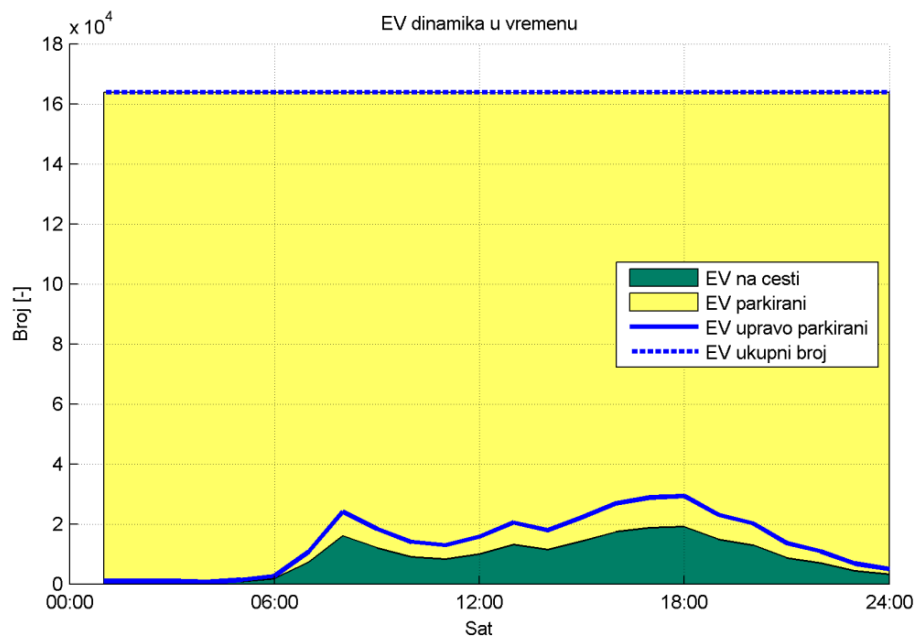


Slika 21. Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 40% EV u Zagrebu

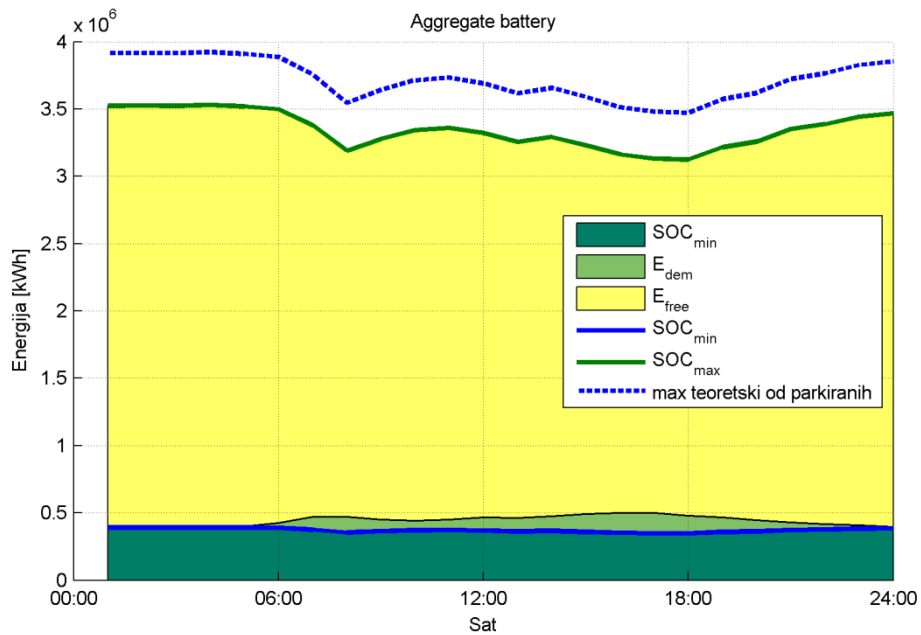
3.3.5. Scenarij 50% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Ukupni broj električnih vozila iznosi 163.806. Dinamika električnih vozila za scenarij s 50% EV u Zagrebu dana je na dijagramu [Slika 22]. Krivulja električnih vozila na cesti prikazuje da ujutro u 7:00 je 16.094 električnih vozila na cesti, u 16:00 ih je 18.819 na cesti i u 17:00 19.128. Satna raspodjela vozila upravo parkiranih pokazuje vršne vrijednosti ujutro u 7:00 sati kad je broj parkiranih 24.074, te popodne u 16:00 sati kad je 28.813 upravo parkiranih električnih vozila i u 17:00 kad ih je 29.308.

Dijagram [Slika 23] za scenarij s 50% EV u Zagrebu prikazuje energiju koja treba biti pohranjena u bateriji za kretanje električnih vozila i preostalu slobodnu energiju za druge svrhe. Ukupna godišnja potrošnja električnih vozila za scenarij s 50% EV u Zagrebu iznosi 621,21 GWh



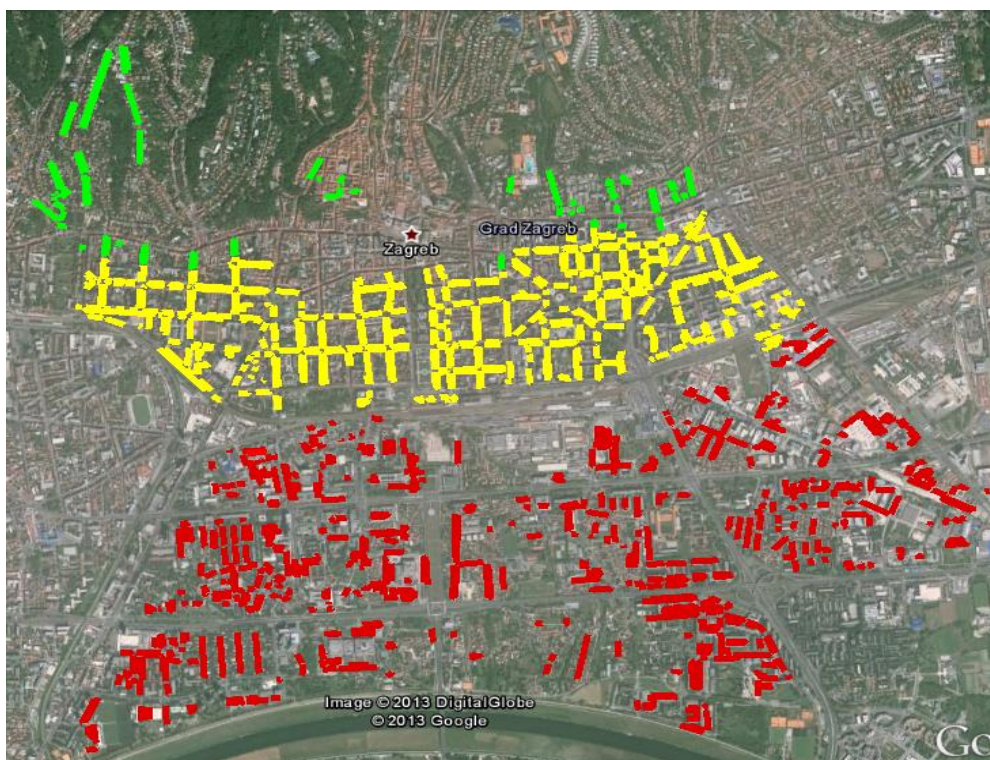
Slika 22. Dinamika električnih vozila u vremenu za scenarij s 50% EV u Zagrebu



Slika 23. Potrošnja električnih vozila i stanje skladišta energije za scenarij 50% EV u Zagrebu

3.4. Popunjenost parkirnih mjesta

Pomoću aplikacije Google Earth v6.2 i njegovog dodatka *Street view* su se analizirala parkirna mjesta u centralnim zonama Grada Zagreba. Kako se vidi i na slici [Slika 24] ulazilo se u svaku ulicu u četvrtima Trnje, Donji Grad te Gornji Grad kako bi se ustanovio broj parkirnih mjesta.



