Napredno energetsko planiranje sektora transporta na otoku Krku

Bošković, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:162753

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Fran Bošković

Zagreb, 2019 godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Napredno energetsko planiranje sektora transporta na otoku Krku

Mentori:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Fran Bošković

Zagreb, 2019 godina.

Zahvala

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

Zahvaljujem se svome mentoru dr. sc. Goranu Krajačiću na pomoći pri prikupljanju podataka kao i na pomoći u izradi i pisanju ovoga rada, te na svim savjetima i komentarima.

Posebno bih se zahvalio svojoj obitelji i prijateljima koji su uvijek bili moja najveća potpora u svim godinama studija.

Fran Bošković

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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Fran Bošković** Mat. br.: 0035191028

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Napredno energetsko planiranje sektora transporta na otoku Krku**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Advanced energy planning of the transport sector on the Krk island**

Opis zadatka:

Otok Krk želi postati prvi energetski neovisan i CO_2 neutralan otok na Mediteranu. Na toj liniji izraduju se strategije i akcijski planovi, koji za cilj imaju povećati udio lokalno prisutnih obnovljivih izvora energije u zadovoljavanju potražnje za energijom te udio električnih vozila u sektoru transporta na otoku. Kako se ne bi ugrozila sigurnost dobave energije, dostatnost i stabilnost elektroenergetskog sustava, integracija obnovljivih izvora energije i električnih vozila mora biti pomno planirana dostupnim matematičkim modelima i računalnim programima. U radu je potrebno pomoću javno dostupnog računalnog alata SUMO *Simulation of Urban MObility* izraditi sljedeće:

a) unijeti prometnice otoka Krka u SUMO te ih razvrstati i uskladiti s postojećim stanjem uz pomoć javno dostupnih informacija,
b) prikupiti i analizirati podatke o vozilima i potrebama za transportom na otoku Krku,
c) simulirati transport na otoku uz odabir prikladnih električnih vozila u svakom segmentu cestovnog transporta (osobna vozila, javni prijevoz, logistička i teretna vozila),
d) odrediti broj i instaliranu snagu punionica za električna vozila te simulirati njihovo korištenje za različite vozne cikluse i tipove električnih vozila,
e) za odabrani vremenski period i karakteristični dan, izraditi krivulje potražnje za električnom energijom uslijed punjenja električnih vozila,
f) za proračunati broj punionica i električnih vozila prikazati ukupnu godišnju potrošnju električne energije u sektoru transporta te smanjenje emisija štetnih plinova i čestica s obzirom na postojeće stanje.

Potrebni podaci mogu se dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
7. ožujka 2019.	9. svibnja 2019.	15., 16. i 17. svibnja 2019.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
2. OTOK KRK 3
2.1. Turizam otoka Krka 4
2.2. Gospodarstvo i javne ustanove otoka Krka 7
2.3. Prometnice otoka Krka 10
3. BROJANJE PROMETA 14
3.1. Kategorije vozila 16
3.2. Most i trajektna luka 17
3.2.1. Krčki most 18
3.2.2. Trajektna luka Valbiska 19
3.3. Opterećenje prometnica 19
4. STRUKTURA I TRENDOVI VOZILA OTOKA KRKA 22
4.1. Trendovi u Europi 25
5. INFRASTRUKTURA POTREBNA ZA ELEKTRIČNA VOZILA 28
5.1. Električna vozila 32
6. SUMO – Simulation of Urban Mobility 36
6.1. Generiranje cestovnih mreža 36
6.2. Generiranja potražnje 38
6.3. Simulacija 40
6.4. Energetski model vozila u SUMO 41
6.5. Emisije štetnih plinova u SUMO 43
6.6. Prometnice otoka u SUMO 43
7. INFRASTRUKTURA PUNIONICA OTOKA KRKA 49
8. GENERIRANJE KRETANJA PO OTOKU KRKU – O/D MATRICA 56
9. SIMULACIJA PROSJEČNOG DANA U PROMETU OTOKA BEZ ELEKTRIČNIH VOZILA 73

10. ELEKTRIFIKACIJA PROMETA 77
10.1. Elektrifikacija osobnih električnih vozila 77
10.2. Elektrifikacija autobusa 83
10.3. Elektrifikacija teretnih vozila 88
10.4. Krivulje opterećenja za sve kategorije 93
10.5. Promet otoka Krk s 5% -tnim udjelom električnih osobnih vozila 95
10.6. Potrošnja električne energije punionica 97
11. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA I ČESTICA 99
12. ZAKLJUČAK 102
LITERATURA 103
PRILOZI 106

POPIS SLIKA

Slika 1. Geografski prikaz otoka Krka [3] 4
Slika 2. Broj posjetioca otoka Krka po mjesecima [5] 5
Slika 3. Broj noćenja otoka Krka po mjesecima [5] 6
Slika 4. Prometnice otoka Krka [9] 11
Slika 5. Lokacije brojača prometa na otoku Krku 14
Slika 6. Podjela kategorija vozila 17
Slika 7. Broj prolazaka vozila na naplatnoj postaji Krčki most [12] [13] [10] 18
Slika 8. Dnevni promet brojnog mjesta Omišalj za 2017. godinu [10] 20
Slika 9. Satni promet brojnog mjesta Omišalj za 2017. godinu [10] 20
Slika 10. Prosječni satni promet u tjednim danima za Omišalj [10] 21
Slika 11. Raspodjela pogonskih goriva vozila Hrvatske [15] 23
Slika 12. Broj novih i rabljenih vozila na tehničkom pregledu u RH [16] 24
Slika 13. Električna vozila na tehničkom pregledu RH [18] 25
Slika 14. Trend udjela električnih vozila u globalnom voznom parku [19] 26
Slika 15. Broj električnih vozila u Europi [19] 26
Slika 16. Trendovi prodaje električnih vozila u Europi [20] 27
Slika 17. Shema punjenja električnog vozila na šuko utičnici [21] 28
Slika 18. Shema punjenja EV s napojnim kabelom koji ima upravljački uređaj [21] 29
Slika 19. Shema punjenja EV izmjeničnom strujom preko utičnici tip 2 [21] 30
Slika 20. Shema punjenja EV istosmjernom strujom [21] 31
Slika 21. Shema korisne energije vozila pogonjenih dizelskim gorivom ili el.en. [22] 32
Slika 22. Shema rada električnih vozila [23] 33
Slika 23. Shema izrade prometnica u SUMO [28] 37
Slika 24. Vizualizacija prometnica u aplikaciji netedit [28] 38
Slika 25. Shema kreiranja putovanja simulacije [28] 39
Slika 26. Otok krk u OpenStreetMapu [29] 44
Slika 27. Mreža prometnica otoka Krka u aplikaciji netedit 45
Slika 28. Pročišćena mreža prometnica u aplikaciji netedit 46
Slika 29. Mreža prometnica otoka s geografskim obrisima 48
Slika 30. Lokacije punionica otoka Krka [38] 50
Slika 31. Priključak tipa 2 [40] 52
Slika 32. Krivulja brzine punjenja različitih baterijskih sklopova [41] 53
Slika 33. Krivulja brzine punjena baterijskog sklopa Nissan Leafa [41] 54
Slika 34. Grafički prikaz i parametri punionice električnom energijom u SUMO 55
Slika 35. Broj vozila po prometnicama otoka Krka po studiji Instituta IGH [43] 56
Slika 36. Kretanja stanovništva za naselje Omišalj [44] 58
Slika 37. Kretanja stanovništva za naselje Malinska [44] 60
Slika 38. Kretanja stanovništva za grad Krk [44] 61
Slika 39. Kretanja stanovništva za naselje Punat [44] 62
Slika 40. Kretanja stanovništva za naselje Vrbnik [44] 63
Slika 41. Kretanja stanovništva za naselje Baška [44] 64
Slika 42. Jednodnevna krivulja opterećenja prometnica otoka Krka 71

Slika 43. Opterećenje prometnica za prosječan dnevni promet....73
Slika 44. Emisije CO_2 po kategorijama....76
Slika 45. Utrošak goriva po kategorijama vozila....76
Slika 46. Krivulja opterećenja za osobna vozila za dnevni režim....82
Slika 47. Krivulja opterećenja za osobna vozila za noćni režim....83
Slika 48. Krivulja opterećenja za autobuse za dnevni režim....87
Slika 49. Krivulja opterećenja za autobuse za noćni režim....88
Slika 50. Krivulja opterećenja za teretna vozila za dnevni režim....92
Slika 51. Krivulja opterećenja za teretna vozila za noćni režim....93
Slika 52. Krivulja opterećenja za sve kategorije vozila za dnevni režim....94
Slika 53. Krivulja opterećenja za sve kategorije vozila za noćni režim....94
Slika 54. Redukcija emisija štetnih plinova za promet s 5% električnih vozila....100
Slika 55. Redukcija emisija štetnih plinova za promet svih kategorija vozila....101

POPIS TABLICA

Tablica 1. Raspodjela broja stanovnika i radno sposobnih otoka Krka 3
Tablica 2. Turistički podaci otoka Krka za 2017. godinu [6]....7
Tablica 3. Aktivna poduzeća otoka Krka [7] 8
Tablica 4. Najvažnije prometnice otoka Krka [11] 12
Tablica 5. Lokacije i oznake brojačkih mjesta prometa [10] 15
Tablica 6. PDGP i PDLP brojačkih mjesta otoka 15
Tablica 7. Kategorije vozila brojača....16
Tablica 8. Promet trajektne luke Valbiske za 2017. godinu....19
Tablica 9. Broj ukupno registriranih vozila na otoku Krku [14]....22
Tablica 10. izvedbe priključaka punionica [21] 31
Tablica 11. Popis električnih vozila dostupnih na hrvatskom tržištu [24] 34
Tablica 12. Ograničenja brzina prometnica otoka Krka....47
Tablica 13. Popis i specifikacije punionica otoka Krka [38] 51
Tablica 14. Broj putovanja za najveća naselja otoka Krka 65
Tablica 15. Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta 66
Tablica 16. Simulacija prometa bez električnih vozila 74
Tablica 17. Emitirane emisije štetnih plinova simulacije bez EV....75
Tablica 18. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja....77
Tablica 19. Specifikacije vozila Volkswagen e-golf [25] 80
Tablica 20. Simulacija prometa s osobnim električnim vozilima 81
Tablica 21. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja za električne autobuse 84
Tablica 22. Specifikacije vozila Volvo 7900 Electric [45] 85
Tablica 23. Simulacija električnih autobusa....85
Tablica 24. Pokrivanje energetskih potreba električnih autobusa....86
Tablica 25. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja za električna teretna vozila 89
Tablica 26. Specifikacija vozila EForce EF18 [46] 90
Tablica 27. Simulacija električnih teretnih vozila....90
Tablica 28. Pokrivanje energetskih potreba električnih teretnih autobusa....91
Tablica 29. Mreža punionica za ostvarivanje 5% električnih osobnih vozila....95
Tablica 30. Simulacija električnih osobnih vozila s udjelom u iznosu 5%....96
Tablica 31. Potrošnja električne energije punionica 97
Tablica 32. Emitirane emisije štetnih plinova za razne udjele električnih vozila 99

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_{vozilo}	m^2	Prednja površina vozila
b	m	Širina
c_w	-	Koeficijent otpora zraka
$c_{kotrljanja}$	-	Koeficijent otpora kotrljanja
c_{rad}	-	Koeficijnet otpora krivulje
E_{vozilo}	J	Ukuona energija vozila
$E_{kin.}$	J	Kinetička energija vozila
E_{pot}	J	Potencijalna energija vozila
$E_{rot,int}$	J	Energija rotacijskih komponenti
$E_{baterija}$	J	Energija baterijskog sklopa
$\Delta E_{dobiveno}$	J	Dobivena energija
$\Delta E_{gubitak}$	J	Izgubljena energija
ΔE_{zrak}	J	Gubitak energije radi otpora zraka
$\Delta E_{kotrljanje}$	J	Gubitak energije radi otpora valjanja
ΔE_{otpor}	J	Gubitak energije radi krivulje otpora
$\Delta E_{konst.}$	J	Gubitak energije radi potrošača
Δt	s	Vremenski tijek
F_{rad}	N	Centripetalna sila
g	m/s^2	Gravitacijska sila
h	m	Visina
I	A	Jakost električne struje
J_{int}	kgm^2	Moment inercije
l	m	Duljina
m	kg	Masa
P	W	Snaga
$P_{punionice}$	W	Nazivna snaga punionice
s	m	Prijeđena udaljenost

v	m/s	Brzina
v_{max}	m/s	Maksimalna brzina
U	V	Električni napon
ρ_{zrak}	kh/m^3	Gustoća zraka
$\eta_{punionice}$	-	Faktor efikasnosti punionice
$\eta_{propulzije}$	-	Faktor konstantne učinkovitosti za propulziju
$\eta_{rekuperacije}$	-	Faktor konstantne učinkovitosti za rekuperaciju

SAŽETAK

Rad napredno energetsko planiranje sektora transporta na otoku Krku bavi se analizom moguće implementacije električne energije u promet otoka Krka. Kao podloga je korišten javno dostupan računalni program SUMO u koji je ubačena prometna mreža otoka Krka. Radi što realnijeg prikaza sektora prometa otoka utvrđena su kretanja vozila stanovnika i posjetioca. Prikupljeni su podaci o vozilima koji analiziraju, razvrstavaju vozila po kategorijama i tipu goriva. Zahvaljujući Hrvatskom telekomu dobiveni su podaci o kretanju stanovništva po baznim stanicama. Pomoću navedenih baznih stanica izrađene su matrice kretanja stanovnika i posjetioca, odnsono vozila, za prosječan dan. Aplikacijom SUMO je za postojeće stanje prometa otoka Krka izvršena simulacija. Nadalje je u simulacijama postojećeg stanja prometa otoka Krka, umjesto prevladavajućih vozila s unutarnjim izgaranjem, simulirana implementacija električnih vozila raznih kategorija i udjela. Kao rezultat simulacije korištenja električnih vozila u prometu dobivena je potrošnja električne energije električnih vozila, te parametri i snaga električnih punionica nužnih za pokrivanje navedenih potreba. Zaključno, izračunate su i prikazane konkretne uštede emisije štetnih stakleničkih plinova kojima je moguće pridonijeti ostvarenju cilja, da otok Krk postane CO_2 neutralan.

Ključne riječi: električna vozila, SUMO – „Simulation of Urban Mobility“, otok Krk, O/D matrica kretanja stanovništva, emisije štetnih plinova i čestica

SUMMARY

In this thesis, advanced energy planning of the transport sector on the Krk island, is concerned with the possbility of implementation of electricity into the transport of the island Krk. A computer simulation tool called SUMO was used as a substrate in which a traffic network of the island Krk was inserted. In order to have a more realistic view of the transport sector of the island, the movement of residents and visitors was established. Data were collected on vehicles that are analyzed and the vehicles were classified by category and type of fuel. Thanks to the Croatian Telecom, data on the movement of the population by base stations was obtained. With the help of the mentioned base stations, the matrices of the movement for an anverage day for the inhabitants and the visitors were made. By applying SUMO,a simulation was carried out for the present state of transport of the island of Krk. In simulations of the current state of traffic of the island of Krk, instead of the prevailing internal combustion vehicles, simulated implementation of electric vehicles of various categories and proportions was further simulated. As a result of the simulation of the use of electric vehicles in traffic, electricity consumption of electric vehicles was obtained, as well as the parameters and power of charging stations necessary to cover the above mentioned needs. Concretely, specific greenhouse gas emission savings are calculated and presented, which can contribute to the achievement of the goal, so that the island of Krk becomes CO_2 neutral.

Key words: electric vehicles, SUMO – „Simulation of Urban Mobility“, island of Krk, O/D matrix of population movement, air pollution and particles

1. UVOD

Otok Krk ima cilj postati prvi energetski neovisni i CO_2 neutralni otok na Mediteranu. Kako bi stanovnici otoka Krka bili predvodnici u toj namjeri i postigli navedene ciljeve potrebno je implementirati brojna inventivna i inovativna rješenja, te projekte okrenute ekologiji. Krčani već dulji niz godina provode takve projekte, pa su time debelo ispred hrvatskog prosjeka. Primjeri uspješno provedenih projekata otoka su odvojeno prikupljanje otpada, korištenje obnovljivih izvora energije i programi vezani uz energetsku učinkovitost. Projekti novijeg datuma, odnsno projekti zadnjih godina aktualiziraju smanjenje emisija štetnih plinova u atmosferu. Kako Krk nema većih industrijskih onečišćivača zraka, sustavno se smanjenje emisije štetnih plinova u atmosferi odnosi na smanjenje emisije štetnih plinova iz motornih vozila. Jedan od projekata iz 2016. godine je instalacija 11 punionica za električne automobile. Vrijednost navedene investicije iznosila je oko miljun kuna, a uspješnost projekta može se mjeriti i kroz koordinirano ulaganje svih sedam krčkih samouprava. Nadalje se na otoku Krku gradi mreža postaja za punjenje i iznajmljivanje elektrobicikala koja će pokrivati sva naseljena mjesta, odnosno sve samoupravne interesne zajednice otoka. Svih sedam krčkih samouprava je također usvojilo prije nekoliko godina strategiju nulte emisije CO_2. Jedan od ciljeva projekta je elektromobilonost, dok se drugi aspketi usmjeravaju da se do 2030. godine Krk učini u potpunosti energetski neovisnim i održivim otokom na kojem više uopće neće biti emisija stakleničkih plinova.

Ovaj rad se fokusira na energetskom planiranju sektora prometa jer je prometni sektor u posljednjih nekoliko desetljeća najbrže rastući sektor, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. Trenutni trendovi pokazuju kako se broj vozila zadnjih 50 godina povećao gotovo deset puta, te na svjetskoj razini iznosi gotovo 600 miljuna vozila, a ima i dalje intenciju rasta. Udio električnih vozila u cijeloj floti je trenutno zanemariv, odnosno vozila s motorima s unutrašnjim izgaranjem dominiraju. Glavni nedostatak takvih vozila su emisije stakleničkih plinova uslijed izgaranja derivata fosilnih goriva, odnosno relativno mala učinkovitost u usporedbi sa suvremenim tehnologijama. Prometni sekor u Hrvatskoj sudjeluje s 30% u strukturi potrošnje finalne energije, a emisije u cestovnom prometu iznose približno 3 miljuna tona CO_2 godišnje. Svjetska automobilska industrija već duži niz godina sustavno preusmjerava razvoj konvencionalnih pogonskih sustava vozila prema novima, koji će u pravilu biti pogonjeni alternativnim gorivima, poput bio-goriva, prirodnog plina, vodika i

električne energije. Radi navedenih prednosti se izrađuju strategije i akcijski planovi, koji za cilj imaju povećati udio lokalno prisutnih obnovljivih izvora energije u zadovoljavanju potražnje za energijom, te udio električnih vozila u sektoru transporta na otoku. Kako se ne bi ugrozila sigurnost dobave energije, dostatnost i stabilnost elektroenergetskog sustava integracija obnovljivih izvora energije i električnih vozila mora biti pomno planirana dostupnim matematičkim modelima i računalnim programima. U ovome radu se pomoću javno dostupnog računalnog alata SUMO – „Simulation of Urban Mobility“ simulira promet otoka s udjelom elektrifikacije cestovnog prometa.