Slika 24. Položaj parkirnih mjesta u centralnim zonama u Zagrebu

Također, su se posebno odvajala okomita od bočnih parkirnih mjesta. Pomoću duljina ucrtanih u Google Earth-u odredila se ukupna duljina parkirališta. Uz podatak o dimenzijama bočnih i okomitih parkirnih mjesta, dobio se broj parkirnih mjesta. Bočno parkirno mjesto ima dimenzije $2 \times 5,5 \text{ m}$, a okomito parkirno mjesto $2,3 \times 4,8 \text{ m}$. [47] U tablici je prikazan broj parkirališnih mjesta uključujući i podzemne garaže za centralne zone.

Tablica 17. Izračunata parkirna mjesta za centralne zone u Zagrebu [47] [48]

	Parkirna mjesta		
	Bočna	Okomita	Garaže
TRNJE	1.727	12.676	447
DONJI GRAD	2.949	6.915	2.111
GORNJI GRAD	1.243	640	1.282

4. UTJECAJ INTEGRACIJE ELEKTRIČNIH VOZILA NA KRIVULJU POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA GRAD ZAGREB

Jedan od ciljeva rada je analizirati kako će penetracija električnih vozila utjecati na elektroenergetski sustav Zagreba koristeći više različitih scenarija. Analiza uključuje izradu scenarija s različitim postotkom penetracije EV u Zagrebu. Analizirat će se pet različitih scenarija koji uključuju scenarije s 10% , 20%, 30%, 40% i 50% osobnih električnih vozila u transportnom sustavu Grada Zagreba.

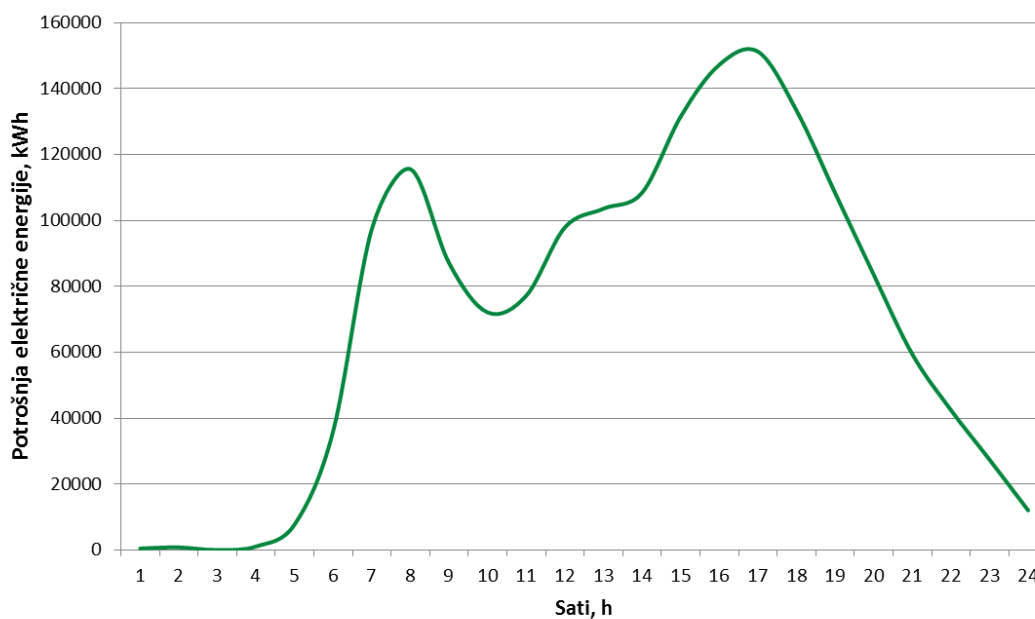
Prikazana je analiza proračuna utjecaja penetracije EV na satnu krivulju potrošnje električne energije, odnosno utjecaja potrošnje električne energije za punjenje EV na vršna opterećenja distribucijske krivulje. Energetsko planiranje cjelokupnog energetskog sustava u cilju analiziranja utjecaja penetracije EV napravljeno je u programu H2RES za sve zadane scenarije.

Kako bi se oblikovao elektroenergetski sustav Zagreba u H2RES-u pretpostavljeno je da se Zagreb opskrbljuje električnom energijom iz postrojenja prikazanih u sljedećoj tablici [Tablica 18].

Tablica 18. Postrojenja koja opskrbljuju područje grada Zagreba električnom energijom

POSTROJENJA EES ZAGREB		
Hidroelektrana	Varaždin	94 MW
	Čakovec	76 MW
	Dubrava	76 MW
Termoelektrana	Jertovec	88 MW
	Sisak	420 MW
	EL-TO Zagreb	88,8 MW
	TE-TO Zagreb	440 MW
Nuklearna elektrana	Krško	348 MW

Nakon provedenog proračuna i dobivenih dnevnih krivulja potrošnje električne energije za punjenje EV za sve scenarije dobila se godišnja krivulja potrošnje električne energije sa satnim vrijednostima za zadane godine. U radu se promatrao samo jedan specifičan radni dan čija je potrošnja bila jednaka i koje se radi jednostavnosti proračuna razvuklo na cijelu godinu, kako bi se dobila godišnja krivulja potrošnje. Sljedeći dijagram [Slika 25] prikazuje potrošnju električne energije za punjenje električnih vozila u scenariju s 50% EV.

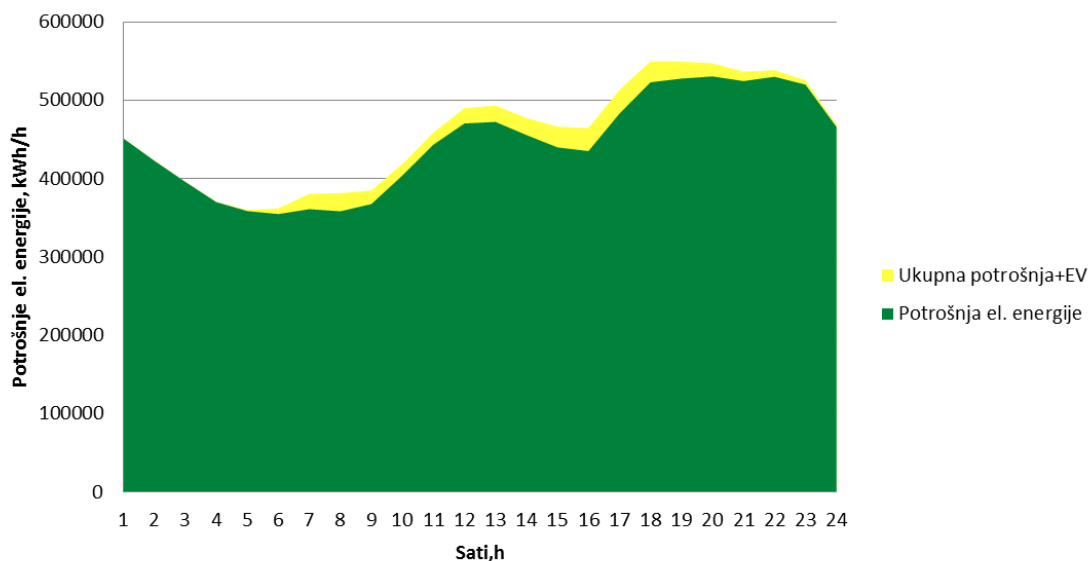


Slika 25. Satna krivulja potrošnje električne energije za punjenje EV za scenarij s 50% EV

Godišnja krivulja potrošnje električne energije za punjenje EV koja se unosi u H2RES je konstantna tijekom cijele godine zbog toga što se promatrao jedan specifičan dan koji se primijenio na sve dane u godini. Jednak izgled imaju i krivulje za ostale scenarije samo s povećanom potrošnjom električne energije uslijed povećanog broja EV. Osim krivulje potrošnje električne energije, potrebno je unijeti maksimalni i minimalni kapacitet baterije električnih vozila. Maksimalni kapacitet je dobiven množenjem ukupnog broja EV vozila s kapacitetom baterije. Minimalni kapacitet je 30% maksimalnog kapaciteta.

4.1.1. Scenarij 10% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Rezultati ukupne potrošnje električne energije u Zagrebu s 10% EV dobiveni u H2RES-u uspoređeni su s postojećom potrošnjom električne energije u gradu Zagrebu. Dijagram [Slika 26] prikazuju ukupnu potrošnju električne energije i utjecaj penetracije EV na krivulju potrošnje električne energije za jedan karakterističan dan.

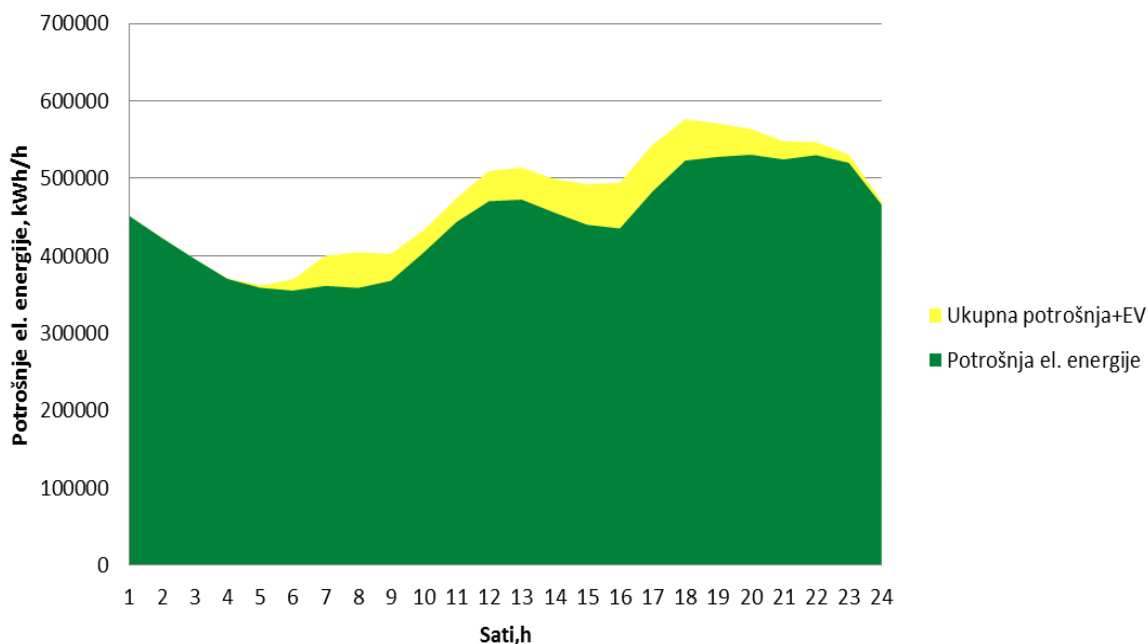


Slika 26. Ukupna potrošnja električne energije s 10% penetracijom električnih vozila

Vidi se jako mali utjecaj EV na krivulju potrošnje električne energije zbog malog broja EV. Povećanje potrošnje električne energije uvođenjem 10% EV iznosi 3,19 % u vremenskom periodu jednog dana. Tijekom vršnih opterećenja u jutarnjim satima potrošnja električne energije je porasla za 5,4%, a popodne u 17:00 i 18:00 sati potrošnja je porasla u prosjeku 6,4 %.

4.1.2. Scenarij 20% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Kao i u prethodnom scenariju dobivena je ukupna potrošnja električne energije koja je uspoređena s postojećom potrošnjom električne energije u gradu Zagrebu. Dijagram [Slika 27] prikazuju ukupnu potrošnju električne energije i utjecaj penetracije EV na krivulju potrošnje električne energije za jedan karakterističan dan.



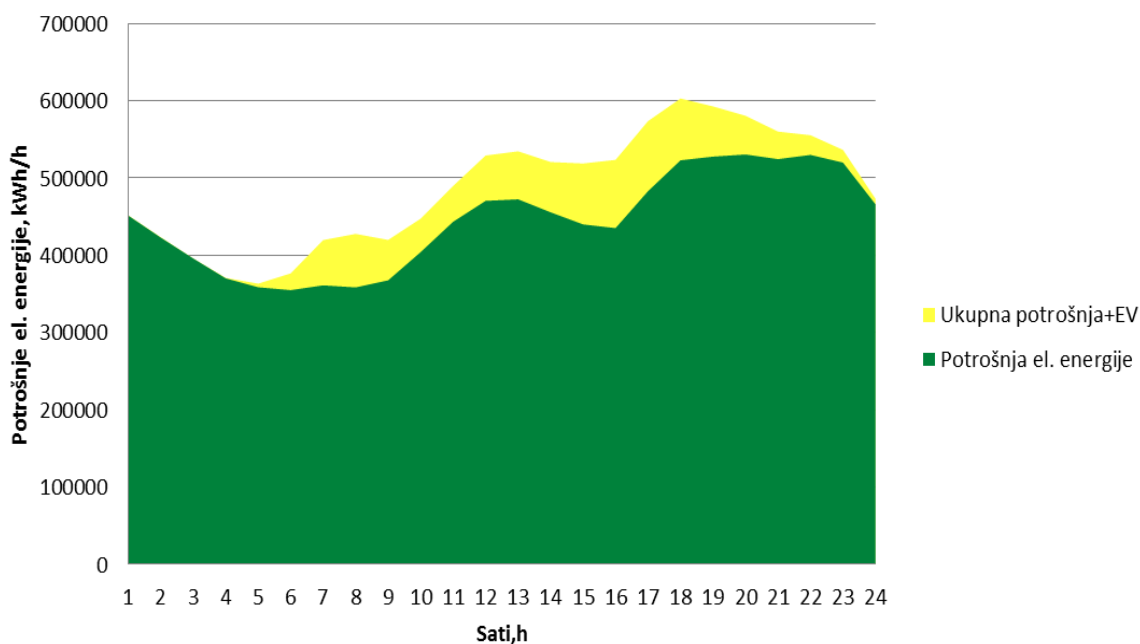
Slika 27. Ukupna potrošnja električne energije s 20% penetracijom električnih vozila

Može se primijetiti veći utjecaj EV na krivulju potrošnje električne energije nego u prethodnom scenariju. Povećanje potrošnje električne energije uvođenjem 20% EV iznosi 6,4 % u vremenskom periodu jednog dana. Tijekom vršnih opterećenja u jutarnjim satima potrošnja električne energije je porasla za 10,8%, a popodne u 17:00 i 18:00 sati potrošnja je porasla u prosjeku 12,7 %.

4.1.3. Scenarij 30% penetracije električnih vozila u Zagrebu

Isti postupak je primijenjen kao u prethodna dva scenariju. Dijagram [Slika 28] prikazuju ukupnu potrošnju električne energije i utjecaj penetracije EV na krivulju potrošnje električne energije za jedan karakterističan dan.

Može se primijetiti znatan utjecaj EV na krivulju potrošnje električne energije. EV utječu na povećanje vršnih opterećenja što negativno utječe na EES i opskrbu električnom energijom. Povećanje potrošnje električne energije uvođenjem 30% EV iznosi 9,6 % u vremenskom periodu jednog dana. Tijekom vršnih opterećenja popodne u 17:00 i 18:00 sati potrošnja je porasla u prosjeku za 19 %.