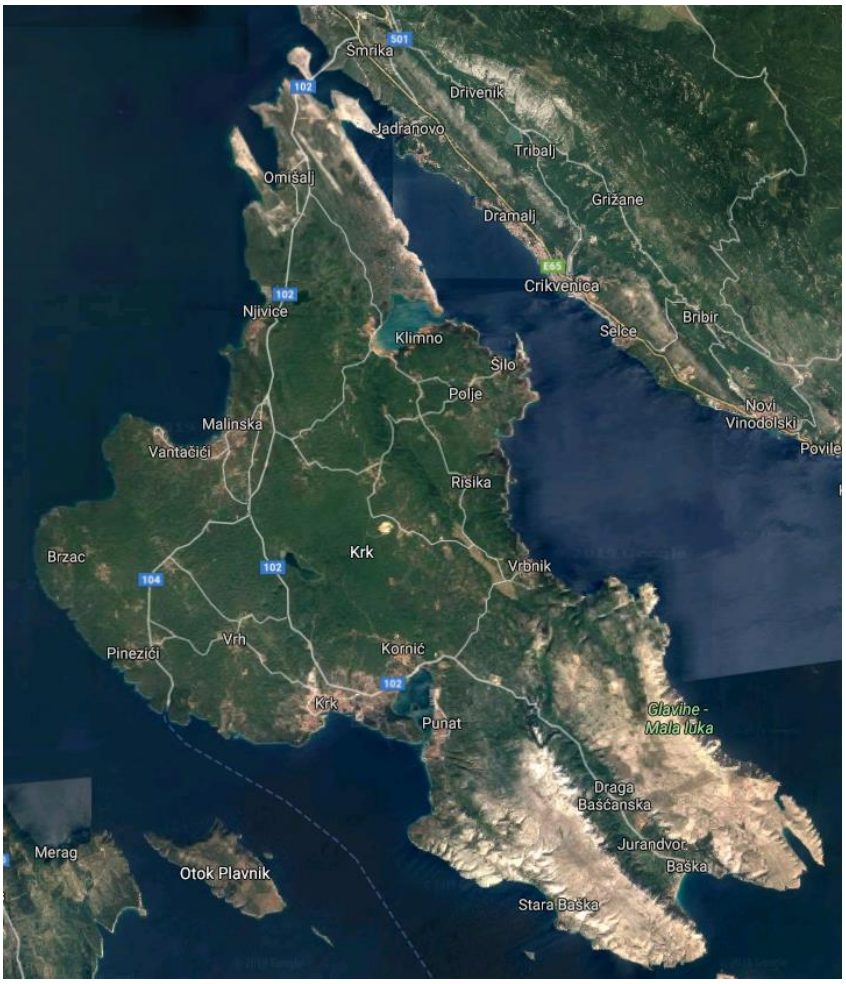
Radnje koje obuhvaća ovaj rad su redom dane: Unesene su sve prometnice otoka u program „SUMO“, te su razvrstane i usklađene s postojećim stanjem uz pomoć javno dostupnih informacija. Zatim su prikupljeni podaci o vozilima kao i potrebe za transportom, te su navedeni podaci razvrstani i analizirani. S navedenim ulaznim podacima se prikazuje simulacija transporta na otoku, uz odrabir prikladnih električnih vozila u svakom segmentu cestovnog transporta (osobna vozila, javni prijevoz, logistička i teretna vozila). Nadalje se odredio broj i snaga punionica za električna vozila, te je napravljena simulacija njihovog korištenje za različite vozne cikluse i tipove električnih vozila. U radu su za odabrane vremeneske periode i karakteristične dane izrađene krivulje potražnje za električnom energijom uslijed punjenja električnih vozila. Za proračunati broj punionica i električnih vozila prikazala se ukupna godišnja potrošnja električne energije u sektoru transporta, te smanjenje emisija štetnih plinova i čestica s obzirom na postojeće stanje. Navedenim mjerama će se pokušati dati odogovor o potrebama infrastrukture za realizaciju projekta implementacije električnih vozila na otoku, odnosno smanjenje vozila s motorima s unutrašnjim izgaranjem.

2. OTOK KRK

Otok Krk geografski pripada Kvarnerskoj skupini otoka smještenoj u sjevernom Jadranu između poluotoka Istre na zapadu te Hrvatskog Primorja na istoku. Okružen je Vinodolskim kanalom s istočne, te Riječkim zaljevom sa sjeverozapadne i Kvarnerićem s jugozapadne strane. Ujedno je i naš najveći hrvatski otok s površinom od 406 km^2.[1] Uz to je još otok s najviše naseljenih mjesta. Ima ih ukupno 68. Upravno gledano se otok dijeli na 7 lokalnih samouprava, a to su Grad Krk i općine: Omišalj, Malinska-Dubašnica, Dobrinj , Vrbnik, Punat i Baška. Među svim mjestima na otoku, Grad Krk se ističe kao administrativno, političko, gospodarsko i vjersko središte otoka. Prema popisu stanovnika iz 2011. godine otok Krk ima 19 383 stanovnika. U odnosu na 2001. godinu (17 860 stanovnika) to je porast od 9%. Broj stanovnika kao i broj radno sposobnih osoba (15 – 64 životne godine) po općinama prikazuje sljedeća tablica 1. Udio radno sposobnih osoba Krka iznosi 67% što odgovara i nacionalnom prosjeku u strukturi stanovništva Republike Hrvatske. [2]

Tablica 1. Raspodjela broja stanovnika i radno sposobnih otoka Krka

Raspodjela broja stanovnika i radno sposobnih osoba po općinama		
Mjesto	**Broj stanovnika**	**Broj radno sposobnih osoba**
Omišalj	2983	2314
Dobrinj	2078	1350
Malinska - Dubašnica	3134	2008
Grad Krk	6281	4237
Vrbnik	1260	776
Punat	1973	1309
Baška	1674	1056
Ukupno – otok Krk	**19383**	**13050**



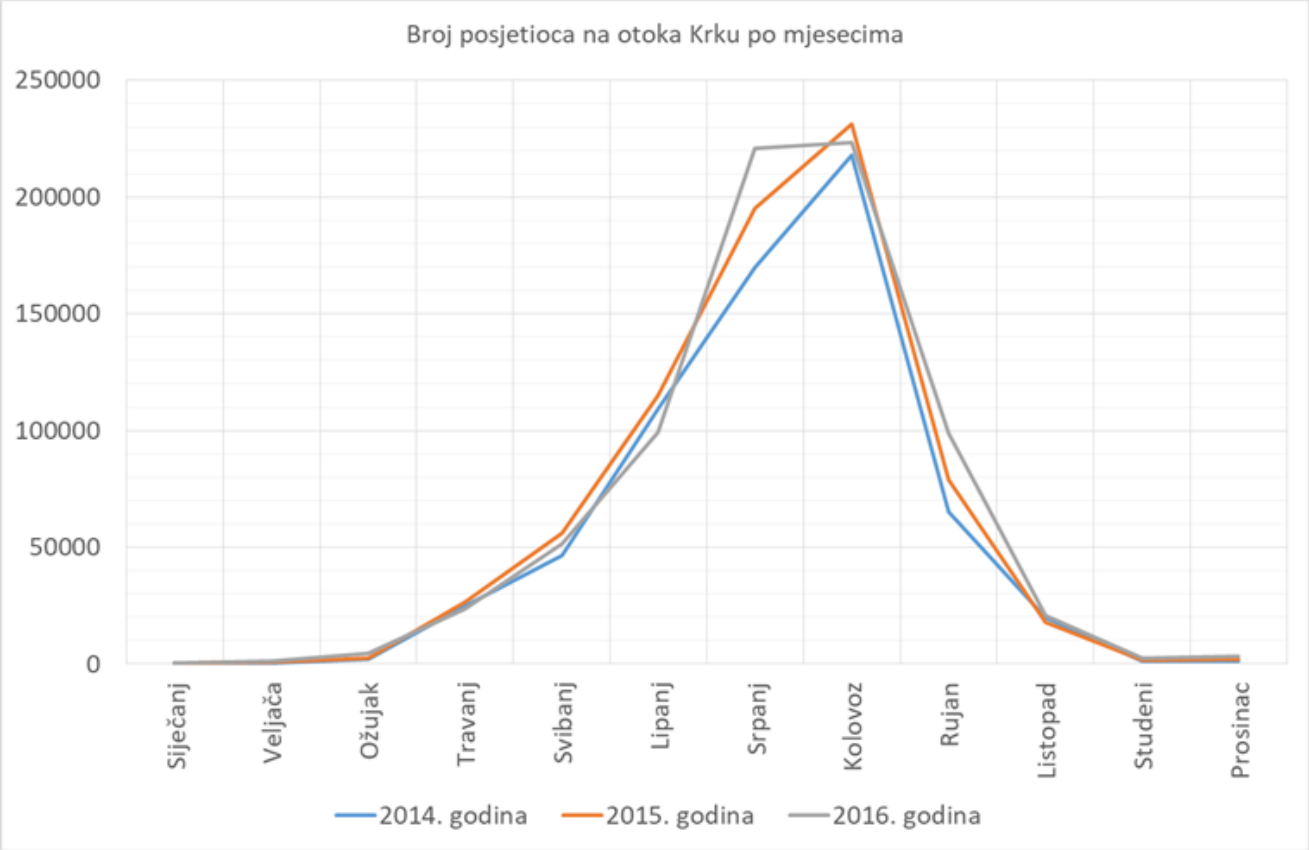
Slika 1. Geografski prikaz otoka Krka [3]

Slika 1 prikazuje sliku otoka Krka sa svim svojim naseljima, te njihovu geografsku raspodijelu kao i prometnice koje ih povezuje.

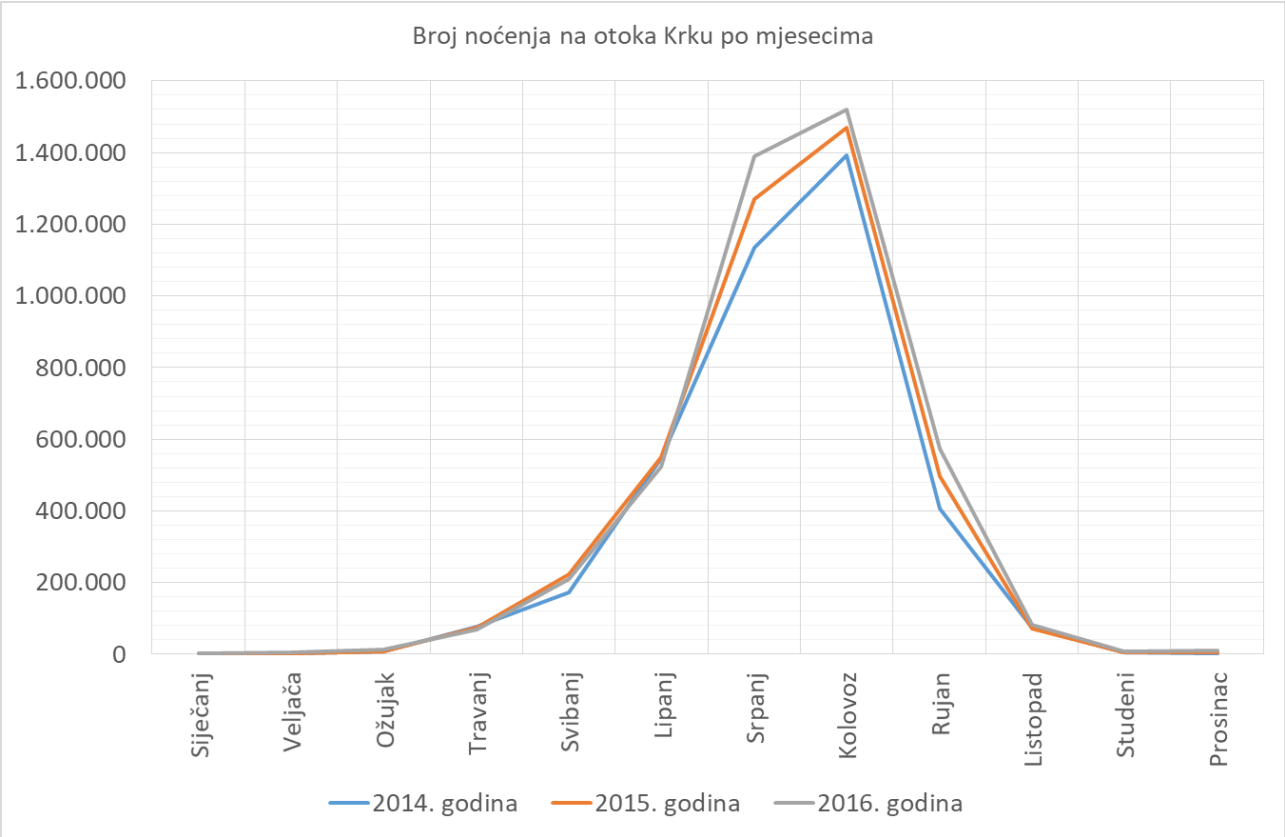
2.1. Turizam otoka Krka

Gospodarski gledano otok Krk već desetljećima kontinuirano razvija turizam koji je tradicionalno glavni izvor prihoda. Početci turizma sežu u 19 stoljeće. U današnje doba je otok poznat zbog svoga geografskog položaja, ugodnih prirodnih uvjeta kao što su blaga klima, čisto more, mnogo sunčanih sati, raznolikost flore i faune te gostoljubivost stanovnika. Budući da je turizam otoka primarno orijentiran na ljetne mjesece, postoje velike oscijalilacije u broju posjetitelja. Za vrijeme ljetnih

mjeseci se stanovništvo poveća i do 6 puta u odnosu na broj osoba koje žive na otoku. Tim oscilacijama dolazi do povećanog opterećenja infrastrukture, što se odnosi na prilazne ceste otoku, tj. mjestima, kao i na opterećenje sustava opskrbe vodom, odvodnje otpadnih voda i komunalnog otpada. Podaci turističke zajednice otoka Krka bilježe da ga je u 2016. godini posjetilo 749 947 posjetioca koji su ostvarili 4 408 098 noćenja. Navedena noćenja su registrirana preko informacijskog sustava e-visitor. [4] Struktura dolazaka i noćenja nije ravnomjerno raspodijeljenja kroz godinu, već prati opterećenje otoka u turističkoj sezoni. Sljedeći grafovi daju prikaz oscilacije broja posjetioca i broja noćenja tijekom cijele kalendarske godine.



Slika 2. Broj posjetioca otoka Krka po mjesecima [5]



Slika 3. Broj noćenja otoka Krka po mjesecima [5]

Slika 2 prikazuje mjesečnu raspodijelu strukture dolazaka tijekom cijele godine. Slika 3 prikazuje broj noćenja u istom vremenskom razdoblju s jednakom vremenskom raspodjelom. Na oba dijagrama y os prikazuje broj osoba. Statistički gledano u 2016. godini na jednog posjetioca dolazi 5,8 noćenja, što odgovara prosječnoj duljini boravka posjetioca. Na oba dijagrama se može uočiti kako je vršno opterećenje otoka tijekom ljetnih mjeseci, odnosno posebno je izraženo tijekom mjeseca srpnja i kolovoza kako je i ranije spomenuto. Sljedeća tablica 2 prikazuje broj kreveta, dolazaka i noćenja po općinama.

Tablica 2. Turistički podaci otoka Krka za 2017. godinu [6]

Broj kreveta, dolasci i noćenja po općinama otoka u 2017. godini.			
Općina	**Broj kreveta**	**Dolasci**	**Noćenja**
Omišalj	7109	129960	717143
Dobrinj	5468	55086	376759
Malinska	8025	111221	664414
Grad Krk	13775	215620	1274168
Vrbnik	1266	17077	102546
Punat	8523	97643	567352
Baška	10305	171632	993528
Ukupno – otok Krk	**54471**	**798239**	**4695910**

2.2. Gospodarstvo i javne ustanove otoka Krka

Uz turizam koji je primarna grana prihoda, stanovnici se bave još uzgojem vinove loze i maslina, uzgojem ovaca, te ribarstvom. Na području općine Omišalj smještena je i međunardna zračna luka Rijeka kao i naftni terminali (JANAF) koji su dio luke Rijeka, te petrokemijska industrija (DINA petrokemija) koja je u stečaju. Od velikih poduzeća tu se nalazi građevinsko poduzeće GP Krk. Uz navedena poduzeća na otoku djeluju još i poduzeća srednje, male i mikro veličine. Kako bi se prikazala gospodarska raspodjela po naseljima dana je tablica 3 s popisom registriranih poduzeća. U navedenoj tablici su uzeti u obzir subjekti koji su minimalno registrirani kao mali subjekti, odnosno poslodavci od 10 zaposlenih na više i čiji godišnji promet i/ili ukupna godišnja bilanca prelazi 2 milijuna eura. Mikro subjekti su radi jednostavnosti popisa zanemareni.

Tablica 3. Aktivna poduzeća otoka Krka [7]

Popis aktivnih poduzeća otoka Krka			
Naziv poduzeća	**Veličina poduzeća**	**Lokacija poduzeća**	**Općina**
G. P. P. MIKIĆ d. o. o.	Srednje	Omišalj	Omišalj
HOTELI NJIVICE d. o. o.	Srednje	Njivice	Omišalj
HOTELI OMIŠALJ d. d. u stečaju	Srednje	Omišalj	Omišalj
ZRAČNA LUKA RIJEKA d. o. o.	Srednje	Zračna luka Rijeka	Omišalj
DINOCOP d. o. o.	Malo	Omišalj	Omišalj
PESJA - NAUTIKA d. o. o.	Malo	Omišalj	Omišalj
TIHA d. o. o.	Malo	Šilo	Dobrinj
TRGOVINA KRK d. d.	Veliko	Malinska	Malinska
KVARNER PUNAT TRGOVINE d. o. o.	Srednje	Malinska	Malinska
TRUMM d. o. o.	Malo	Malinska	Malinska
BYDER PROJEKTIRANJE d.o.o.	Malo	Malinska	Malinska
HOTELI HALUDOVO MALINSKA d.d.	Malo	Haludovo	Malinska
MARGARET, d. o. o.	Malo	Malinska	Malinska
Dubašnica d. o. o.	Malo	Malinska	Malinska
OLIVARI d. o. o.	Malo	Malinska	Malinska
GP Krk	Veliko	Krk	Krk
PONIKVE EKO OTOK KRK d. o. o.	Srednje	Krk	Krk
PONIKVE VODA d. o. o.	Srednje	Krk	Krk
HOTELI KRK d. o. o.	Srednje	Krk	Krk

Popis aktivnih poduzeća otoka Krka			
ŽDRILO d. o .o	Malo	Krk	Krk
VECLA d. o. o.	Malo	Krk	Krk
KRČKI DVORI d. o. o.	Malo	Krk	Krk
PINEL KRK d. o. o.	Malo	Krk	Krk
ASTERIKS d. o. o.	Malo	Krk	Krk
CORTINA d. o. o.	Malo	Krk	Krk
DARIO d. o. o.	Malo	Krk	Krk
NOLIOT d. o. o.	Malo	Nenadići	Krk
MILOHNIĆ d. o. o.	Malo	Nenadići	Krk
PONIKVE USLUGA d. o. o.	Malo	Krk	Krk
KAVAZOVIĆ - LIMAR, d. o. o.	Malo	Krk	Krk
ELEKTRON d. o. o.	Malo	Krk	Krk
KRK MOTO d. o. o.	Malo	Krk	Krk
MARIZO d. o. o.	Malo	Krk	Krk
ŠOTO VENTO d. o. o.	Malo	Nenadići	Krk
GRAĐEVINARSTVO I PROIZVODNJA KRK TRGOVINA d. o. o.	Malo	Krk	Krk
KANASTA d. o. o.	Malo	Krk	Krk
PEKARA VRBNIK d. o. o.	Malo	Vrbnik	Vrbnik
ESTATE WINERY d. o. o.	Malo	Vrbnik	Vrbnik
MARINA PUNAT d. o. o.	Srednja	Punat - marina	Punat
HOTELI PUNAT d. d.	Srednja	Punat	Punat

Popis aktivnih poduzeća otoka Krka			
BRODOGRADILIŠTE PUNAT, d. o. o.	Srednja	Punat	Punat
SEA HELP ADRIA d. o. o.	Malo	Punat	Punat
KD ČRNIKA, d. o. o.	Malo	Punat	Punat
BRODOREMONT PUNAT, d. o. o.	Malo	Punat	Punat
MARINA PUNAT HOTEL & RESORT d. o. o.	Malo	Punat - marina	Punat
ELEKTRO YACHT SERVIS d. o. o.	Malo	Punat	Punat
MARINA PUNAT GRUPA d. o. o.	Malo	Punat - marina	Punat
FORZA BAŠKA d. o. o.	Malo	Baška	Baška

Iz tablice 3 se vidi kako je grad Krk gospodarsko središte kao što je i ranije spomenuto. Ukupan broj registriranih subjekata na Krku iznosi 726. Raspodjela broja subjekata po općinama je sljedeća: Omišalj 104, Dobrinj 74, Malinska 138, Krk 247, Vrbnik 30, Punat 85 i Baška 48. Broj poduzeća prati veličinu naselja, kao i tablica 3 s najvećim subjektima.