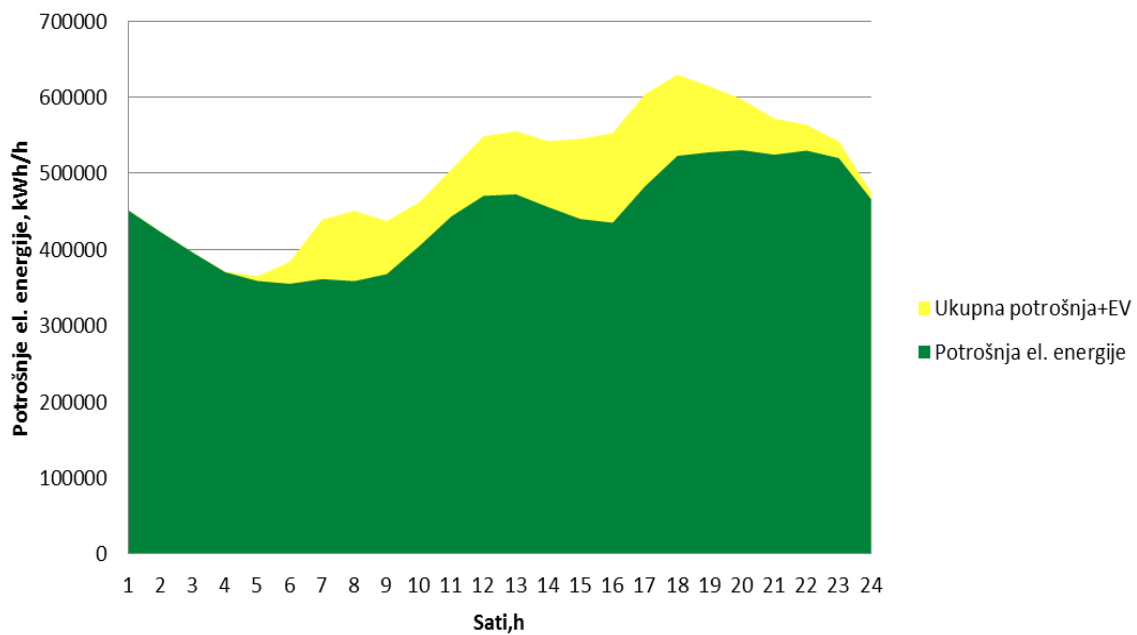


Slika 28. Ukupna potrošnja električne energije s 30% penetracijom električnih vozila

4.1.4. Scenarij 40% penetracije električnih vozila u Zagrebu

U slučaju s 40% EV primjećuje se značajan utjecaj na krivulju potrošnje, što je prikazano na dijagramu [Slika 29].

Može se primijetiti znatan negativan utjecaj EV tijekom vršnih opterećenja. Povećanje potrošnje električne energije uvođenjem 40% EV iznosi 12,8 % u vremenskom periodu jednog dana. Tijekom vršnih opterećenja popodne u 17:00 i 18:00 sati potrošnja je porasla u prosjeku 25,5%.

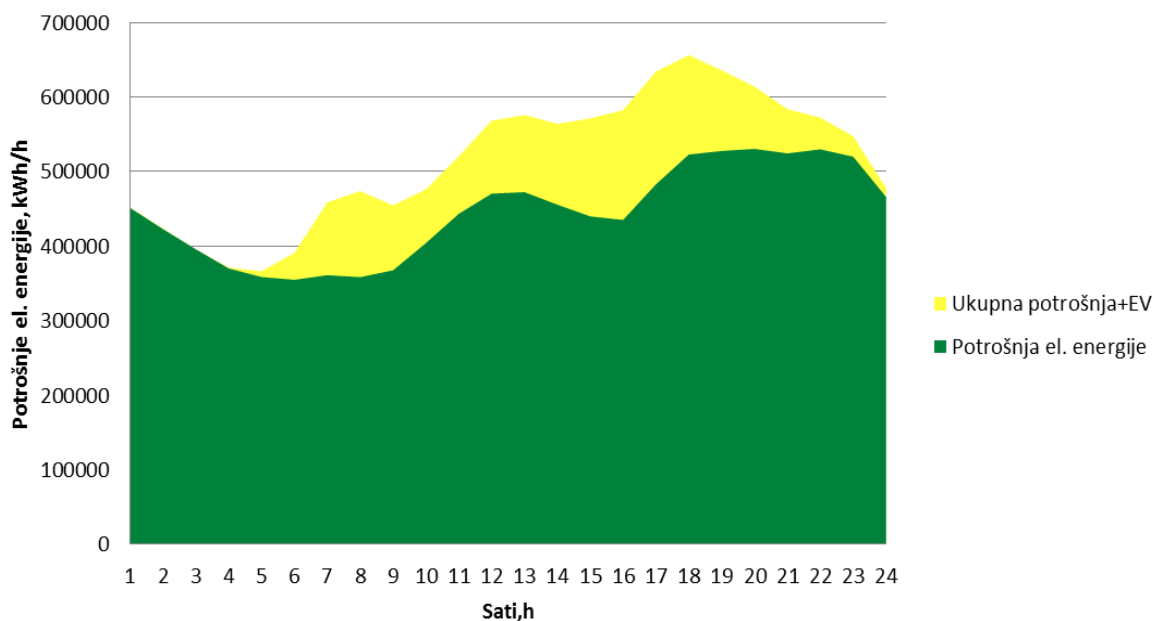


Slika 29. Ukupna potrošnja električne energije s 40% penetracijom električnih vozila

4.1.5. Scenarij 50% penetracije električnih vozila u Zagrebu

U slučaju s 50% EV primjećuje se veliki utjecaj na krivulju potrošnje, što je prikazano na dijagramu [Slika 30].

Vidi se veliki negativni utjecaj EV na krivulju potrošnje električne energije zbog velikog broja EV. Povećanje potrošnje električne energije uvođenjem 50% EV iznosi 16 % u vremenskom periodu jednog dana. Tijekom vršnih opterećenja u jutarnjim satima potrošnja električne energije je porasla za 27%, a popodne u 17:00 i 18:00 sati potrošnja je porasla u prosjeku 31,8 %.



Slika 30. Ukupna potrošnja električne energije s 40% penetracijom električnih vozila

Dosadašnji prikazani rezultati odražavaju loš utjecaj električnih vozila na krivulju potrošnje jer povećavaju vršna opterećenja. Povećanjem penetracije električnih vozila sve više je vidljiv negativan utjecaj penetracije EV na elektroenergetski sustav Zagreba.

5. PROCJENA GODIŠNJIH EMISIJA CO₂ IZ OSOBNIH VOZILA UZ INTEGRACIJU ELEKTRIČNIH VOZILA ZA SLUČAJ GRADA ZAGREBA

Grad Zagreb se zadnjih godina suočava s problemom gradskih gužvi koje postaju sve veće i koje uzrokuju velike kolapse u prometu. Razlog tome je povećanje broja vozila po glavi stanovnika. U 2006. broj registriranih vozila na području grada Zagreba je bio 384 512. U 2010. godini ta brojka se povećala na 400.906 vozila. [25]

Broj vozila registriranih vozila u Hrvatskoj svake godine je sve veći, pa takva je situacija i sa Gradom Zagrebom. Vozni park Grada Zagreba je raznolik, ali najveći udio među motornim vozilima zauzimaju osobna vozila. Iz [Slika 7] vidljivo je da su osobna vozila najveći sudionici svakodnevnog prometa na cestama u Zagrebu. Od ukupnog broja registriranih vozila 327.162 su osobna vozila. [25]

U radu je dan prikaz godišnje emisije CO₂ u okoliš iz gradskog prometa za referentni scenarij bez električnih vozila te za scenarije s različitim postotkom penetracije električnih vozila u Zagrebu.

5.1. Europske emisijske norme

Da bi smanjila prisutnost štetnih plinova Europska komisija je predstavila propise kojima će regulirati njihovu koncentraciju u atmosferi. Euro standardi predstavljaju zakonsku regulativu EU u vezi sa ispušnim plinovima. Oni reguliraju količinu ugljik monoksida (CO), hidrokarbonata (HC), dušičnih oksida (NO_x) te količinu emitiranog ugljičnog dioksida (CO₂). Europske emisijske norme su standardi uz pomoć kojih Europska unija nameće određene zahtjeve proizvođačima motornih vozila, kako bi se smanjilo zagađenje okoliša. Često se mogu čuti razne skraćenice po ovom pitanju pa tako Europa svoje standarde naziva EURO, a zemlje s Američkog kontinenta poštuju LEV (Low Emission Vehicle) i ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) standarde. Svi ti standardi određuju koliko ispušni plinovi mogu sadržavati štetnih čestica u različitim uvjetima korištenja, kao i koliko prijeđenih kilometara motor mora izdržati, a da pri tome emisije tih čestica smiju da odstupe samo u određenom postotku. Euro norme označene kao Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, Euro 6 odnose se na laka vozila

(do 3,5 tone). Odgovarajući niz normi za teška teretna vozila koriste rimske, a ne arapske brojeve (Euro I, Euro II, itd). Euro norme se razlikuju prije svega za benzinske i dizel motore, zatim razlike shodno kategoriji vozila. Tako postoje posebno Euro norme za putničke automobile, laka teretna vozila, kamione i autobuse. Emisije štetnih plinova se značajno razlikuju za različite tipove vozila pa ih je nužno svrstati u grupe koje će pružiti potrebnu homogenost podataka. [49] Sljedeće tablice [Tablica 19, Tablica 20] prikazuju dozvoljene emisije štetnih plinova propisane od Europske komisije za osobna vozila, a emisije su prikazane kao g/km koje vozilo prođe.