Kako broj poduzeća prati veličinu naselja tako i javne ustanove proporcionalno prate naselja. Škole se nalaze u gradu Krku, Omišlju, Dobrinju, Malinskoj, Baški, Vrhu, Vrbniku i Puntu. Najveća škola se nalazi u gradu Krku i broji preko 300 učenika. Od zdravstevnih ustanova se na otoku nalaze ambulante dok je najbliža bolnica u Rijeci. Ambulante se nalaze redom u Njivicama, Malinskoj, Dobrinju, gradu Krku, Puntu i Baškoj.

2.3. Prometnice otoka Krka

Promet otoka se sastoji od cestovnog, zračnog i pomorskog. Zračni promet se odvija preko zračne luke Rijeka koja se nalazi na samom sjeveru otoka u samoj blizini Krčkoga mosta. Krk je jedan od nekolicine hrvatskih otoka koji je s kopnom spojen mostom. Uz cestovni i zračni promet se pomorski promet odvija u luci Omišalj, te trajektnoj luci Valbiska. Ostatak pomorskog prometa odnosi se primarno na privatne brodice. Okosnica cestovne prometne infrastrukture i glavna prometnica otoka je tzv. Krčka magistrala, odnsono državna cesta D102. Sjeverni kraj prometnice

počinje u blizini Kraljevice na raskrižju s D8, Jadranskom magistralom. Prometnica prolazi Krčkim mostom, Omišljom, Malinskom te preko grada Krka proteže se sve do južnog dijela otoka, odnosno Baške. Na krčku magistralu se jož vežu državne ceste 103 i 104. Cesta D103 je zapravo 1,7 km dugi odvojak državne ceste D102 koji vodi do zračne luke Rijeka, dok je D104 odvojak dugačak 10 km koji vodi do trajektne luke Valbiske. [8]



Slika 4. Prometnice otoka Krka [9]

Krčki most izgrađen je na području između uvala Črišnjevo i Skot, gledano s kopnene strane, te na otoku Sveti Marko na otoku Krku. Krčki most je uvelike olakšao prometnu povezanost otoka s kopnom i učinio ga predgrađem grada Rijeke. Most je izgrađen, odnsono otvoren za promet 1980. godine, duljina mosta iznosti 1430 metara. Most je u vrijeme izgradnje s izvedenim betonskim lukom bio najveći takav most na svijetu. Mostarina se plaća s kopnene strane prema Krku. Mostarina je trebala biti ukinuta kada se troškovi izgradnje otplate. U međuvremenu je most otplaćen no mostarina nije ukinuta. Zahvaljujući njoj se dobiva točan broj prolazaka vozila s kopna na otok, te kategorije vozila koja prolaze mostom kroz cijelu godinu.

Trajektna luka Valbiska na zapadnoj strani otoka održava vezu s otocima Cres i Rab. Trajektne linije Valbiska-Merag i Valbiska-Lopar ostvaruju veliku količinu prometa. Valbiska je najveća i najvažnija trajektna luka na sjevernom Jadranu s prometom od oko 1,04 milijuna putnika. Po broju vozila je također najprometnija luka sjevernog Jadrana i zajedno broje u 2017. godini promet od 492 426 vozila. [10] Pomorski prijevoz putnika vrši tvrtka Jadrolinija koja izdaje i statističke podatke prometa za svaku godinu. Sljedeća tablica 4 prikazuje popis najvažnijih cesta i njihove duljine.

Tablica 4. Najvažnije prometnice otoka Krka [11]

Popis najvažniji prometnica otoka Krka		
Oznaka ceste	**Opis ceste**	**Duljina [km]**
D102	D8 – Krk – Baška	45,3
D103	D102 – zračna luka Rijeka	1,7
D104	D102- Valbiska (trajektna luka)	10,1
Ž5083	Omišalj – D102	1,4
Ž5084	D102 - Njivice - Kijac – D102	2,5
Ž5085	T. N. Haludovo – Malinska (Ž5086)	1,6
Ž5086	Porat – Malinska – Sv. Vid Miholjice – D102	6,1
Ž5087	Sv. Vid Miholjice (Ž5086) – Sv. Vid Dobrinjski – Šilo	14,5

Popis najvažniji prometnica otoka Krka		
Ž5106	Vrh (L58090) – Krk (Ž5131)	4,2
Ž5107	Kras (Ž5087) – D102	8,2
Ž5108	Ž5107 – Garica – Vrbnik	8,2
Ž5125	D102 – Punat – Stara Baška	12,1
Ž5131	D102 – Krk – D102	3,5
Ž5183	Vrbnik (Ž5108) – Kuka (D102)	4

U tablici 4 su navedene sve državne i županijske ceste koje su različitm bojama prikazane na slici 4. Crvenom bojom su prikazane državne ceste, tamno zelenom županijske, dok su lokalne ceste prikazane svijetlo zelenom bojom. U svrhu ovoga rada za simulaciju prometa se navedene ceste razvrstavaju u mrežu prometnica u računalnom programu SUMO.

3. BROJANJE PROMETA

Brojanjem prometa se na izabranim poprečnim presjecima cesta utvrđuje broj i vrsta vozila u određenom vremenskom razdoblju. Obrada brojčanih podataka, kao dva osnovna i najčešće korištena pokazatelja veličine prometa, daju prosječan godišnji dnevni promet (PGDP) i prosječan ljetni dnevni promet (PLDP). Prosječan godišnji dnevni promet (PGDP) se odnosi na period od mjeseca rujna pa do mjeseca lipnja, uključujući te mjesece. Za prosječan ljetni dnevni promet (PLDP) se uzimaju mjeseci srpanj i kolovoz. Hrvatske ceste vrše brojenje prometa na prometnicama pomoću brojača koji povremeno automatski broje promet, naprekidno automatski broje promet ili se brojenje prometa vrši naplatno. Brojači prometa se u metodologiji hrvatskih cesta označavaju određenim brojem, te ih je nekolicina postavljena na otoku Krku. Sljedeća slika 5 prikazuje lokaciju mjerača prometa na Krku. [10]



Slika 5.Lokacije brojača prometa na otoku Krku

Na slici 5 je ljubičastom bojom prikazano naplatno brojenje prometa, dok je crnom brojom neprekidno automatsko brojenje. Brojač na slici 5 prikazan zelenom bojom se odnosi na povremeno

automatsko brojenje Sveti vid koje se provodilo 2016. godine. Točni odsječci lokacija brojača prometa su dani u tablici 5.

Tablica 5. Lokacije i oznake brojačkih mjesta prometa [10]

Lokacije i oznake brojačkih mjesta prometa				
Oznaka	**Ime**	**Početak**	**Kraj**	**Duljina (km)**
2919	NP Krčki most	Ž5189	D103	3,8
2922	Omišalj	Ž5083	L58065	2,3
2924	Sveti Vid	Ž5084	Ž5086	3,1
2934	Krk	Ž5131	Ž5131	2,3
2944	Punat	D102	Stara Baška	12,1

Sljedeća tablica 6 prikazuje PGDP i PLDP navedenih mjernih odjsečaka iz publikacije Hrvatskih cesta za 2017. godinu. Brojevi prolazaka brojnih mjesta se odnose na oba smjera.

Tablica 6. PDGP i PDLP brojačkih mjesta otoka

PGDP i PLDP brojačkih mjesta otoka za 2017. godinu			
Oznaka	**Ime**	**PGDP**	**PLDP**
2919	NP Krčki most	11714	22218
2922	Omišalj	10644	20316
2924	Sveti Vid	9987	20111
2934	Krk	5178	10773
2944	Punat	4541	9704

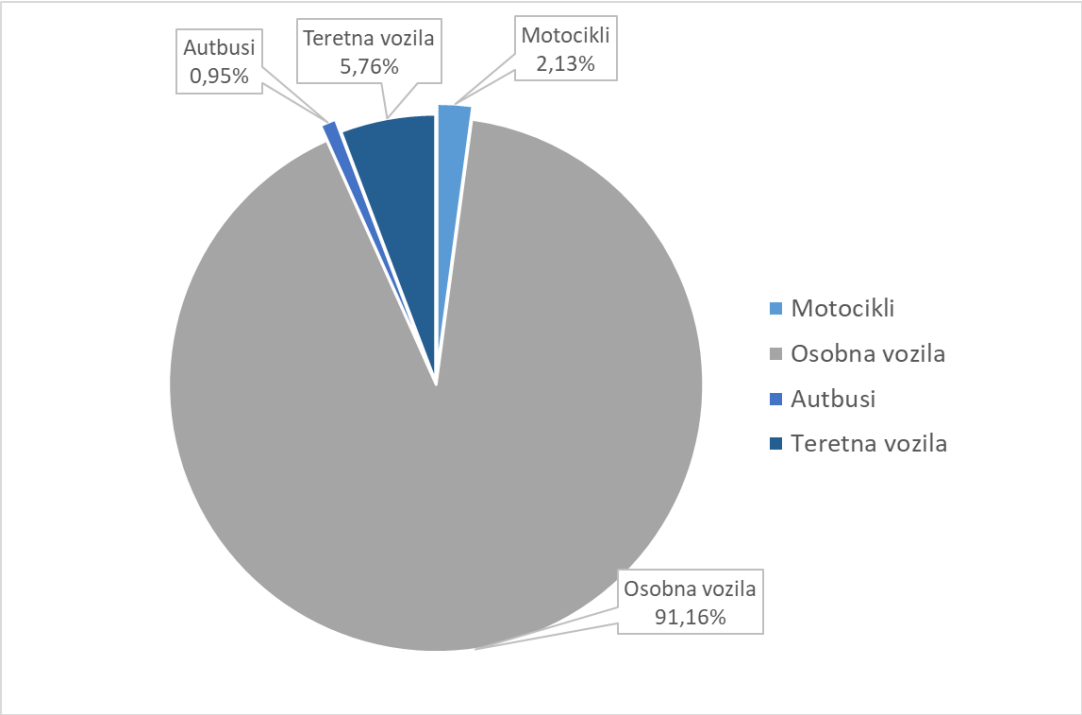
3.1. Kategorije vozila

Kategorija vozila koja prolaze mjernim točakama po brojilima koje koriste Hrvatske ceste je dana u sljedećoj tablici 7.

Tablica 7. Kategorije vozila brojača

Kategorije vozila brojača	
Skupina	**Opis vozila u skupini**
A1	Motocikli
A2	Osobna vozila sa ili bez prikolice
A3	Kombi-vozila sa ili bez prikolice
B1	Manja teretna vozila
B2	Srednja teretna vozila
B3	Teška teretna vozila
B4	Teška teretna vozila s prokolicom
B5	Tegljači
C1	Autobusi

Radi jednostavnosti simulacije rada je podjela kategorija vozila sužena, odnosno kategorije vozila se dijele na četiri skupine. U ovom radu se dijele kategorije na motocikle, osobna vozila, teretna vozila i autobuse. S navedenom podjelom se dolazi do sljedeće postotne raspodjele vozila koja su očitana pomoću brojača prometa. [10]



Slika 6.Podjela kategorija vozila

Do navedene podjele kategorija na slici 6 došlo se uprosječivanjem svih brojnih mjesta, te su sumirane kategorije prometa dobivene na sljedeći način:

$$Motocikli = A1 \quad \textbf{(1)}$$

$$Osobna\ vozila = A2 + A3 \quad \textbf{(2)}$$

$$Teretna\ vozila = B1 + B2 + B3 + B4 + B5 \quad \textbf{(3)}$$

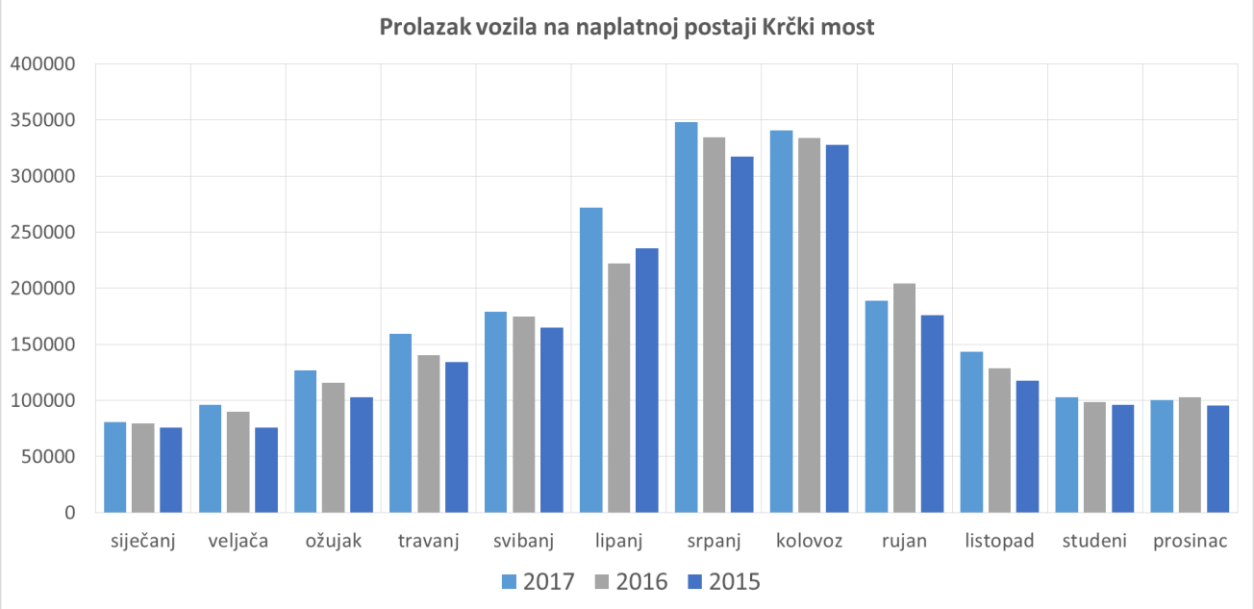
$$Autobusi = C1 \quad \textbf{(4)}$$

3.2. Most i trajektna luka

Krčki most i trajektna luka Valbiska, odnsono Jadrolinija koriste drugačiju kategorizaciju vozila koja će se radi simplifikacije rada zanemariti. Nju se može zanemariti jer je struktura kategorija vozila otoka jednaka, te se vrste vozila mogu smatrati dovoljno točnim, koristeći brojače prometa. Koriste se samo podaci ukupnog prometa i raspodjela mjesečnog odnosno dnevnog prometa, dok se kategorije vozila u daljnjem tijeku rada raspodjeluju kako je navedeno na slici 6.

3.2.1. Krčki most

Promet mostom, odnososno mostarina se naplaćuje u sklopu koncesije državne tvrtke, „Autocesta Rijeka-Zagreb d.d.“ u smjeru otoka. Naplata Krčki most uz naplatu skupina vozila (IA, I, II, III; IV) sadrži i skupinu vozila koja je označena kao IX naplatna skupina, koja je oslobođena naplate korištenja cestovnih građevina i vozila za koja se prolazak posebno naplaćuje. Količina vozila iz IX kategorije koja prolazi mjesečno mostom, je pretežito ista i iznosi izmedu 50 000 – 60 000 vozila mjesečno. Ukupni godišnji promet mosta 2017. godine iznosio je 2 137 850 vozila. Sljedeća slika 7 prikazuje raspodjelu prometa Krčkog mosta kroz godinu.



Slika 7.Broj prolazaka vozila na naplatnoj postaji Krčki most [12] [13] [10]

Iz navedene slike 7 se vidi kako je najveći promet tijekom ljetnih mjeseci, a razlog tome je već ranije spomenuta neravnoteža gospodarstva otoka čija je primarna grana turizam. Prikazani mjesečni promet je u kolokvozu i do 4 puta veći nego što je na primjer u siječnju. Navedeno prometno opterećenje tijekom ljetnih mjeseci nije samo razlog popunjavanja turističkih kapaciteta otoka Krka, nego i turističkih kapaciteta otoka Cres, Lošinja i Raba.

3.2.2. Trajektna luka Valbiska

Većina prometa za otoke Cres i Lošinj i dobar dio za otok Rab se odvija preko luke Valbiske koja je smještena na zapadnoj strani otoka Krka. Navedeni promet koji prolazi Krkom, nema odredište na Krku, te se na njega može gledati kao tranzitni promet. Sljedeća tablica 8 prikazuje promet trajektnom lukom iz 2017. godine.

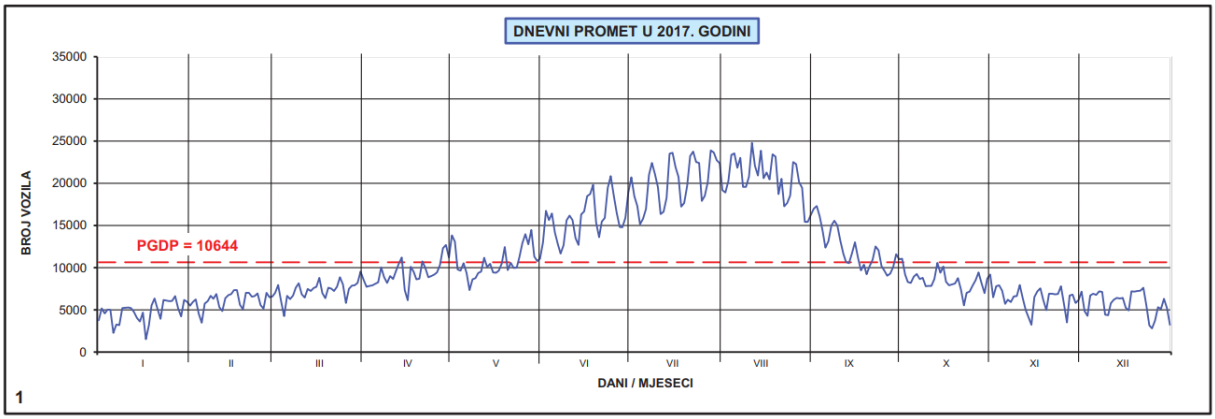
Tablica 8. Promet trajektne luke Valbiske za 2017. godinu

Promet trajektne luke Valbiska za 2017. godinu			
Trajektna linija	**PGDP**	**PLDP**	**Ukupni godišnji promet vozila**
Valbiska – Merag (Cres)	1228	2536	449319
Valbiska – Lopar (Rab)	118	380	43107

Opterećenje trajektne luke varira kao i opeterećenje mosta i prati ga proporcionalno.

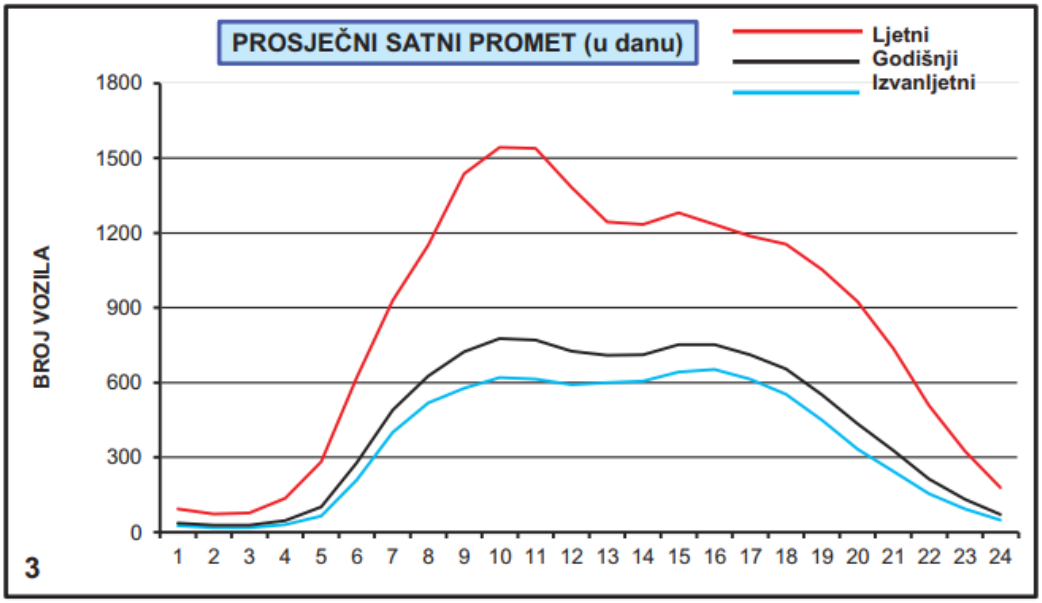
3.3. Opterećenje prometnica

Najveće opterećenje prometnica je u ljetnim mjesecima dok je najmanje opterećenje zimi. Izraziti problem cijeloga otoka su velike gužve i zastoji tijekom ljetnih mjeseci koji se u smjeru otoka ili od otoka mogu protezati i na 10tak kilometara. Razlog tome je postojanje samo jednog pravca, odnosno ceste s otoka i na otok. Alternativni pravci ne postoje ili su postojeće promentice vrlo uskih prometnih traka koje ne mogu podnijeti veliki promet. Satno i mjesečno opterećenje cesta se može prikazati iz publikacije Hrvatskih cesta iz 2017. godine. [10]



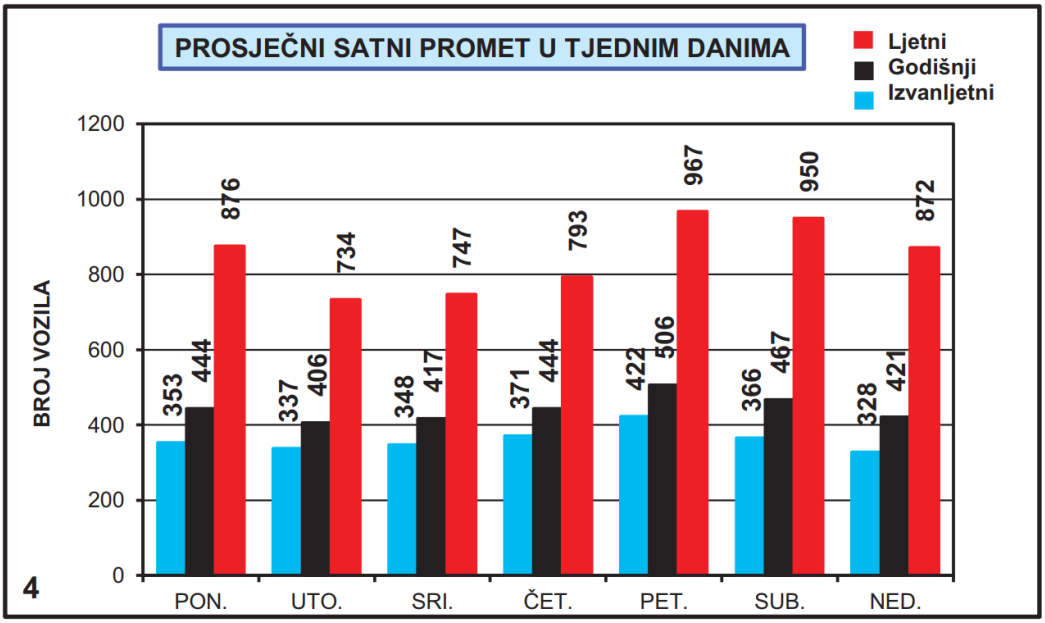
Slika 8.Dnevni promet brojnog mjesta Omišalj za 2017. godinu [10]

Slika 8 prikazuje dnevni promet u 2017. godini za brojno mjesto Omišalj na cesti D102. Iz slike se vidi već prije spomenuto da je promet u sprnju i kolovozu i do 4 puta veći nego u siječnju.



Slika 9.Satni promet brojnog mjesta Omišalj za 2017. godinu [10]

Slika 9 prikazuje proječni satni promet kroz dan za brojno mjesto Omišalj na cesti D102. Iz slike se vidi dnevna raspodjela opterećenja prometnica za ljetni, izvanljetni i godišnji promet. Navedena raspodjela dana će se koristiti za simulacije, smatrajući ju dovoljno točnom za sve prometnice otoka, budući da se brojni odsječak nalazi na jednom od najfrekventinijih dijelova krkče magistrale.



Slika 10. Prosječni satni promet u tjednim danima za Omišalj [10]

Slika 10 prikazuje prosječni satni promet u danima tjedna za mjernu točku Omišalj na cesti D102. Iz slike se može vidjeti kako je promet izraženiji vikendom i danima bliže vikendu nego tijekom radnog tjedna. Navedena opterećenja se koriste dalje u radu i radi simplifikacije se smatra kako sve prometnice imaju jednaku dnevnu, odnosno satnu opterećenost, jedino varira broj vozila ovisno o prometnici.

4. STRUKTURA I TRENDOVI VOZILA OTOKA KRKA

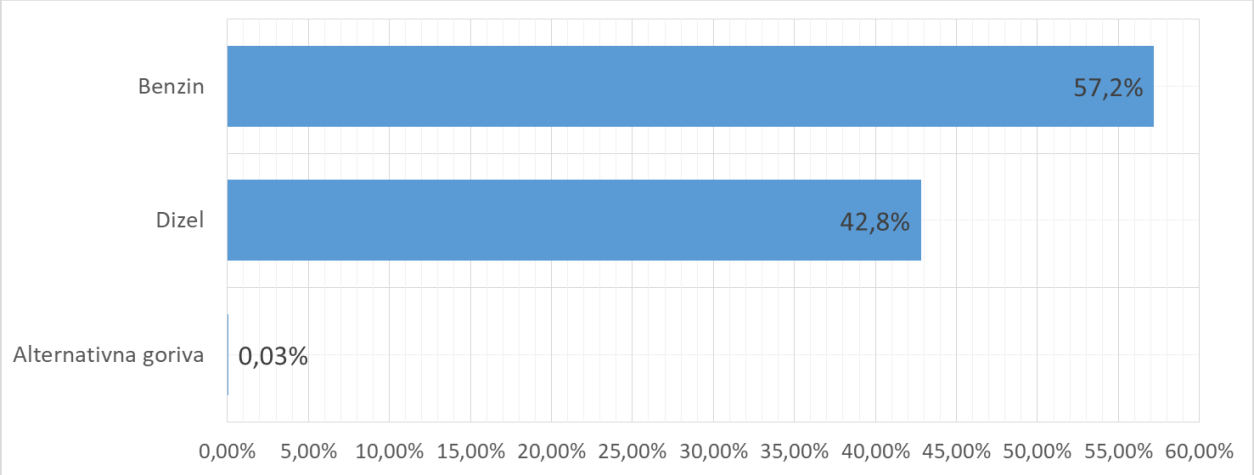
Struktura vozila koja prometuje i registrirana je na otoku Krku prikazana je u sljedećoj tablici 9. Treba svakako napomemuti kako to nisu jedina vozila koja prometuju otokom nego samo registirana vozila. Stanovnici Krka u pravilu registriraju svoja vozila na krčku adresu, u slučaju kad imaju drugu adresu stanovnja, radi oslobođenja ili povlaštenog plaćanja naknade za korištenje krčkoga mosta. [14]

Tablica 9. Broj ukupno registriranih vozila na otoku Krku [14]

Broj ukupno registriranih vozila na otoku Krku					
Kategorija	**2012.**	**2013.**	**2014.**	**2015.**	**2016.**
Moped	1.623	1.668	1.677	1.666	1.683
Motocikl	821	843	883	944	1.001
Osobni automobil	9.712	10.019	10.309	10.694	11.125
Autobus	29	29	9	12	12
Teretno i radno vozilo	1.129	1.179	1.274	1.282	1.384
Kombinirani automobil	10	12	10	12	10
Radni stroj	193	200	203	194	190
Traktor	256	263	281	284	298
Priključno vozilo	248	251	282	283	321
Laki četverocikl	31	27	29	29	26
Četverocikl	31	33	31	40	58
Ukupno	14.083	14.524	14.988	15.440	16.108

Tablica 9 prikazuje broj registriranih vozila na otoku po svim kategorijama u vremenskom periodu od 2012. do 2016. godine. U svim kategorijama se bilježi lagani porast broja vozila, osim u kategoriji autobusa i radnih strojeva. Smanjeni broj registriranih autobusa se može pripisati

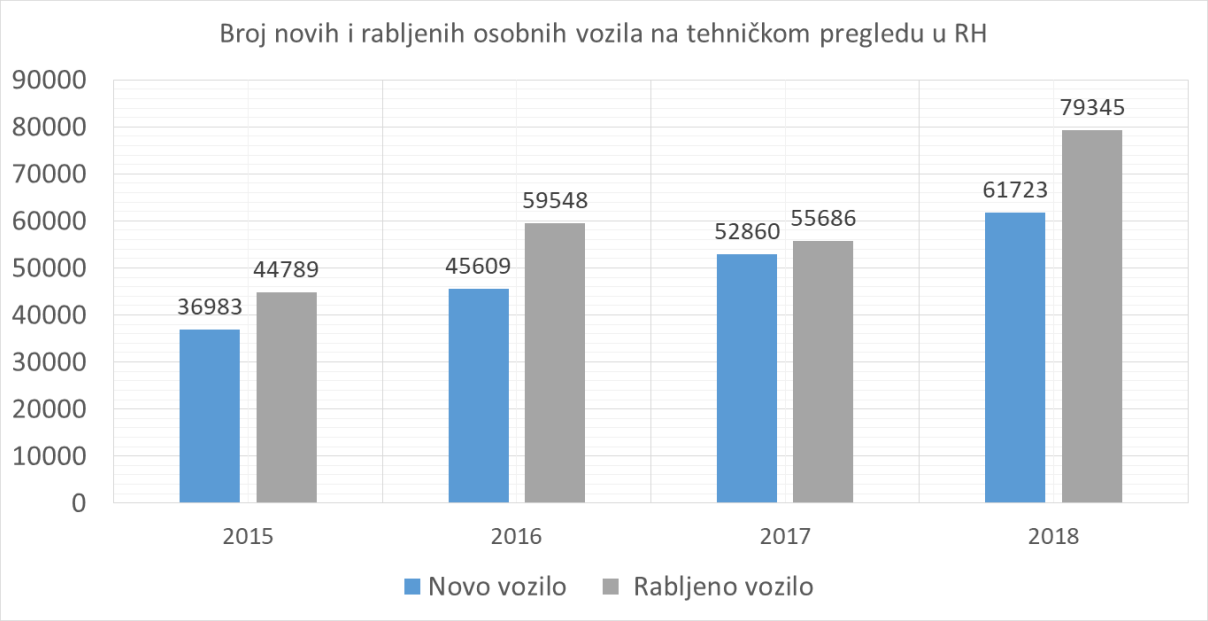
pretpostavci kako je tvrka koja je obavljala autobusni prijevoz u međuvremenu napustila otok, dok se radni strojevi vežu najčešće na poljoprivredu i obrtničko gospodarstvo koje se zadnjih godina odvija u jednakom volumenu. Nažalost za pisanje ovoga rada nisu bili raspoloživi podaci za 2017. i 2018. godinu, te će se njihov trend pretpostaviti kao blagi trend porasta. U 2019. godini se može prestpostaviti kako će se usporiti ili zaustaviti trend rasta broja vozila jer postoje indicije kako će se trend rasta gospodarstva zaustaviti što dovodi i do stagnacije rasta flote vozila.



Slika 11. Raspodjela pogonskih goriva vozila Hrvatske [15]

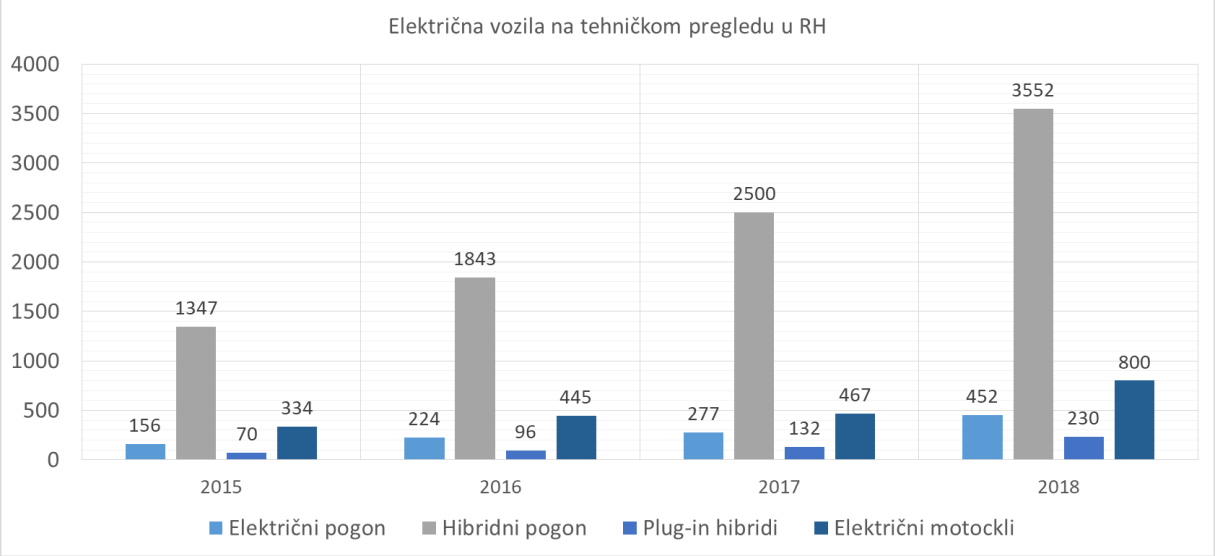
Slika 11 prikazuje raspodjelu pogonskih goriva osobnih vozila za Republiku Hrvatsku u 2015. godini po europskom udruženju proizvođača automobila. [15] Iz slike se vidi kako benzin prednjači kao pogonsko gorivo naspram dizela dok su alternativna goriva skoro zanemariva. Alternativna goriva se definiraju kao goriva ili izvori energije koji služe, barem djelomično, kao nadomjestak za izvore fosilnih goriva u opskrbi prometa energijom i koji imaju potencijal doprinjeti dekarbonizaciji prometnog sustava, te poboljšati okolišnu učinkovitost prometnog sektora. U alternativa goriva spadaju: električna energija, vodik, biogoriva, sintetička i parafinska goriva, prirodni plin (stlačeni – SPP i ukapljeni – UPP), te ukapljeni naftni plin (UNP). Trendovi prodaje novih automobila su usmjereni na sve veću prodaju osobnih vozila na benzin umjesto na dizel kao gorivo. Treba svakako uzeti u obzir kako u podijeli slike 11 nisu uzete u obzir kategorije drugih vozila. Autobusi i teretna vozila u Hrvatskoj kao pogonsko gorivo skoro isključivo koriste dizel. Ako se pridodaju i oni u podjelu dolazimo do približavnja dizela udjelu ukupne potrošnje benzina. Autobusi najčešće kao alternativna goriva koriste stlačeni prirodni plin, dok teretna vozila u

Hrvatskoj gotovo isključivo koriste dizel, te se postepeno i kod njih uvodi stlačeni prirodni plin kao alternativno gorivo. Pretpostavka je da će se u budućnosti smanjivati udio dizela, te će njegovu ulogu preuzimati vozila na električnu energiju ili benzin, pogotovo u kategoriji osobnih vozila što se i dalje u radu prikazuje na simulaciji otoka Krka kroz implementaciju električnih vozila.



Slika 12. Broj novih i rabljenih vozila na tehničkom pregledu u RH [16]

Slika 12 prikazuje trend prve registracije novih i rabljenih osobnih automobila u Hrvatskoj. Podaci iz slike 12 odnose se na prvi godišnji tehnički pregled vozila u Hrvatskoj i uočava se kako broj vozila, odnsono broj prelgeda raste iz godine u godinu. Također se može zaključiti kako će vozni park u odnosu na tablicu 9 i godinu 2016. rasti. Godišnji rast novih vozila iz slike 12 iznosi do 20% i kontinuiran je zadnje 4 godine, dok rabljena vozila koja se prvi puta registriraju u Hrvatskoj imaju znatan skok u 2018. godini. [16] Navedeni trend se može pripisati prosječnoj starosti vozila koja iznosi 12.64 [17] godine, te sve većem uvozu rabljenih vozila iz inozemstva. Problem pri uvozu vozila je taj, da se uvoze automobili starijih tehnologija i ekoloških normi, koja nisu više poželjna u europski razvijenijim državama.



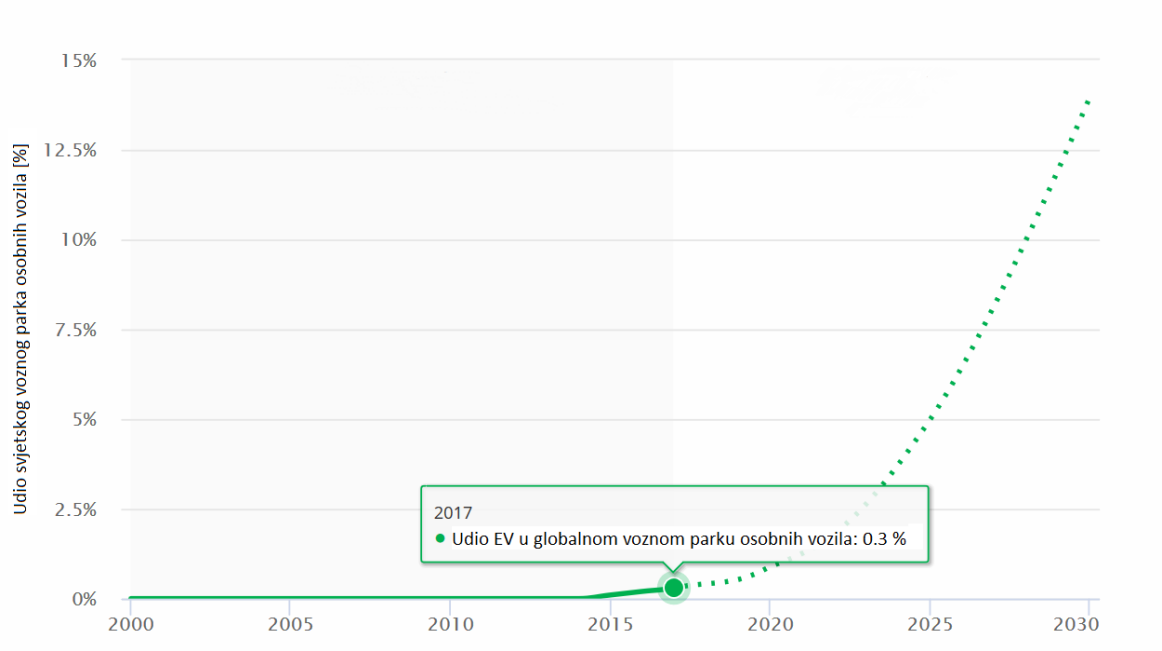
Slika 13. Električna vozila na tehničkom pregledu RH [18]

Slika 13 prikazuje broj registrianih električnih tipova vozila u cijeloj Hrvatskoj. U slici 13 su dani podaci za čiste električne automobile, električne motocikle, te hibride i plug-in hibride. Može se vidjeti kako postoji trend rasta korištenja vozila koja koriste neki oblik električne energije kao pogonsko sredstvo vozila. U konačnici su u 2018. godini registrirana 452 električna automobila, 800 električnih motocikala, 3552 hibridna vozila i 230 „plug-in“ hibrida vozila. Ukupan broj takvih vozila iznosi 5034, što je neznatno u usporedbi s ukupnim brojem registranih vozila u 2018. godini koji iznosi 2 178 289. Kada se promatra postotni udio električnih vozila u ukupnom voznom parku Hrvatske on ne iznosi niti 1 posto (0.231%). Kada se uzmu u obzir samo vozila koja opterećuju elektroenergetsku mrežu, odnsono baterije vozila koja se pune iz mreže, dolazimo do brojke od 1482 vozila. Može se zaključiti kako je udio električnih vozila u Hrvatskoj trenutno zanemariv, no postoje indicije kako će navedeni udio rasti.