Tablica 19. Euro standardi za osobna vozila [49]

Standard	CO	THC	NO_x	HC+NO_x	PM
DIZEL					
Euro 1 (1992.)	2.72 (3.16)	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Euro 2 (1996.)	1	-	-	0,7	0,08
Euro 3 (2000.)	0,64	-	0,5	0,56	0,05
Euro 4 (2005.)	0,5	-	0,25	0,3	0.025
Euro 5 (2009.)	0,5	-	0.180	0.230	0.005
Euro 6 (2014.)	0,5	-	0.080	0.170	0.005
BENZIN					
Euro 1 (1992.)	2.72 (3.16)	-	-	0.97 (1.13)	-
Euro 2 (1996.)	2,2	-	-	0,5	-
Euro 3 (2000.)	2,3	0,2	0,15	-	-
Euro 4 (2005.)	1	0,1	0,08	-	-
Euro 5 (2009.)	1	0,1	0.060	-	0.005
Euro 6 (2014.)	1	0,1	0.060	-	0.005

Tablica 20. Euro standardi za CO₂ za osobna vozila [50] [51]

Benzin, Dizel	CO ₂ [g/km]
Euro 3	183
Euro 4	163
Euro 5	140
UNP	124

Iz tablica je vidljivo da su standardi za vozila na dizel mnogo stroži za emisije CO i HC, dok su emisije za NO_x kod automobila na benzin strože kad se usporede sa standardima za vozila na dizel. Standardne emisije za CO₂ su jednake.

5.2. Osobna vozila prema starosti vozila i vrsti goriva

Ukupan broj osobnih vozila koja dnevno sudjeluju u prometu iznosi 327.612. [25] U tablici [Tablica 21] je prikazan broj vozila prema vrsti goriva.

Tablica 21. Podijela osobnih vozila prema vrsti goriva [25] [52]

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Disel	158.564	47,92%
Benzin	169.048	51,08%
UNP	3.276	1,00%
Ukupan broj	327.612	100%

Također je dan prikaz [Tablica 22] ukupne podjele vozila koja se kreću zagrebačkim cestama prema starosti te prema vrsti pogonskog goriva.

Tablica 22. Podjela osobnih vozila prema starosti i vrsti goriva iz 2010. u Zagrebu [25] [53]

Udjeli vozila	Diesel	Benzin	UNP
< 1 godina	4.710	6.694	
2-5 godina	15.699	16.734	3.276
6-9 godina	34.538	35.142	
>10 godina	102.045	108.774	
Ukupno	156.992	167.344	3.276

Osobna vozila starija od 10 godina najzastupljenija u prometu s 64% odnosno sa 210.818 vozila, dok vozila između 6-9 godina ima 21% odnosno 69.680. Novih vozila starosti do 5 godina registrirano je 11%, dok su tek kupljeni automobili starosti do 1 godine najmanje zastupljeni na cestama. [53]

5.3. Godišnje emisije CO₂ osobnih vozila za referentni scenarij

Kod proračuna emisija osobnih vozila uzeto je da u prosjeku svaki automobil dnevno prijeđe 37,2 km [54] te je godišnja kilometraža dobivena pretpostavkom da svaki dan u godini automobil u prosjeku napravi istu kilometražu.

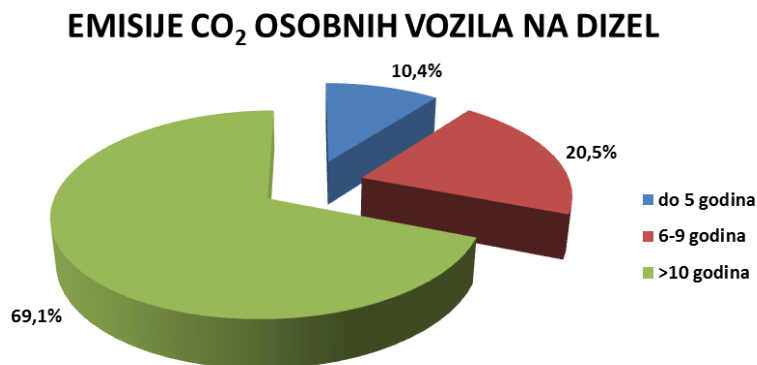
5.3.1. Godišnje emisije CO₂ vozila na dizel

Svaki automobil u prosjeku prijeđe 37,2 km [54] dnevno što pomnoženo s brojem auta na dizel starih do 5 godina daje dnevnu kilometražu vozila, odnosno pomnoženo s brojem dana u godini daje godišnju kilometražu vozila. Njihove emisije na godišnjoj razini su računate prema Euro standardu 5 i najmanje su u usporedbi sa starijim vozilima. Emisije CO₂ na godišnjoj razini iznose 38.795 tone. Istim postupkom su dobivene emisije CO₂ za dizel automobile starosti 6-9 godina i one starije od 10 godina. Za dobivanje ukupne emisije na godišnjoj razini za vozila na dizel između 6 i 9 godina godišnja kilometraža vozila pomnožena je sa dopuštenim emisijama prema Euro normi 4 za vozila na dizel.

Godišnje emisije za osobna vozila na dizel starija od 10 godina su dobivene prema Euro standardu 3. Iz se vidi da su najviše štetnih emisija emitiraju najstarija vozila. Godišnje emisije CO₂ za dizel osobne automobile su prikazane u tablici [Tablica 23].

Tablica 23. Godišnje emisije CO₂ za osobna vozila na dizel

EMISIJE CO₂ OSOBNIH VOZILA NA DIZEL				
	do 5 godina	6-9 godina	>10 godina	Ukupno
CO ₂ [t/god]	38.795	76.440	257.714	372.950



Slika 31. Godišnje emisije CO₂ za osobna vozila na dizel u Zagrebu

Na dijagramu [Slika 31] dana je usporedba emisija CO₂ za sva dizel vozila. Najvišu količinu CO₂ na godišnjoj razini emitiraju stara vozila, kojih je u ovom trenutku i najviše na području Zagreba.

5.3.2. Godišnje emisije vozila na benzin

Kao i kod automobila na benzin svaki automobil u prosjeku prijeđe 37,2 [54] km dnevno što pomnoženo s brojem auta na benzin starih do 5 godina daje dnevnu kilometražu vozila, odnosno pomnoženo s brojem dana u godini daje godišnju kilometražu vozila. Njihove emisije na godišnjoj razini su računane prema Euro normi 5 i najmanje su u usporedbi sa starijim vozilima. Istim postupkom su dobivene emisije CO₂ za dizel automobile starosti 6-9 godina i one starije od 10 godina.

Za dobivanje ukupne emisije na godišnjoj razini za vozila na benzin između 6 i 9 godina godišnja kilometraža vozila pomnožena je sa dopuštenim emisijama prema Euro normi 4 za vozila na benzin.

Godišnje emisije za osobna vozila na benzin starija od 10 godina su dobivene prema Euro standardu 3. Godišnje emisije CO₂ za dizel osobne automobile su prikazane u tablici [Tablica 24]. Ukupne emisije CO₂ osobnih vozila na benzin su 397.021 tona godišnje. Najviše emitiraju vozila starija od 10 godina i na godišnjoj razini emitiraju 274.708 tona CO₂.

Tablica 24. Emisije CO₂ osobnih vozila na benzin

EMISIJE CO₂ OSOBNIH VOZILA NA BENZIN				
	do 5 godina	6-9 godina	>10 godina	Ukupno
CO ₂ [t/god]	44.535	77.777	274.708	397.021

5.3.3. Godišnje emisije vozila pogonjena na ukapljeni naftni plin (UNP)

Broj vozila na UNP u Zagrebu koji sudjeluju i prometu je oko 1%. [52] Godišnja kilometraža i broj vozila pomnoženi sa pripadajućim emisijama UNP dobivene su godišnje emisije CO₂. Ukupno godišnje UNP osobna vozila emitiraju 2.511 tona godišnje CO₂.