4.1. Trendovi u Europi

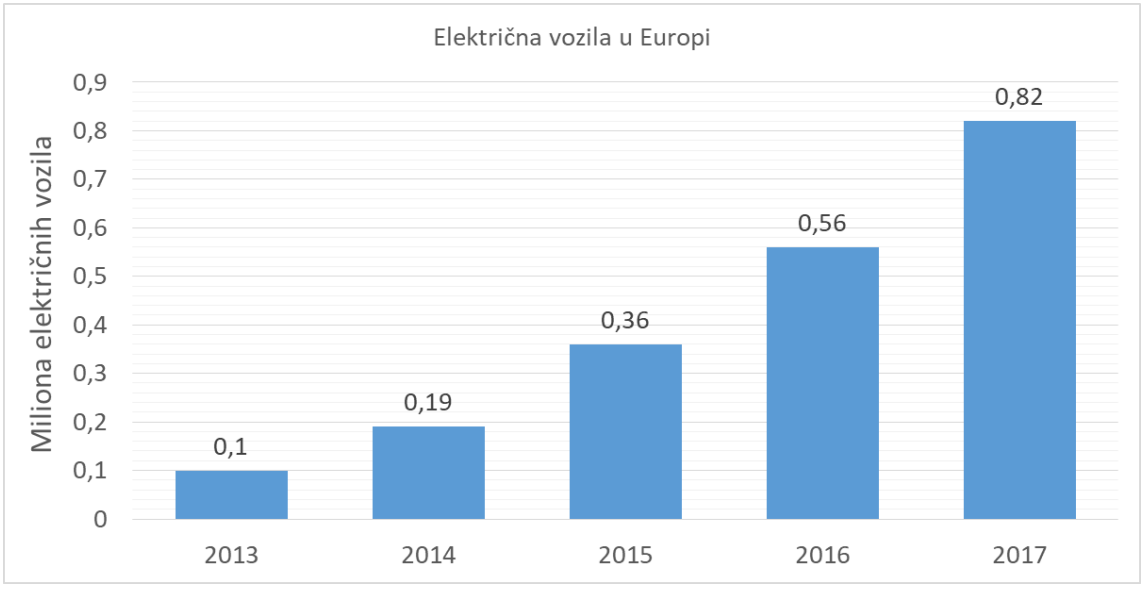
Trendovi prodaje električnih automobila u Europi su u porastu, te se može pretpostaviti kako će i u Hrvatskoj kao članici EU rasti. Broj prodanih novih električnih vozila u Europi je u 2017. godini iznosio oko 1,5% od ukupnog broja prodanih vozila. Navedeni udio je iznad svjetskog prosjeka

koji prikazuje sljedeća slika 14. Globalna flota električnih vozila prošla je 3 milijuna u 2017. godini. [19]



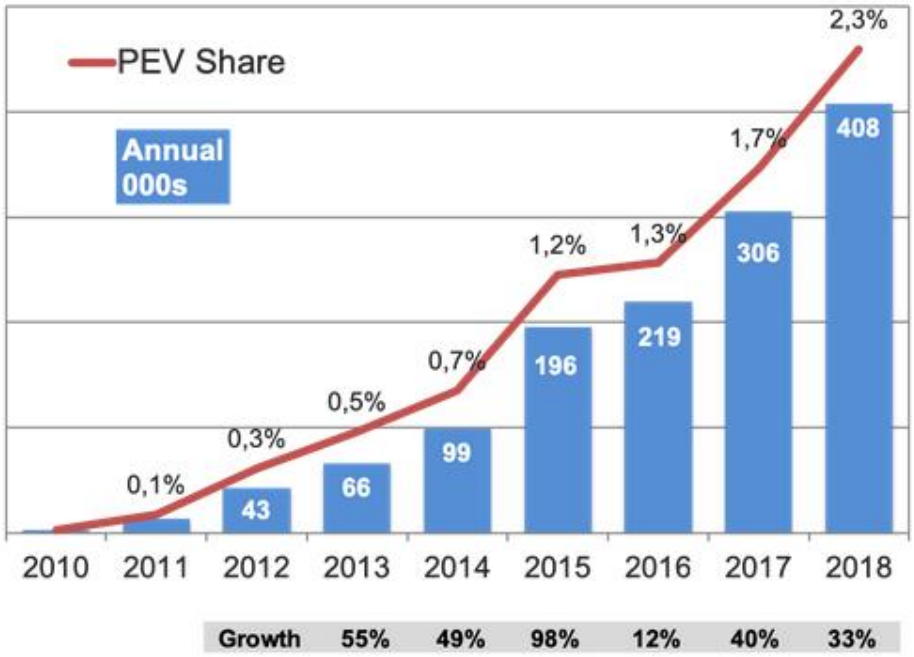
Slika 14. Trend udjela električnih vozila u globalnom voznom parku [19]

Iz slike 14 se može vidjeti kako su električna vozila imala udio od 0,3 % od ukupnog voznog parka osobnih vozila u svijetu, no projekcija međunarodne agencije za energetiku previđa rast prikazan slikom 14. Predviđa se globalni udio EV od preko 12,5 % do 2030. godine.



Slika 15. Broj električnih vozila u Europi [19]

Slika 15 prikazuje broj električnih vozila u prometu Europe. Iz slike se može vidjeti kako je i ovdje prisutan kontinurani rast uzrokovan razvojem tehnologija električnih vozila.

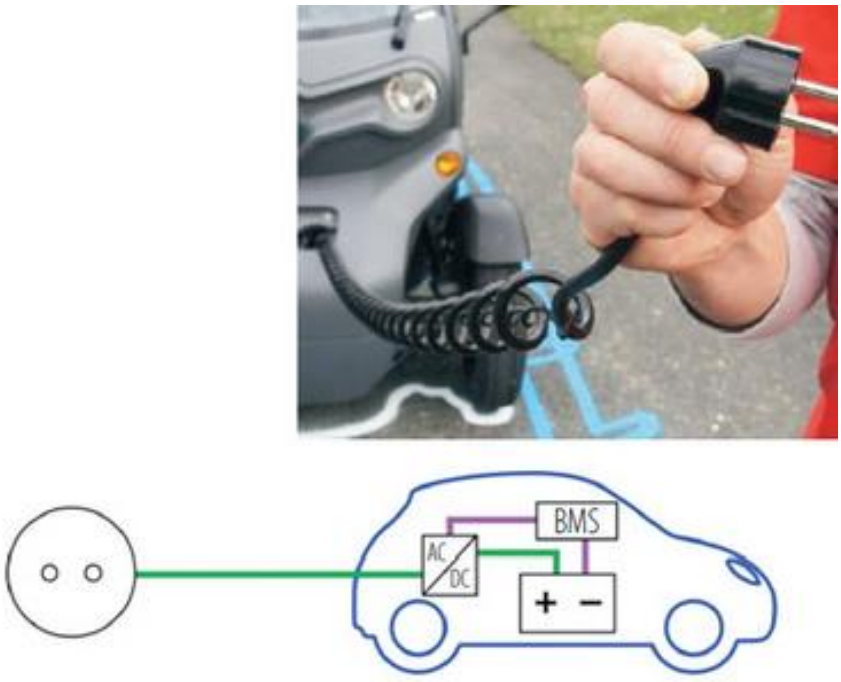


Slika 16. Trendovi prodaje električnih vozila u Europi [20]

Slika 16 prikazuje trendove prodaje EV u Europi što potvrđuje rast i prodaju električnih vozila. U navedenim trendovima su uzeta u obzir isključivo baterijska električna vozila (BEV – Battery Electric Vehicle) i punjiva hibridna vozila (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

5. INFRASTRUKTURA POTREBNA ZA ELEKTRIČNA VOZILA

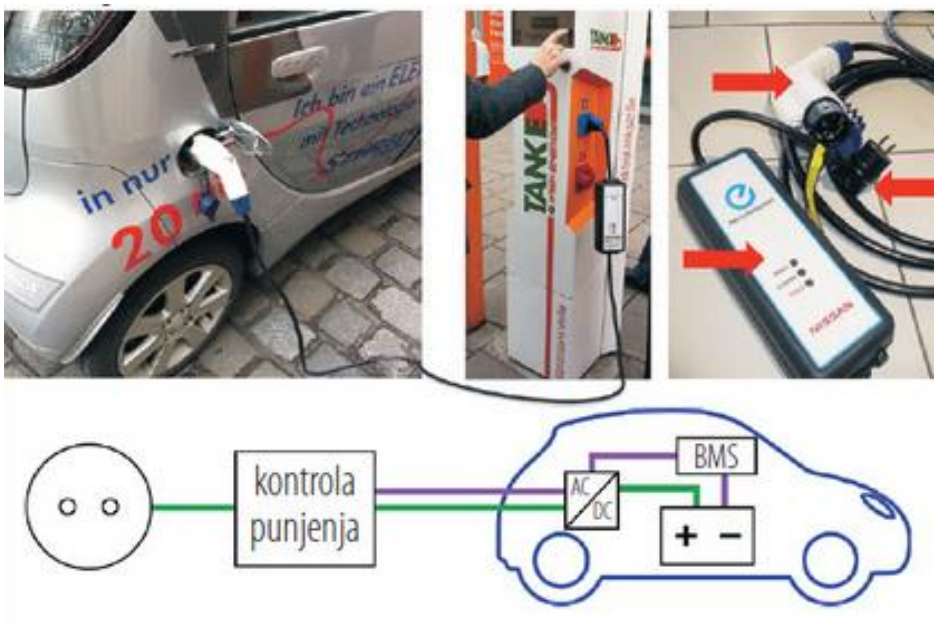
Električna vozila se električnom energijom pune na stanici za prihvat i punjenje baterijskih spremnika vozila, odnsono tzv. punionici. Pri tome se izmjenična struja na naponu javne elektroenergetske mreže pretvara u istosmjernu struju za punjenje baterija na naponu koji odgovara bateriji, odnosno potrebama vozila. Tim procesom upravlja sustav za nadzor baterije. Punionice trebaju biti projektirane na način kako bi zadovoljile karakteristike i broj vozila. Načini punjenja električnih vozila i vanjska oprema stanica za njihovo napajanje električnom energijom određeni su Hrvatskim normama HRN EN 61 851. Navedene norme daju smjernice i zahtjeve sustava za napajanja električnih vozila. Postoje četri načina punjena pri kojem svaki način ima različitu opremu za punjenje, te time i brzinu punjena. Prvi način podrazumijeva punjenje na šuko utičnici (klasični tip utičnice koja se nalazi i u kućanstvima), pri čemu se sustav za nadzor baterije i punjač nalaze u vozilu, te nema komunkacije između vozila i utičnice na punionici. [21]



Slika 17. Shema punjenja električnog vozila na šuko utičnici [21]

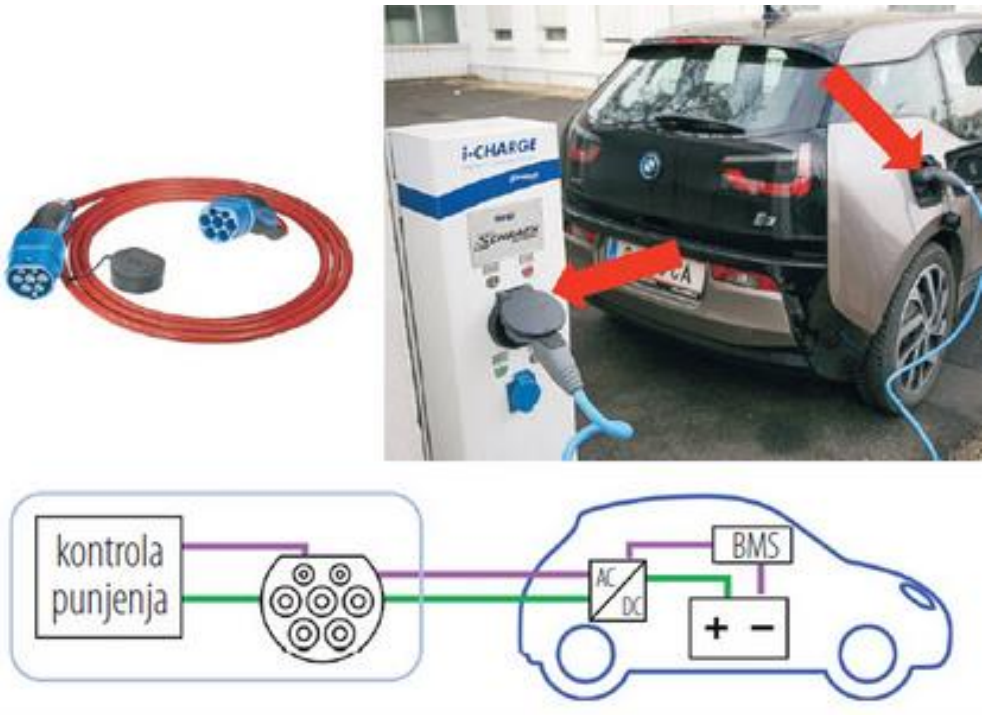
Slika 17 prikazuje pojednostavljenu shemu načina punjenja električnog vozila na šuko utičnici. Na shemi je prikazano kako inverter mijenja izmjeničnu struju u istosmjernu unutar vozila, te kako time upravlja sustav nadzora baterija koji je dio vozila. Navedeni način je najjednostavniji i

najsporiji način punjenja vozila. Sljedeći način je sličan prvome, ali se dodatno koristi upravljački uređaj u napojnom kabelu. Navedeni kabel je dio dodatne opreme vozila, pri čemu upravljački uređaj nema komunikaciju s utičnicom punionice, a punjač se nalazi u vozilu.



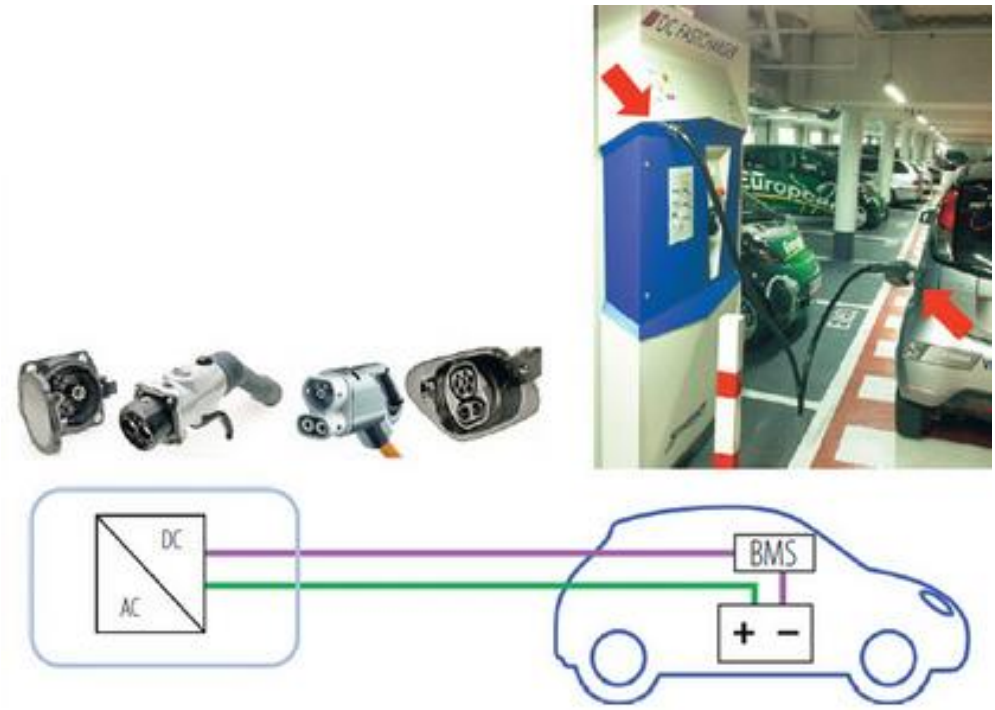
Slika 18. Shema punjenja EV s napojnim kabelom koji ima upravljački uređaj [21]

Slika 18 prikazuje pojednostavljenu shemu punjena električnog vozila s napojnim kabelom koji ima upravljački uređaj u sebi. Ostale komponente sustava su jednake kao na slici 17. Napredniji i još brži način podrazumijeva punjenje izmjeničnom strujom preko utičnice tipa 2 na punionici, uz specijalni kabel napajanja do vozila. Pri takvoj vrsti punjenja postoji komunikacija punionice i vozila, a punjač se nalazi u vozilu. To je najčešći način punjenja vozila na javnim stanicama za punjenje u Europi.



Slika 19. Shema punjenja EV izmjeničnom strujom preko utičnici tip 2 [21]

Nadalje slika 19 prikazuje spomenutu shemu načina punjena vozila. Ovdje je dodana kontrola punjenja na izvoru električne energije, odnosno punionici. Punioca komunicira s vozilom radi bržeg i efikasnijeg punjena vozila. Najbrži način podrazumijeva punjenje istosmjernom strujom, pri čemu postoji komunikacija vozila i punionice, u kojoj se nalazi punjač. Punjenje je brzo i uz veću snagu, takozvano brzo punjenje. Standardizirani priključak na vozilu može biti u izvedbi CHAdeMO ili CCS.



Slika 20. Shema punjenja EV istosmjernom strujom [21]

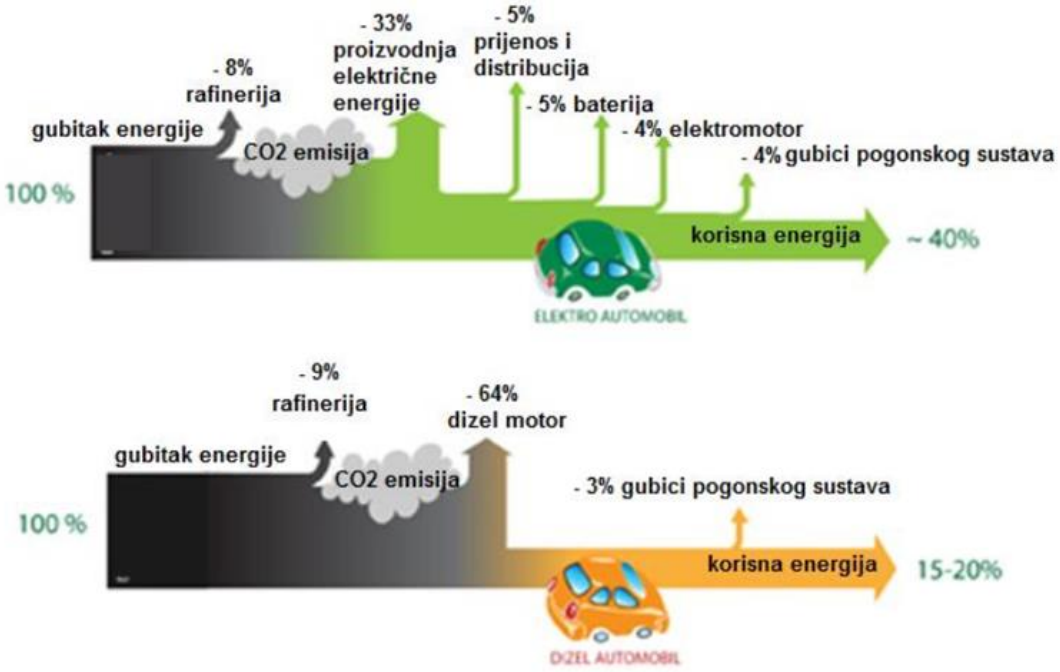
Slika 20 prikazuje način punjena na brzom punjaču. Punjenje se vrši na način da se već u punionici struja pretvara iz izmjenične u istosmjernu kako bi se punjenje brže odvijalo. Sljedeća tablica 10 prikazuje parametre punjenja električnih vozila ovisno o izvedbi priključka.

Tablica 10. izvedbe priključaka punionica [21]

Parametri punjena	**Izvedba priključka (utičnice)**				
	Šuko	**Tip 1**	**Tip 2**	**CHAdeMO**	**CCS**
Napon [V]	230	230	400	500	500
Jakost struje [A]	10-16	16-32	16-63	125	125
Faznost i smjer struje punjenja	Jednofazna izmjenična	Jednofazna izmjenična	Trofazna izmjenična	Istosmjerna	Istosmjerna
Snaga [kW]	2-3,7	3,7-7,4	11-44	50	50
Trajanje [h]	8-10	3-5	<1-3	0,2	0,2

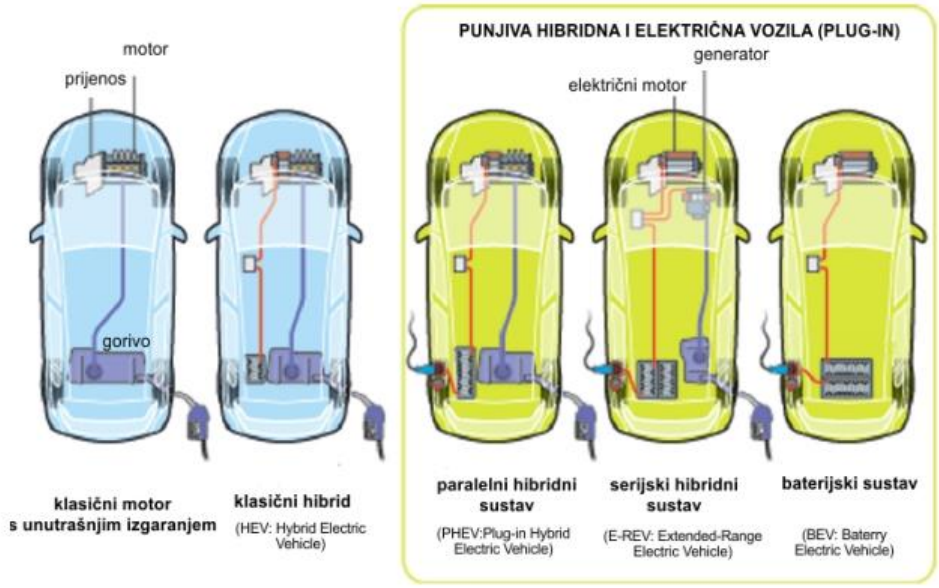
5.1. Električna vozila

U usporedbi s vozilima koja koriste motore s unutrašnjim izgaranjem (MUI), vozila pogonjena električnim motorom (eng. Electric Vehicle – EV) troše znatno manje energije i ne emitiraju štetne emisije. Uz navedene prednosti električna vozila su ekfikasnija sa stanovišta iskorištavanja energije.



Slika 21. Shema korisne energije vozila pogonjenih dizelskim gorivom ili el.en. [22]

Sa stanovišta gubljenja energije i emitiranja štetnih emisija po pređenom putu, električna vozila su bolja solucija kako prikazuje slika 21. Dobivena korisna energija kod dizelskih motora iznosi oko 15-20 % ovisno o tehnologiji, dok je kod električnih vozila ta brojka oko 40%. Iako su električni modeli inicijalno skuplji u uspredbi s vozilima s MUI, korištenje električnog vozila omogućuje jeftiniju vožnju uz pozitivan utjecaj na smanjenje emisija CO_2. Najveći nedostatak električnih vozila je njihov doseg i vrijeme punjenja što najviše utječe na atraktivnost nabavke takvih vozila. Električna vozila dijele sa na tri kategorije: hibridna vozila (HEV – Hybrid Electric Vehicle), punjiva hibridna vozila (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle) i baterijska električna vozila (BEV – Battery Electric Vehicle). [23]



Slika 22. Shema rada električnih vozila [23]

Slika 22 prikazuje shemu rada navedenih električnih vozila čiji opis slijedi. Hibridna električna vozila za pogon koriste motor s unutrašnjim izgaranjem i električni motor, a za pohranu električne energije koriste bateriju. Baterija se nadopunjava pomoću generatora kojeg pokreće motor s unutrašnjim sagorijevanjem, te kod usporavanja ili zaustavljanja regenerativnim kočenjem. Kod ove vrste vozila ne postoji mogućnost punjenja iz nekog vanjskog izvora ili elektroenergetske mreže. Punjiva hibridna vozila više se oslanjaju na električni dio pogona nego klasična hibridna električna vozila. Karakterizira ih paralelni hibridni sustav kod kojeg je motor s unutrašnjim izgaranjem glavni pogon vozila ali je nadopunjen s većom baterijom i snažnijim električnim motorom. Baterije se mogu puniti iz elektroenergetske mreže i nadopunjavati pomoću generatora kojeg pokreće motor s unutrašnjim sagorijevanjem te kod usporavanja ili zaustavljanja regenerativnim kočenjem. Potpuno električno vozilo koristi samo električni pogon koji se sastoji od snažnog električnog motora i akumulatorske baterije velikog kapaciteta. U ovom radu će se promatrati samo baterijska električna vozila radi jednostavnosti. Kao drugi razlog promatranja je njihov najveći utjecaj na opterećenje elektroenergetskog sustava, te se njima ostvaraju najbolji učinci u ekologiji, odnsono smanjenje štetnih emisija. Sljedeća tablica prikazuje dostupna električna osobna vozila na tržištu.

Tablica 11. Popis električnih vozila dostupnih na hrvatskom tržištu [24]

Vozilo	Doseg [km]	Kapacitet baterije [kWh]	Efikasnost [kWh/100km]	Snaga elektromotora [kW)
Volkswagen e-up!	65-150	18,7	16,8	60
Volkswagen e-golf	135-285	35,8	16,8	100
Citroen C-Zero	60-140	16	16,7	49
Nissan Leaf	160-345	40	16,5	110
BMW i3	165-365	42,2	16,1	125
Hyundai Kona Electric	280-595	67,1	16	150
Smart EQ fortwo coupe	70-165	17,6	15,9	60
Renaul Zoe	180-395	44,1	15,8	68
Hyundai IONIQ Electric	135-290	30,5	14,4	88
Tesla model 3 long range	340-685	80	15,6	258

Tablica 11 prikazuje trenutno dostupna električna vozila na tržištu. Doseg u tablici 11 varira s obzirom na način vožnje i vremenske uvjete u kojima se vozilo kreće. Kao najgori scenarij se koristi scenarij gdje je vanjska temperatura -10°C s uključenim grijanjem, dok se idealni uvjeti smatraju temperatura od 23 i ne korištenje klimatizacijske jedinice. Može se vidjeti kako je približna efiskanost svih vozila jednaka, te se najviše razlikuju po kapacitetu baterije, dosegu i snazi. Isto tako efikasnost u tablici nije efikasnost deklarirana od strane proizvođača već u stvarnim uvjetima ekspolatacije. [24] Također treba napomenuti kako navedeni model Tesla za vrijeme izrade ovoga rada još nije bio dostupan u Europi, ali je radi usporedbe uvršten u tablicu. Cijene nabavke novih vozila iz tablice se kreću od 170 000 kn za vw-up! [25], preko 290 000 kuna za volkswagen e-golf pa do 310 000 kuna za bmw i3 [26] u Hrvatskoj bez financijskih poticaja.

Financijske poticaje za električna vozila daje Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, te Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost. Zadnji javni poziv je proveden 3.4.2019. te je ukupan iznos subvencija iznosio 17 000 000 kuna. Fond je u navedenom javnom pozivu dodjeljivao bespovratna sredstva u sljedećem iznosu po vozilu:

1. Električni bicikli – do 5000 kn
2. Električno vozilo L1-L7 kategorije (motocikli) – do 20 000 kuna
3. Vozilo M1 kategroije (osobni automobil) s „plug in“ hibridnim pogonom – do 40 000 kuna
4. Vozilo M1 kategorije (osobni automobil) s električnim pogodnom – 80 000 kuna.

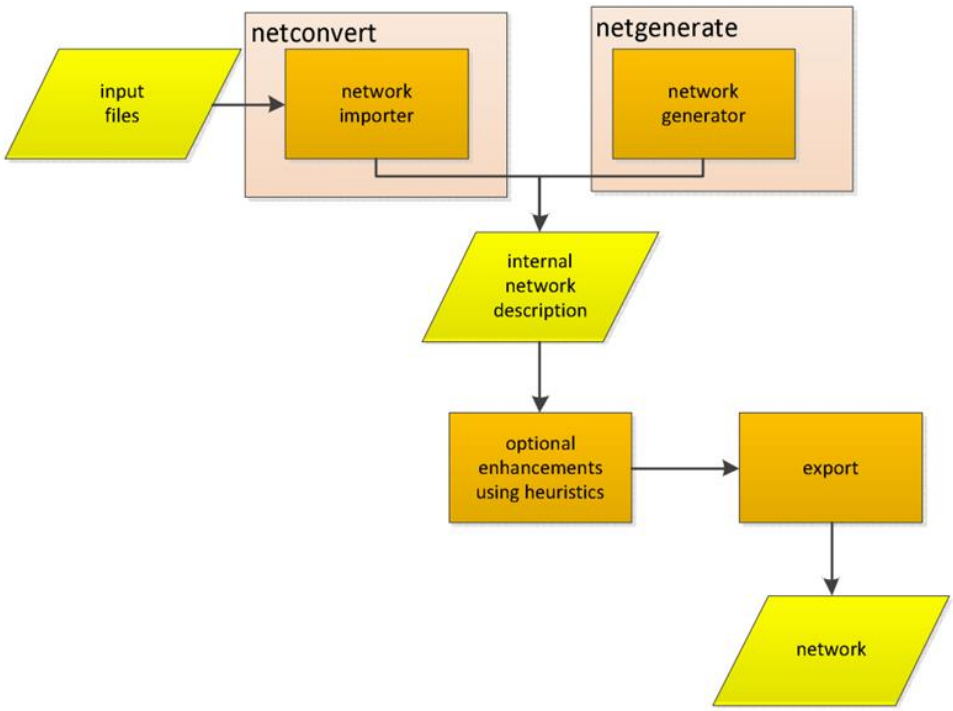
Iznos koji se dodjeljivao nije smio prijeći 40 % opravdanih troškova, te su fizičke osobe mogle pomoću sredstava Fonda nabaviti najviše jedno vozilo. [27]

6. SUMO – Simulation of Urban Mobility

SUMO ("Simulation of Urban Mobility") je softver otvorenog koda, koji služi za simulaciju cestovnog prometa, posebice velikih cestvonih mreža. On sadrži paket aplikacija simulacija prometa koji uključuje samu aplikaciju, kao i pomoćne alate, koji služe za modeliranje mreža i potražnje. Softver je uglavnom razvijen od strane djelatnika Instituta za transportne sustave u njemačkom svemirskom centru. SUMO je licenciran pod općom javnom licencom. SUMO pomaže proučiti širok spektar istraživačkih tema, uglavnom u kontekstu upravljanja prometom. Sofver nije samo prometna simulacija, nego paket aplikacija koji pomaže u pripremi i obavljanju simulacija scenarija prometa. Nadalje su prikazane aplikacije i njene funkcije u simulaciji počevši od generiranja mreže preko generiranja potražnje sve do simulacije prometa. Za provedbu simulacija ovoga rada potrebne su sljedeće radnje. Prvotno je potrebno odrediti mrežu prometnica koja se promatra, zatim je generirati, analizirati i pročistiti. Nadalje, potrebno je odrediti potražnju mreže koja se definira u količini i strukturi prometa koji opterećuje navedenu mrežu. Nakon što su oba koraka učinjena moguće je provesti simulaciju. Navedena simulacija zatim daje izlazne podatke promatrane mreže. SUMO kao paket nudi razne izlazne podatke, od informacija prometnica do informacija vozila koje se njima kreću. Težište ovog rada je na vozilima, odnosno elektrifikaciji voznoga parka, popratne infrastrukte kao i emisija samih vozila. [28]

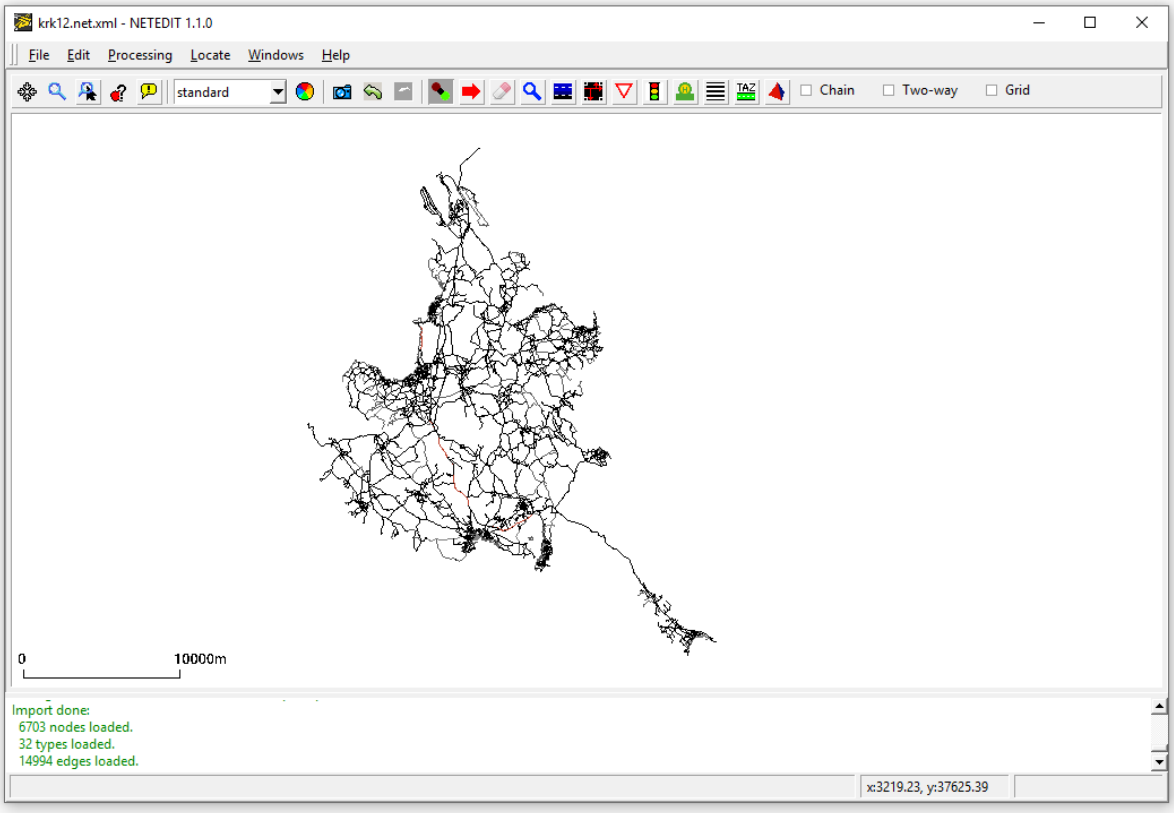
6.1. Generiranje cestovnih mreža

SUMO cestovne mreže predstavljaju stvarne mreže kao grafikone, gdje su čvorišta sjecišta, a ceste su predstavljene rubovima. Raskrižja se sastoje od položaja, oblika i pravila prolaska koja mogu biti regulirana prometnom signalizacijom (semaforima). Rubovi su jednosmjerne veze između dva čvora i sadrže fiksni broj prometnih traka. Prometna traka sadrži geometriju, informacije o dozvoljenim kategorijama vozila i maksimalno dopuštenoj brzini na prometnici. SUMO cestovne mreže mogu biti generirane pomoću aplikacije nazvane "netgenerate" ili uvozom digitalne karte pomoću naredbe "netconvert". Naredba netcovnert pretvara digitalne mreže drugih računalnih softvare u oblik koji je pogodan SUMO software-u. [28]



Slika 23. Shema izrade prometnica u SUMO [28]

Slika 23 prikazuje shemu procesa izrade mreže prometnica. U ovome radu je uvezena digitalna mapa otoka Krka koja preuzeta sa stranice OpenStreetMap-a [29] i obrađena je kako bi zadovljavala zahtjevima SUMO software-a. Većina dostupnih digitalnih cestovnih mreža kao što je openstreetmap je izvorno namjenjena za uporabu u navigacijske svrhe. Kao takve, takvim mrežama odnosno mapama nedostaje mnogo detalja koji su potrebni za simulaciju cestovnog prometa. Detalji koji često nedostaju su nepotpun broj prometnih traka, posebice ispred raskrižja, koja prometna traka se veže na sljedeću, rotora, te pozicija i informacije o semaforima. Kako bi se postigla zadovoljavajuća točnost, odnosno zadovoljajuća količina detalja, potrebno je nakon uvoza mreže, samu mrežu ručno obraditi. U ovom radu su za obradu uvezenih prometnica korištene stranice google maps [30] i google earth [31]. Navedena obrada je rađena u aplikaciji „netedit“ koja je sastavni dio paketa aplikacija SUMO. Sljedeća slika 24 prikazuje prikaz vizualizacije aplikacije „netedit“ s neobrađenom mrežom prometnica otoka Krka.