5.3.4. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila

Ukupne godišnje emisije CO₂ iznose 772.483 tona. Vozila na benzin ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 51,4 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ dane su u tablici [Tablica 25].

Tablica 25. Godišnje emisije CO₂ osobnih vozila

UKUPNE EMISIJE CO₂ OSOBNIH VOZILA				
	Dizel	Benzin	UNP	Ukupno
CO ₂ [t/god]	372.950	397.021	2.511	772.483

5.4. Scenarij promjene strukture gradskog prometa

Veće korištenje čistih tehnologija i električnih automobila znatno će smanjiti zagađenje zraka u europskim gradovima. Manje ljudi će patiti od astme i drugih respiratornih bolesti, znatno manje novca bi trebalo biti utrošeno na zdravstvenu skrb i opremu za kontrolu zagađenja zraka. U ovom radu će se razmotriti nekoliko razvojnih scenarija promjene strukture gradskog prometa s ciljem poboljšanje kvalitete atmosfere. U prvi plan je stavljeno uvođenje električnih osobnih vozila. Budući da električna vozila imaju manje emisije štetnih plinova nego vozila na benzin ili dizel, svrha je pokušati smanjiti emisije na godišnjoj razini. Obraditi će se pet

scenarija s različitim postotkom penetracije EV. S povećanjem udjela električnih vozila smanjivat će se udio automobila na dizel i benzin.

5.4.1. Godišnje emisije električnih vozila

Svaki automobil u prosijeku prijeđe 37,2 km dnevno što pomnoženo s brojem električnih auta i s brojem dana u godini daje godišnju kilometražu. Izabrano vozilo je Nissan Leaf koji ima kapacitet baterije 24 kWh, te doseg 121 km. [29] Faktor emisije CO₂ po jedinici električne energije je 0,376 kg CO₂/kWh. [55]

5.4.2. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 10% EV

Scenarij s 10% EV ima novu strukturu vozila u kojoj 43,52% osobnih vozila koristi benzin kao gorivo, a 45,48% osobnih vozila koristi dizel, dok samo 1% osobnih vozila koristi ukapljeni naftni plin. [Tablica 26]

Tablica 26. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 10% EV u Zagrebu

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Disel	142.577	43,52%
Benzin	148.998	45,48%
EV	32.761	10,00%
UNP	3.276	1,00%

Tablica [Tablica 27] prikazuje ukupne godišnje emisije CO₂ koje nastaju u vožnji osobnim vozilima. Vozila na dizel ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 47,68 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ u scenariju s 10% električnih vozila iznose 641.924 t/god.

Tablica 27. Godišnje emisije osobnih vozila s 10% EV

UKUPNE EMISIJE OSOBNIH VOZILA					
	Dizel	Benzin	UNP	Električna vozila	Ukupno
CO ₂ [t/god]	306.086	295.129	7.533	33.175	641.924

5.4.3. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 20% EV

Prema tablici [Tablica 28] u scenariju s 20% EV 40,37% osobnih vozila koristi benzin kao gorivo, a 38,63% osobnih vozila koristi dizel, dok samo 1% osobnih vozila koristi ukapljeni naftni plin.

Tablica 28. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 20% EV u Zagrebu

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Dizel	126.557	38,63%
Benzin	132.257	40,37%
EV	65.522	20,00%
UNP	3.276	1,00%

Tablica [Tablica 29] prikazuje ukupne godišnje emisije CO₂ koje nastaju u vožnji osobnim vozilima. Vozila na dizel ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 44,71 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ u scenariju s 20% električnih vozila iznose 607.546 t/god.

Tablica 29. Godišnje emisije osobnih vozila s 20% EV

UKUPNE EMISIJE OSOBNIH VOZILA					
	Dizel	Benzin	UNP	Električna vozila	Ukupno
CO ₂ [t/god]	271.694	261.969	7.533	66.350	607.546

5.4.4. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 30% EV

U scenariju s 30% električnih vozila 35,26% osobnih vozila koristi benzin kao gorivo, a 33,74% osobnih vozila koristi dizel, dok samo 1% osobnih vozila koristi ukapljeni naftni plin. [Tablica 30]

Tablica 30. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 30% EV u Zagrebu

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Dizel	110.536	33,74%
Benzin	115.516	35,26%
EV	98.284	30,00%
UNP	3.276	1,00%

Tablica [Tablica 31] prikazuje ukupne godišnje emisije CO₂ koje nastaju u vožnji osobnim vozilima. Vozila na dizel ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 41,4 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ u scenariju s 30% električnih vozila iznose 573.169 t/god.

Tablica 31. Godišnje emisije osobnih vozila s 30% EV

UKUPNE EMISIJE OSOBNIH VOZILA					
	Dizel	Benzin	UNP	Električna vozila	Ukupno
CO ₂ [t/god]	237.301	228.809	7.533	99.525	573.169

5.4.5. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 40% EV

Prema tablici [Tablica 32] vidi se da 30,15% osobnih vozila koristi benzin kao gorivo, a 28,85% osobnih vozila koristi dizel, dok samo 1% osobnih vozila koristi ukapljeni naftni plin.

Tablica 32. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 40% EV u Zagrebu

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Dizel	94.516	28,85%
Benzin	98.775	30,15%
EV	131.045	40,00%
UNP	3.276	1,00%

Tablica [Tablica 33] prikazuje ukupne godišnje emisije CO₂ koje nastaju u vožnji osobnim vozilima. Vozila na dizel ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 37,7 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ u scenariju s 40% električnih vozila iznose 538.791 t/god.

Tablica 33. Godišnje emisije osobnih vozila s 40% EV

UKUPNE EMISIJE OSOBNIH VOZILA					
	Dizel	Benzin	UNP	Električna vozila	Ukupno
CO ₂ [t/god]	202.909	195.649	7.533	132.700	538.791

5.4.6. Ukupne godišnje emisije osobnih vozila s 50% EV

U scenariju s 50% električnih 25,04% osobnih vozila koristi benzin kao gorivo, a 23,96% osobnih vozila koristi dizel, dok samo 1% osobnih vozila koristi ukapljeni naftni plin. [Tablica 34]

Tablica 34. Struktura vozila po gorivu za scenarij s 50% EV u Zagrebu

Gorivo	Broj vozila	Postotak
Dizel	78.496	23,96%
Benzin	82.034	25,04%
EV	163.806	50,00%
UNP	3.276	1,00%

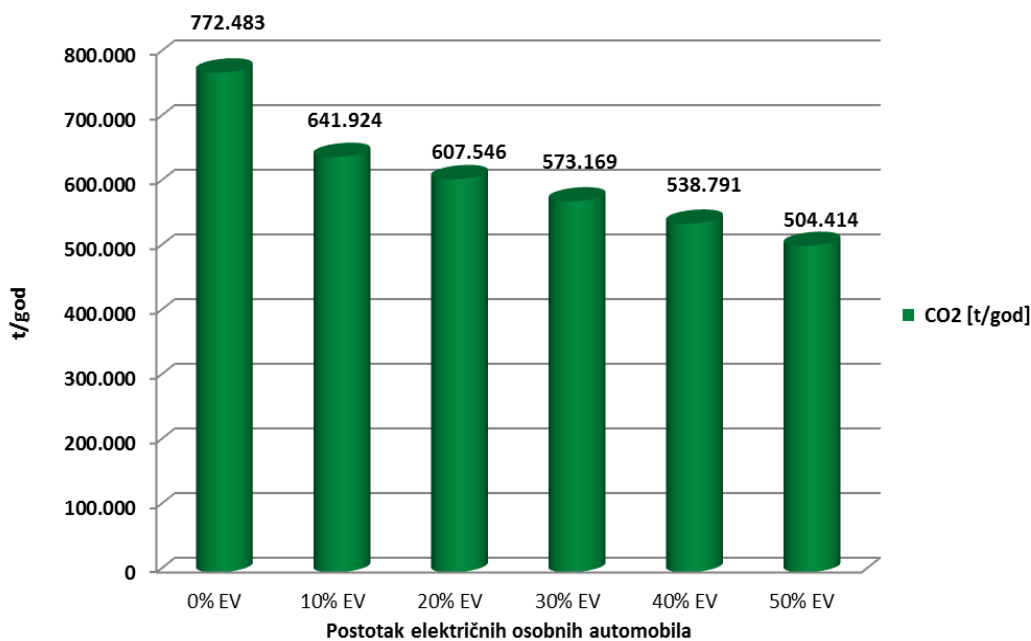
Tablica [Tablica 35] prikazuje ukupne godišnje emisije CO₂ koje nastaju u vožnji osobnim vozilima. Vozila na dizel ispuštaju godišnje najviše CO₂ i to 33,4 % od ukupne emisije CO₂ na godišnjoj razini. Ukupne emisije CO₂ u scenariju s 50% električnih vozila iznose 504.414 t/god.