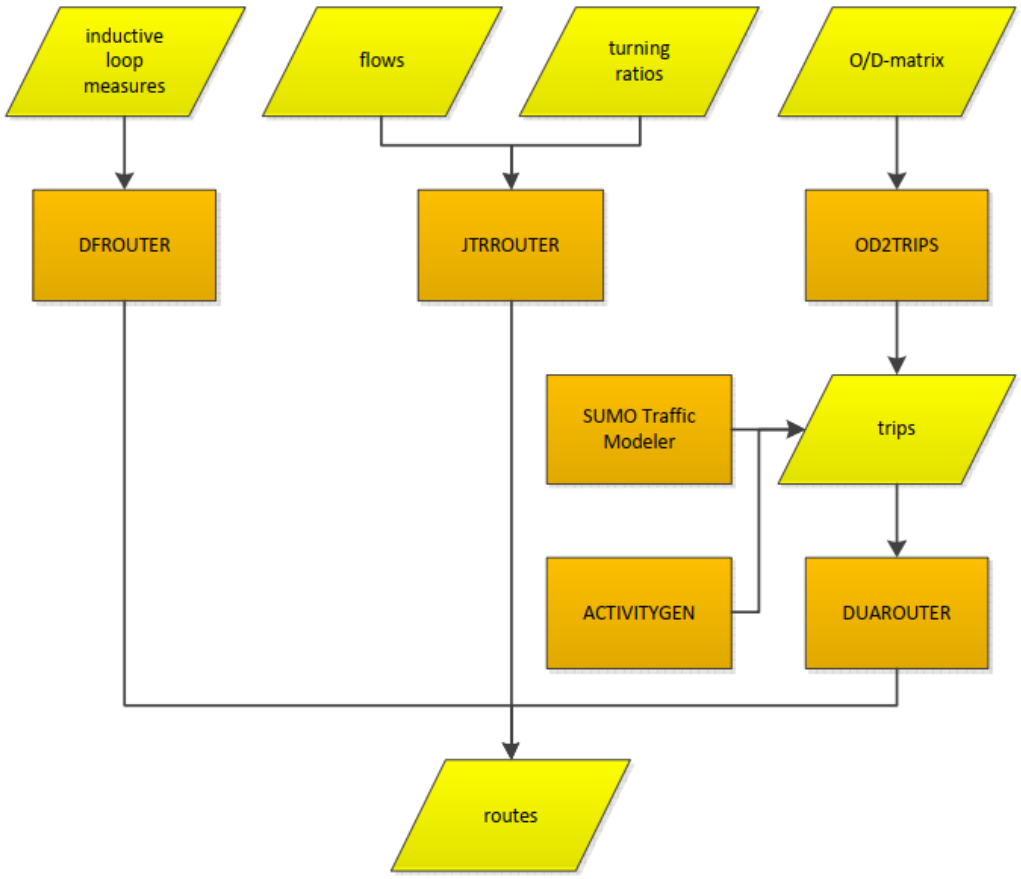
Slika 24. Vizualizacija prometnica u aplikaciji netedit [28]

Na slici 24 je prikaz aplikacije s grafičkom trakom obrade prometnica. U njoj se ručno obrađuju i određuje svaka prometnica i njene postavke. Mogućnost obrade počinje s ucrtavanjem novih prometnica, preko pomicanja postojećih, sve do detalja i pravila križanja. Potrebno je za svako križanje urediti i definirati moguće pravce kretanja iz svake pojedine trake ulaza križanja u drugu traku izlaza križanja. Nakon što se uredi mapa do zadovoljavajuće točnosti potrebno je odrediti potražnju.

6.2. Generiranja potražnje

SUMO je simulacija prometa na mikroskopskom nivou, odnosno svi parametri se mogu za svako vozilo postaviti pojedinačno. Svako vozilo je definirano jedinstvenim identifikatorom, vremenom polaska i rutom vozila kroz mrežu. Pod rutom se podrazumijeva potpuni popis rubova između starta i odredišta vozila. Po potrebi se svako vozilo može definirati detaljnim svojstvima kao na primjer navedeni: vrijeme polaska, vrijeme dolaska, prometna traka u kojoj se kreće, brzina, tip vozila, fizička svojstva vozila kao i modeli kretanja vozila. SUMO također simulira emisiju štetnih tvari

svakog vozila, kao buku i elektrifikaciju vozila koje su tema ovoga rada i čemu je posebno posvećena pažnja. Dodatno se može definirati izgled i boja vozila kroz grafiku sučelja radi ljepšeg prikaza. Simulacija većih mreža sadrži iznimno veliku količinu podataka, te kako se ne bi morao ručno definirati svaki parametar koriste se matrice ishodišta i odredišta (O/D matrice). One opisuju kretanje vozila između takozvanih prometnih zona u količini i vremenu. Simulacija uključuje takozvanu aplikaciju "od2trips" koja pretvara O/D matricu u pojedinačna putovanja. Navedena aplikacija se korisiti radi velike količine podataka o pojedinačnim putovanjima i kako se svaka informacija ne bi posebno ručno generirala. Radi što realnijeg prikaza prometa je korištena krivulja opterećenja prometnica po satu koja je ranije u radu dana za brojnu točku Omišalj.



Slika 25. Shema kreiranja putovanja simulacije [28]

Slika 25 prikazuje dijagram tijeka kreiranja putovanja za simulaciju. Kao što se vidi iz prikaza, ovisno o podacima kojima se raspolaže i cilja simulacije, koriste se odgovarajući alati za kreiranje putovanja. U ovome radu se potražnja putovanja kreira pomoću O/D matrice i aplikacije koja se

zove „duarouter“. Duarouter izračunava i generira putovanja koristeći najkraći put od polazišta prema cilja. U radu će se smatrati kako svako vozilo kreće iz polazišta najkraćim putem ka odredištu bez zaustavljanja i odstupanja od rute putovanja.

6.3. Simulacija

Aplikacija SUMO izvodi vremenski diskretnu simulaciju. Zadani vremenski korak smulacije je 1 sekunda, no po potrebi se može zadati i vlastiti vremenski korak. Model simulacije je kontinuran u prostoru i interno. Položaj vozila je opisan položajem u mreži i udaljenosti od ishodišta putovanja. Brzina svakog vozila prilikom kretanja kroz mrežu se izračunava pomoću tzv. Modela za praćenje vozila. Modeli praćenja vozila izračuvanaju brzinu vozila u odnosu na vozilo ispred kao i udaljenost promatranog vozila od vozila ispred njega. U simulacijama se koristi model koji je razvio Stefan Krauß. [32] Model se neće detaljnije opisivati, te će ga se smatratiti zadovoljavajućim. Poteškoće pri simulaciji navedenim modelom mogu nastati pri promjeni vremenskog koraka. Prilikom duljih vremenskih koraka vozila znaju doći u koliziju ili se teleportiraju pri primjeni Kraußovog modela. Ponašenje pri promjeni traka odnsono prometnica se vrši pomoću zadanog modela koji je razvijen unutra aplikacije SUMO i neće se detaljnije objašnjvati. Pojašnjenje modela se po potrebi može pronoći u uputsvima na internetskim stranicama programa SUMO. Simulacija prometa se može odvijati u dva oblika. Aplikacija SUMO je čista aplikacija u obliku terminala dok je „SUMO-gui“ grafičko korisničko sučelje koje prikazuje simulaciju u grafičkom obliku. Prikazi vizualizacija se mogu prilagoditi na mnogo načina kao što je vizualizacija brzina, vrijeme čekanja, prikaz putovanja ili praćenje pojedinačnih vozila. Također se mogu prikazati prometnice glede opterećenosti, proizvodnji buke ili emisija štetnih tvari.

6.4. Energetski model vozila u SUMO

Promjena energetske razine jednog vozila se u SUMO programu računa zbrajanjem kinetičkih, potencijalnih i rotacijskih komponenti dobivanja energije iz jednog diskretnog vremenskog koraka prema sljedećem, te oduzimanjem gubitaka uzrokovanih različitim komponentama otpora. Energija vozila E_{vozilo} [k] diskretnog vremenskog koraka [k] se može izračunati pomoću sljedeće jednadžbe 5.

$$E_{vozilo}[k] = E_{kin}\,[k] + E_{pot}\,[k] + E_{rot,int}\,[k] \quad \textbf{(5)}$$
$$= \frac{m}{2} * v^2[k] + m * g * h[k] + \frac{J_{int}}{2} * v^2[k]$$

Pri tome su poznate varijable vozila kao što su masa m, brzina vozila u trenutku k v[k], gravitacija g, nadmorska visina vozila u trenutku k h[k], te moment inercije rotacijskih komponenti J_{int}. Dobitak energije $\Delta E_{dobiveno}$ [k] između vremenskih koraka [k] i [k+1] može se izračunati pomoću sljedeće jednadžbe 6.

$$\Delta E_{dobiveno}[k] = E_{vozila}[k+1] - E_{vozila}[k] - \Delta E_{gubitak}[k] \quad \textbf{(6)}$$

Gubitak energije $\Delta E_{gubitak}$ [k] je uzrukovan otporom zraka, valjanjem, krivuljom otpora te potrošačima kao što je klimatizacijski uređaj. Sljedeća jednadžba 7 prikazuje gubitak energije. Varijable komponenata gubitka energije su gustoća zraka ρ, prednja površina vozila A_{vozilo}, koeficijent otpora zraka c_w, prijeđena udaljenost Δs [k], koeficijent otpora kotrljanja $c_{kotrljanje}$, centripetalna sila F_{rad}, koeficijent otpora krivulje c_{rad} i snaga konstantnih potrošača $P_{konst.}$ (npr. klimtizacijska jedinica).

$$\Delta E_{gubitak}[k] = \Delta E_{zrak}[k] + \Delta E_{kotrljanje}[k] + \Delta E_{otpor}[k] + \Delta E_{konst.}[k] \quad \textbf{(7)}$$

$$\Delta E_{zrak}[k] = \frac{1}{2} * \rho_{zrak} * A_{vozilo} * c_w * v^2[k] * |\Delta s[k]| \quad \textbf{(8)}$$

$$\Delta E_{kotrljanje}[k] = c_{kotrljanje} * m * g * |\Delta s[k]| \quad \textbf{(9)}$$

$$\Delta E_{otpor}[k] = c_{rad} * \frac{m * v^2[k]}{r[k]} * |\Delta s[k]| \quad \textbf{(10)}$$

$$\Delta E_{konst.}[k] = P_{konst.} * \Delta t \quad \textbf{(11)}$$

Ovisno o njegovom znaku, $\Delta E_{dobiveno}$ [k] je količina energije koju je vozilo potrošilo ili ponovno dobilo kao rezultat njegovog kretanja. Varijacija energije sadržana u bateriji vozila može se dalje

izračunati pomoću sljedećih jednadžbi 12 i 13. Pri tome se uvodi faktor konstantne učinkovitosti za rekuperaciju $\eta_{rekuperacije}$ ($\Delta E_{dobiveno}$ [k] > 0) i propulziju $\eta_{propulzije}$ ˙($\Delta E_{dobiveno}$ [k] < 0).

$$E_{baterija}[k+1] = E_{baterija}[k] + \Delta E_{dobiveno}[k] * \eta_{rekuperacija} \quad \textbf{(12)}$$

$$E_{baterija}[k+1] = E_{baterija}[k] + \Delta E_{dobiveno}[k] * \eta_{propulzija}^{-1} \quad \textbf{(13)}$$

Za punjenje električnih vozila potrebno je odrediti snagu, lokaciju i efikasnost svake punionice. Ako se vozilo zaustavi u simulaciji na punionici i vozilo je opremljeno baterijom ono će se puniti. Slijedeća jednadžba 14 opisuje navedeni proces.

$$E_{baterija}[k+1] = E_{baterija}[k] + P_{punionice} * \eta_{punionice} * \Delta t \quad \textbf{(14)}$$

Gdje je $P_{punionice}$ snaga punjača, $\eta_{punionice}$ efikasnost punjača te Δt vremenski korak. Raspon punjenja baterije je ograničen na sljedeći način. [33]

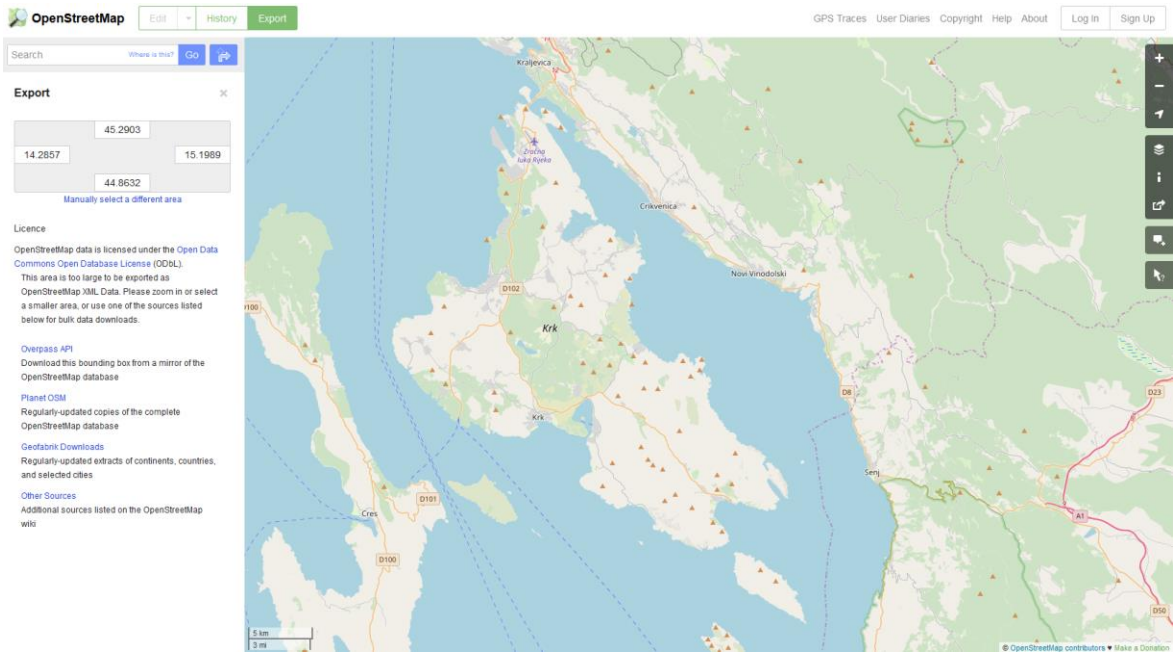
$$0 \leq E_{baterija} \leq E_{baterija,max} \quad \textbf{(15)}$$

6.5. Emisije štetnih plinova u SUMO

Aplikacija SUMO računa emisije vozila prema priručniku emisijskih faktora za cestovni promet (HBEFA). Priručnik sadrži faktore emisije za sve kategorije vozila i širok raspon prometnih situacija. Iako HBEFA sadrži informacije o svim zagađivačima, u aplikaciji SUMO se uzimaju u obzir samo glavni zagađivači a to su: ugljični monoksid (CO), ugljični dioksid (CO2), ugljikovodici (HC), dušični oksidi (NOx), krute čestice (PMx), te dodatno potrošnja goriva. Svaka kategorija vozila spada u odgovarajuću emisijsku klasu. Kako se u radu u simulacijama navode samo određene kategorije, tako će se samo i za njih navesti emisijske klase. Motocikli spadaju u emisijsku klasu vozila pogonjenih benzinskim gorivom koji zadovoljava Euro normu 6. Osobna vozila se svrstavaju u vozila koja koriste benzinsko gorivo i čiji motori zadovoljavaju Euro normu 4. Emisijske klase autobusa i teretnih vozila se računaju iz prosjeka emitiranih čestica navedenih vozila u Europi. [34]

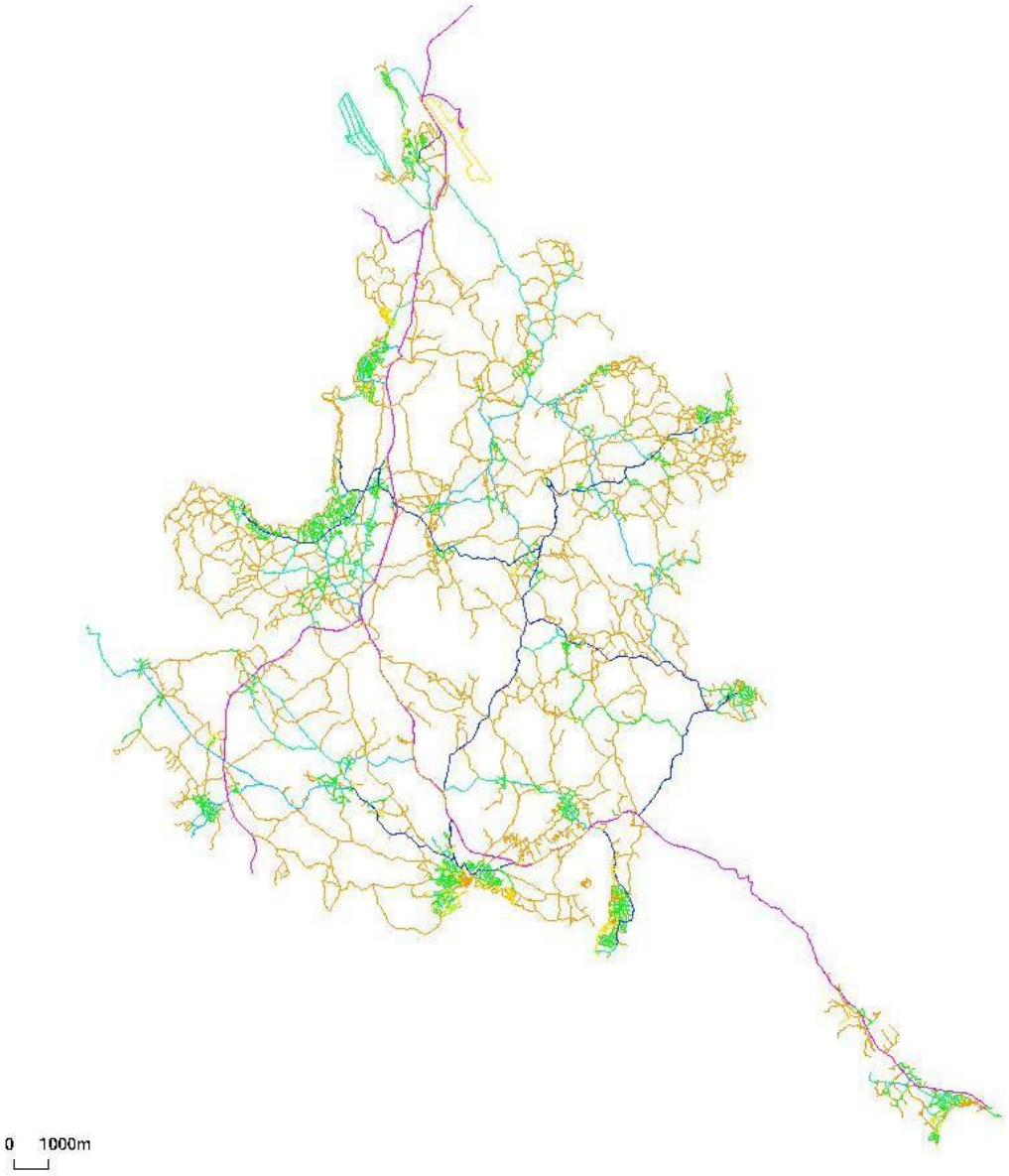
6.6. Prometnice otoka u SUMO

Prometnice otoka Krka već su ranije opisane u ovome radu te će se sada pobliže opisati postupak unošenja prometnica u mrežu prometnica aplikacije SUMO. Prvotno se pristupa kartografskim podacima na stranici OpenStreetMap za otok Krk, te su izvedeni podaci u obliku osm.xml datoteke za stanje na datum 18. veljače 2019. godine. [29]