Tablica 35. Godišnje emisije osobnih vozila s 50% EV

UKUPNE EMISIJE OSOBNIH VOZILA					
	Dizel	Benzin	UNP	Električna vozila	Ukupno
CO ₂ [t/god]	168.516	162.490	7.533	165.874	504.414

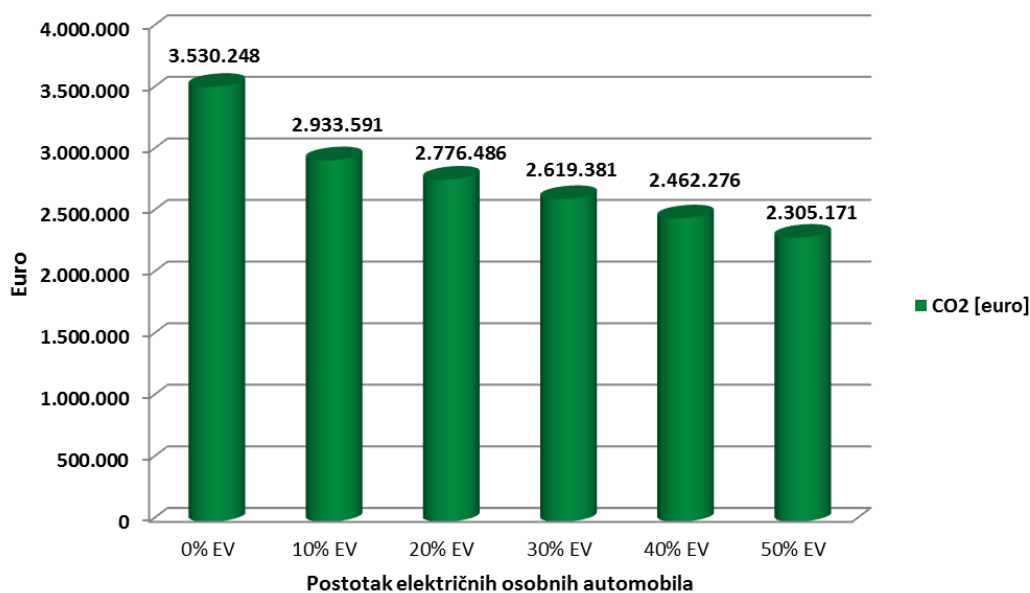
5.4.7. Usporedba CO₂ emisija svih scenarija

Ako se pogleda dijagram [Slika 32] vidi se da se povišenjem udjela električnih vozila smanjuju ukupne emisije CO₂. S obzirom na referentni scenarij emisije CO₂ su se smanjile za 16,9 % u scenariju s 10% električnih vozila. Daljnim povećavanjem penetracije EV smanjuju se emisije CO₂. U odnosu na scenarij s 10% EV u scenariju s 20% zabilježeno je smanjenje emisije CO₂ od 5,4 %. Emisije CO₂ u scenariju s 30% EV iznose 573.169 t/god što je 25,8% manje nego u referentnom scenariju. Na kraju ako se pogleda scenarij s najvišom penetracijom električnih vozila od 50%, vidi se smanjenje 34,7 % emisija CO₂ koje iznose 504.414.



Slika 32. Usporedba emisija CO₂ za različite scenarije penetracije EV

Na dijagramu [Slika 33] su prikazani troškovi emisija CO₂ na godišnjoj razini. Cijena CO₂ iznosi 4,57 eura/t. [56] U referentnom scenariju s 0% EV su troškovi iznosili 3.530.248 €, a u scenariju s 50% su iznosili 2.305.171 €.



Slika 33. Usporedba troškova emisija CO₂ za različite scenarije penetracije EV

6. ZAKLJUČAK

FSM je u ovom radu prvi put primijenjen za proračun punjenja električnih vozila. Do sada je FSM korišten samo za planiranje infrastrukture transportnog sustava, te za predviđanje budućeg opterećenje prometa i njegovog utjecaj na projekte koji uključuju izgradnju prometnih sustava. Po prvi put FSM pristup je primijenjen u energetsom planiranju za dobivanje krivulje opterećenja prometa. Kroz niz izračuna model je u stanju procijeniti ukupan broj putovanja i broj vozila koji su doveli do izračuna dnevne potrošnje energije električnih vozila.

Najveće netočnost u FSM je korištenje geografskih i socioekonomske projekcija. Preporuča se primjena opsežnih anketa. Promjene u ulaznim podacima modela dovode do varijacija u izlaznim rezultatima modela zbog velike važnosti ulaznih podataka. Rezultati FSM koji se primjenjuje u ovom slučaju u energetsom planiranju su zadovoljavajući, ali poboljšanje kvalitete ulaznih podataka može dovesti do preciznijih procjena.

Analiza u FSM dovela je do rezultata o sveukupni broj putovanja vozilom za jedan dan iznosi 1.742.258 te je raspodjela po namjeni putovanja prikazana u tablici [Tablica 36]. Temeljem broja putovanja napravljena je satna distribucija za karakteristični dan u tjednu. FSM kao jedinicu analize koristi dan u tjednu i ne dopušta ispitivanje interakcije u sudjelovanju u djelatnostima između vikenda i radnih dana. [43] Naglašava se da FSM ne razlikuje dan u tjednu od vikenda, te su se krivulje za punjenje EV u ovom radu također radile za radni dan. Daljnjim istraživanjem i provedbama opsežnih anketa te promjenom ulaznih podataka i prilagodbom modela postoji mogućnost razdvajanja vikenda od radnog dana. U radu su pretpostavljena smanjenja putovanja tijekom vikenda, međutim stvarna kretanja se trebaju utvrditi ispitivanjima i usporedbom s drugim rezultatima.

Tablica 36. Broj putovanja vozila prema namjeni za Zagrebu

HBW putovanja osoba	HBO putovanja osoba	NHB putovanja vozila
502.258	893.548	346.452

U radu se analiziralo pet scenarija penetracije EV te se utvrdilo kakav je utjecaj potrošnje energije EV na satnu distribuciju krivulje potrošnje. Vršna opterećenja bi mogla biti problematična za klasični elektroenergetski sustav. Analizom se utvrdilo da neregulirano punjenje ima negativan utjecaj na satnu krivulju potrošnje iz razloga što se potrošnja za punjenje EV raspodjeljuje prema satnoj distribuciji i uzrokuje povećanje vršnih opterećenja, što je izrazitije s većom penetracijom EV.

Tablica 37. Utjecaj potrošnje električne energije za punjenje EV

Scenariji	Povećanje potrošnje el. energije (MWh)	Povećanje potrošnje električne energije (%)	Povećanje vršnog opterećenja popodne (%)
10% EV	340,4	3,19	6,4
20% EV	680,8	6,4	12,7
30% EV	1021	9,6	19
40% EV	1362	12,8	25,5
50% EV	1702	16	31,8

Popunjenost parkirnih mjesta se analizirala za centralne zone. Međutim, zbog toga što je O-D matrica simetrična, ne vidi se veći priljev vozila u centralne zone. Zbog toga u radu se nije uzelo u obzir da neće sva parkirana električna vozila biti spojena na mrežu odnosno da pokrivenost punjača nikad neće biti 100% parkirnih mjesta i parkiranih vozila.

Problem povećanja vršnih opterećenja se može riješiti primjenjivanjem pametnog punjenja i V2G. Pametno punjenje se smatra povoljnijim od fleksibilne potrošnje jer zadovoljava potrebe mreže i potrebe vozača. Cilj je nastoji smanjiti vršnu proizvodnju i puniti vozila u vrijeme niske potrošnje.

Povišenjem udjela električnih vozila smanjuju se ukupne emisije CO₂. S obzirom na referenti scenarij emisije CO₂ su se smanjile za 16,9 % u scenariju s 10% električnih vozila. Daljnjim povećavanjem penetracije EV smanjuju se emisije CO₂. Na kraju ako se pogleda scenarij s najvišom penetracijom električnih vozila od 50%, vidi se smanjenje 34,7 % emisija CO₂.

Povećanje penetracije električnih vozila omogućuje promjenu klasičnog elektroenergetskog sustava u sustav s visokom proizvodnjom električne energije iz OIE s uvođenjem spremnika energije.

LITERATURA

- [1] »European Environment Agency,« [Mrežno]. Available: <http://www.eea.europa.eu/themes/transport/intro>.
- [2] [Mrežno]. Available: http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm. [Pokušaj pristupa October 2013].
- [3] T. Kurevija, »Policies, progress and measures of reducing CO2 emissions from road transportation sector in EU«.
- [4] M. G. McNally, »The Four Step Model«.
- [5] C. Yang i A. Chenn, »Sensitivity analysis of the combined travel demand model with applications,« *European Journal of Operational Research*.
- [6] K. F.S i C. Bhat, »Activity-Based Modeling of Travel Demand«.
- [7] Transportation Research Board, »NCHRP Report 365, Estimation Techniques for Urban Planning,« 1998.
- [8] J. N. Gachanja, »Towards Integrated Land Use and Transport Modeling:Evaluating Accuracy of the Four Step Transport Model-The Case of Istanbul, Turkey«.
- [9] Z. Zhong, A. Chen i S. Wong, »Alternative formulations of a combined trip generation, trip distribution,modal split, and trip assignment model,« *European Journal of Operational Research*.
- [10] M. Murga, »The 4-Step Demand Model«.
- [11] Z. Qian, Y. Han i J. Stone, »Forecasting External Trips in Small and Medium Cities Based on Local Economic Context«.
- [12] T. R. Board, »NCHRP 716«.
- [13] A. Sosslau, A. Hassan, M. Carter i G. Wickstrom, »Quick Response Urban Travel Estimation Techniques and Transferable Parametars,« 1978.
- [14] Barton-Aschman Associates, Inc., »Vehicle Occupancy Determinators: Report FHWA-AZ89-252.,« Phoenix, 1989.
- [15] »Auto na struju,« [Mrežno]. Available: <http://www.autonastruju.com/elauto.php>.
- [16] G. Krajačić, N. Duić i M. Carvalho, »H2RES, Energy planning tool for island energy systems – The case of the Island of Mljet,« *International Journal of Hydrogen Energy*.
- [17] G. Krajačić, N. Duić i M. d. G. Carvalho, »How to achieve a 100% RES electricity supply for Portugal?,« *Applied Energy*.
- [18] »EnergyPlan,« [Mrežno]. Available: <http://www.energyplan.eu/h2res/>.
- [19] »H2RES,« [Mrežno]. Available: <http://h2res.fsb.hr/>.
- [20] »"Smart" punjenje vs. "Dumb" punjenje,« [Mrežno]. Available: http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:107432/datastreams/file_9987270/content.
- [21] »V2G-Wiki,« [Mrežno]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>.
- [22] »Zagreb Wikipedia,« [Mrežno]. Available: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Zagreb>.
- [23] »Službene stranice Grada Zagreba,« [Mrežno]. Available: <http://www.zagreb.hr/default.aspx?id=1074>.
- [24] »Državni zavod za statistiku,« [Mrežno]. Available: <http://www.dzs.hr/>. [Pokušaj pristupa

- October 2013].
- [25] »Statistički ljetopis grada Zagreba,« Zagreb, 2011.
- [26] J. Mišura, »Elektroenergetska mreža grada Zagreba u otočnom radu«.
- [27] »HOPS,« [Mrežno]. Available: <http://www.hep.hr/ops/upravljanje/zagreb.aspx>.
- [28] »ENTSO-E,« [Mrežno]. Available: <https://www.entsoe.eu/>.
- [29] »Green Car Reports,« [Mrežno]. Available: http://www.greencarreports.com/news/1080871_electric-car-price-guide-every-2012-2013-plug-in-car-with-specs.
- [30] »NISSAN,« [Mrežno]. Available: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/charging-range/charging/>. [Pokušaj pristupa October 2013].
- [31] »Chevrolet,« [Mrežno]. Available: <http://www.chevrolet.com/spark-ev-electric-vehicle.html#Chargeitup>.
- [32] »Chevrolet Volt,« [Mrežno]. Available: <http://www.chevrolet.hr/dozivi-chevrolet/buduci-automobili/volt-production-proizvodni-model.html>.
- [33] »Fiat,« [Mrežno]. Available: <http://www.fiatusa.com/en/2013/500e/>.
- [34] »Ford_C_Max,« [Mrežno]. Available: <http://www.caranddriver.com/reviews/2013-ford-c-max-energi-plug-in-hybrid-test-review>.
- [35] »Ford Focus Wiki,« [Mrežno]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Ford_Focus_Electric.
- [36] »Honda,« [Mrežno]. Available: <http://automobiles.honda.com/fit-ev/charging-an-electric-vehicle.aspx>.
- [37] »Tesla Motors,« [Mrežno]. Available: <http://www.teslamotors.com/models/specs>.
- [38] »Toyota,« [Mrežno]. Available: <http://www.toyota.com/rav4ev#!/panels2>.
- [39] H. Yang, »Synthesized Through Trip Model For Small and Medium Urban Areas«.
- [40] H. c. d.o.o, »Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske godine 2005.,« 2006.
- [41] »BlueMM,« [Mrežno]. Available: <http://bluemm.blogspot.com/2007/01/excel-formula-to-calculate-distance.html>.
- [42] »Finding distances based on Latitude and Longitude,« [Mrežno]. Available: <http://andrew.hedges.name/experiments/haversine/>.
- [43] F. Foundation for the Automobile and Society, »The Automobile and Society«.
- [44] S. B. Corcoran, »Senior Housing Trip Generation and Parking Demand Characteristics«.
- [45] »ROADMAP TO 2050,« [Mrežno]. Available: <http://www.roadmap2050.eu/>.
- [46] E. Commission, »White Paper on TRansport,« 2011.
- [47] »PRAVILNIK JAVNIM PARKIRALIŠTIMA S NAPLATOM,« [Mrežno]. Available: http://www.nasice.hr/glasnik/2009_11_gdnc_31.pdf.
- [48] »ZG Portal,« [Mrežno]. Available: <http://www.zgportal.com/servisne-informacije/javne-garaze-zagreb/>.
- [49] »European emission standards,« [Mrežno]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards.
- [50] »OPEL LPG,« [Mrežno]. Available: <http://www.autonet.hr/opelova-paleta-lpg-vozila>.
- [51] »Europa Press Release,« [Mrežno]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-07-155_en.htm?locale=en.
- [52] »Poslovni.hr,« [Mrežno]. Available: <http://www.poslovni.hr/mobile/hrvatska/na-auto->

showu-premijera-tvornickih-vozila-na-plin-8630.

- [53] »Pregled starosti vozila prema vrstama vozila,« [Mrežno]. Available:
http://www.cvh.hr/media/132586/2012_prilog_1_-_pregled_starosti_vozila_prema_godinama_proizvodnje.pdf.
- [54] »National Travel Survey: 2010,« [Mrežno]. Available: [19]
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/8932/nts2010-01.pdf.
- [55] M. P. E. PREGLEDA, »METODOLOGIJA PROVOĐENJA ENERGETSKOG PREGLEDA,« [Mrežno]. Available:
http://www.mgipu.hr/doc/Propisi/Metodologija_provođenja_epg.pdf.
- [56] »Market Trading,« [Mrežno]. Available:
<http://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights>.

PRILOZI

I. CD-R disc