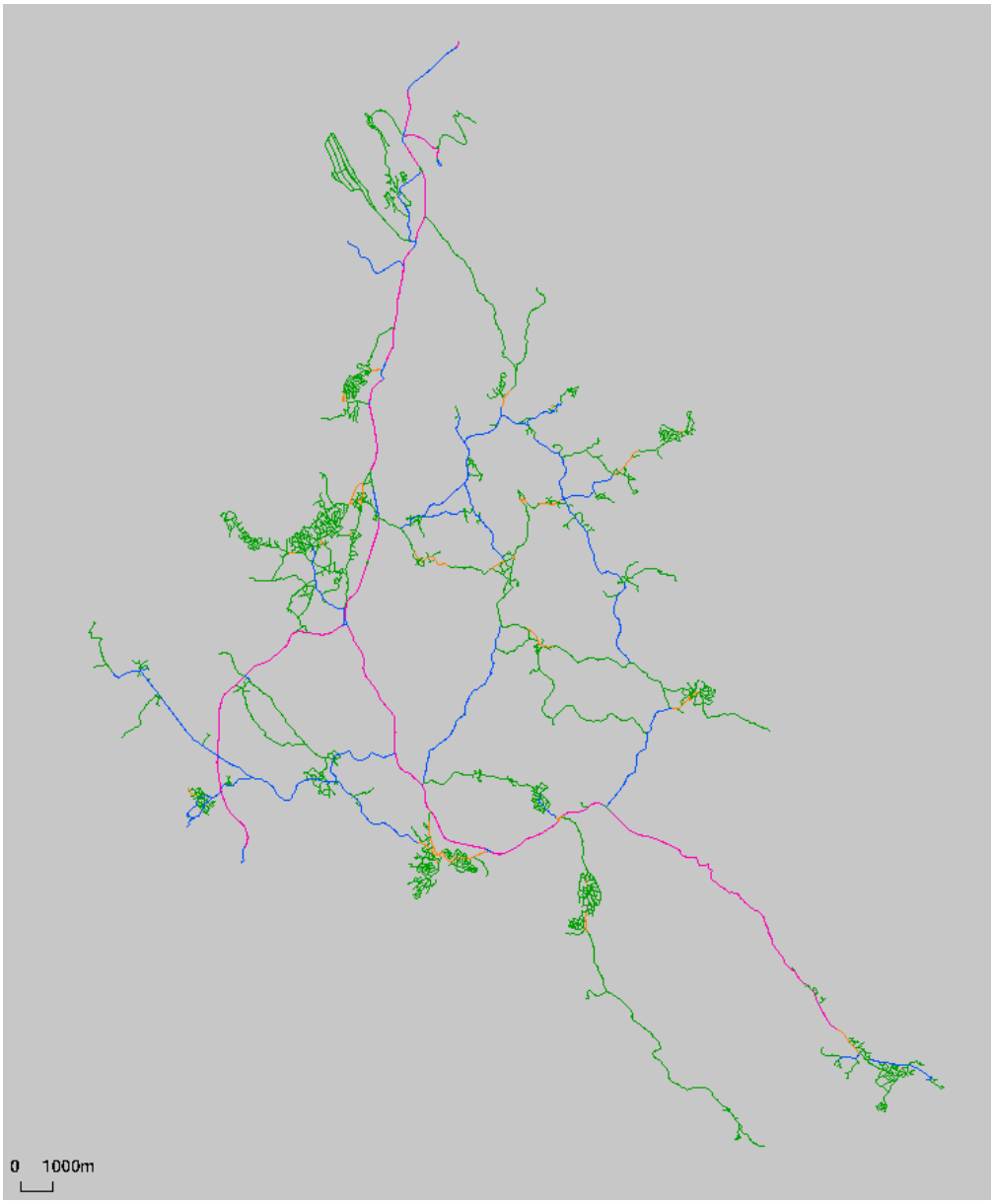
Slika 26. Otok krk u OpenStreetMapu [29]

Slika 26 prikazuje otok Krk sa svim prometnicama i putevima na internetskoj stranici Openstreetmap [29]. Za simulaciju otočkog prometa nisu potrebne biciklističke staze, makadamski putevi i slične sporedne prometnice, te se time izostavljaju. Kako bi se očistilo mrežu prometnica od neželjenih dijelova koristi se aplikacija „netedit“. „Netedit“ je grafičko korisničko sučelje u kojem se mogu definirati parametri za svako križanje i prometnicu. Postupak provjere prometnica i uređivanja je kako je i prije navedeno izvršen pomoću google street view-a, google maps [30] i google eartha [31].



Slika 27. Mreža prometnica otoka Krka u aplikaciji netedit

Slika 27 prikazuje grafički prikaz u aplikaciji „netedit“ prometnice otoka Krka bez razvrstavanja. Na slici 27 su prometnice označene različitim bojama po stupnju važnosti. Ljubičastom bojom su označene prometnice najvišeg ranga važnosti, odnosno krčka magistrala. Nadalje, tamno plavom bojom su označene županijske ceste. Svjetloplavom bojom su označene dvosmjerne prometnice prekrivene asfaltom u kojima radi njihove širine dolazi do poteškoća mimolaženje prometa. Žutom bojom su označeni makadamski putevi. Zelenom bojom su označene prometnice u naselju. Radi jednostavnosti simulacije su zanamerni i uklonjeni svi makadamski putevi.



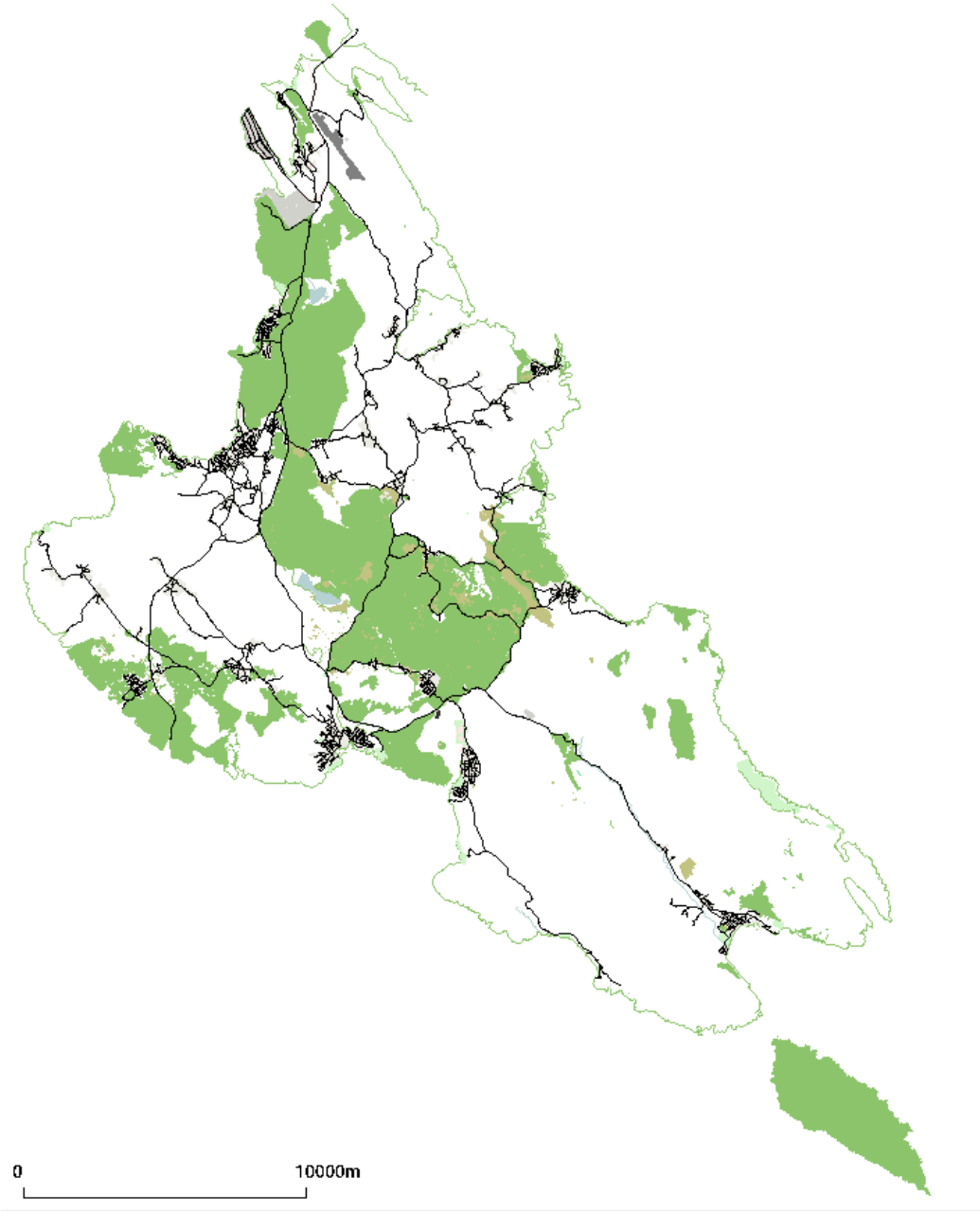
Slika 28. Pročišćena mreža prometnica u aplikaciji netedit

Slika 28 prikazuje mrežu prometnica otoka nakon uklanjanja i pročišćavanja glavnih od sporenih prometnica. U prikazu je korištena siva podloga radi bolje vidljivosti boja prometnica. Uz glavne državne i županijske ceste zadržane su i neke lokalne ceste kao i ceste unutar naselja. U ovom prikazu su prometnice razvrstane bojom po dozvoljenoj brzini kretanja vozila. U republici Hrvatskoj je zakonom dozvoljena brzina kretanja vozila van naselja 90 km/h, na autocestama iznosi 130 km/h, na brzim cestama 110 km/h, dok je u naselju 50km/h. Navedena ogričenja ne važe ako je ograničenje regulirano posebno istaknutim prometnim znakom na prometnici, te tada važi

ograničenje istaknuto znakom. [35] Provjera navedenih ograničenja je vršena alatom google maps, prikazom street view za svaku prometnicu zasebno. Radi lakšeg tumačenja sljedeća tablica 12 prikazuje kojoj boji je dodijeljno koje ograničenje brzine iz slike 28. Sva ograničenja su u skladu s ograničinjema sukladno zakonu o sigurnosti prometa na cestama Republike Hrvvatkse. [36]

Tablica 12. Ograničenja brzina prometnica otoka Krka

Ograničenja brzine na cestama otoka Krka	
Boja prometnice u prikazu	**Dovoljena brzina kretanja (km/h)**
Ljubičasta boja	90
Plava boja	60
Zelena boja	50
Narančasta boja	40



Slika 29. Mreža prometnica otoka s geografskim obrisima

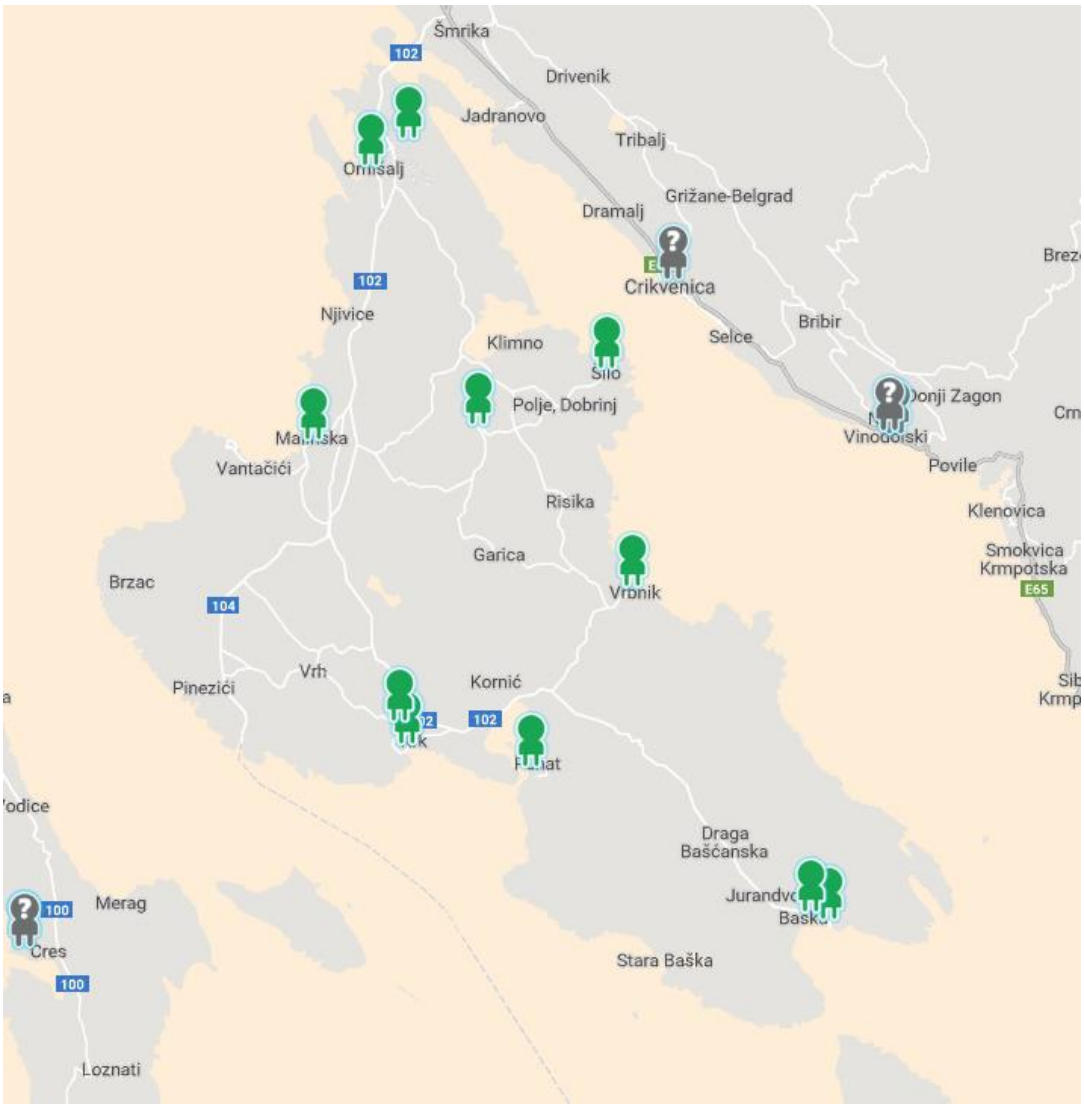
Kada se svi podaci obrade dobije se slika 29. Slika 29 prikazuje mrežu prometnica otoka skupa s geofraskim obrisima i značajkama otoka koja su izvađene iz openstreetmap-a. Tankom zelenom crtom su prikazane granice otoka s morem. Površine sive boje su luka Omišalj i zračna luka Rijeka.

7. INFRASTRUKTURA PUNIONICA OTOKA KRKA

Na otoku Krku je trenutno u funkciji 11 punionica za električne automobile raspoređenih po cijelom otoku. Po dvije su u Krku i Baški a po jedna u Omišlju, Zračnoj luci Rijeka kod Omišlja, Malinskoj, Puntu, Dobrinju, Vrbniku i Šilu. Punionice su dio cjelovitog projekta „Krk Smart Island“, u kojem sudjeluju tvrtka Ponikve eko otok Krk zajedno s Hrvatskim Telekomom i ostalim partnerima. Trenutno je punjenje na javnim punionicama još uvijek besplatno za sve korisnike, međutim za očekivati je da će se u skorijoj budućnosti pristup javno dostupnim punionicama, kao i preuzimanje usluge punjenja naplaćivati kao tržišna djelatnost električne energije. Iako su priključene na električnu energiju, iz sigurnosnih i komercijalnih razloga ePunionice su bez napona do trenutka identifikacije korisnika.

Prije korištenja javno dostupnih električnih punionica, potrebno je odabrati preferencijalnog pružatelja usluge punjenja, s kojim je prethodno potrebno sklopiti ugovor o pravu pristupa mreži javno dostupnih punionica. Za točne informacije o ugovorima i zahtjevima potrebno je obratiti se svome pružatelju usluga. Odabrati se može jednoga ili više pružatelja usluga. Jedni od pružatelja navedene usluge u Hrvatskoj su HEP, Hrvatski telekom, Tesla i drugi. Ukoliko se ne odabere niti jedan pružatelja usluga punjenja, tada se mogu koristiti isključivo punionice na kojima je dozvoljen pristup bez potrebe za prethodnu prijavu korisnika.

Na otoku Krku je pružatelj usluga punjena Hrvatski Telekom i Trgovačko-komunalno društvo Ponikve eko otok Krk. Navedena prijava korisnika na punionici se može izvršiti na nekoliko načina. Načini identifikacije je putem RFID kartice, SMS poruke i kreditne kartice (mobilna aplikacija na mobitelu). [37] [38] Životni vijek punionica proizvođača ABB iznosi između 10 i 15 godina a definiran je u službenim materijalima proizvođača. [39]



Slika 30. Lokacije punionica otoka Krka [38]

Slika 30 prikazuje lokacije navedenih punionica otoka Krka. Može se vidjeti kako je projektom iz 2016. godine inicijalno cijeli otok Krk pokriven punjačima. Odnosno punjači i njihova količina i jačina prate naselja i gustoću prometa što se vidi u sljedećoj tablici. Uz to je Krk jedini hrvatski otok s potpunom pokrivenošću električnim punjačima, pa se razvoj prometa otoka koncentrira u ekološkom smjeru.

Tablica 13. Popis i specifikacije punionica otoka Krka [38]

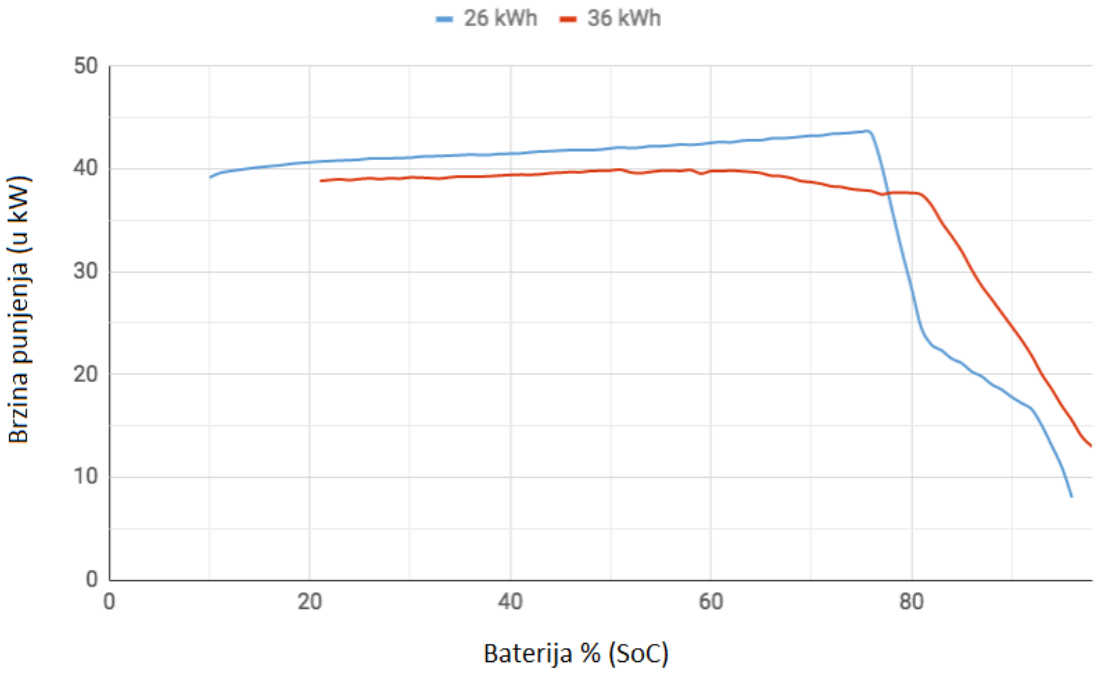
Stanice za prihvat i punjenje baterijskih spremnika otoka Krka					
Lokacija priključka	**Tip priključka**	**Nazvini napon [V]**	**Nazivna snaga [kW]**	**Nazivna struja [A]**	**Brzina punjena**
Zračna luka Rijeka	Tip 2	400	10	14	brzo
Zračna luka Rijeka	Tip 2	400	10	14	brzo
Omišalj	Tip 2	400	10	14	brzo
Omišalj	Tip 2	400	10	14	brzo
Šilo	Tip 2	400	10	14	brzo
Šilo	Tip 2	400	10	14	brzo
Dobrinj	Tip 2	400	10	14	brzo
Dobrinj	Tip 2	400	10	14	brzo
Malinska	Tip 2	400	22	32	brzo
Malinska	Tip 2	400	22	32	brzo
Vrbnik	Tip 2	400	10	14	brzo
Vrbnik	Tip 2	400	10	14	brzo
Krk	Tip 2	400	22	32	brzo
Krk	Tip 2	400	22	32	brzo
Krk	Tip 2	400	22	32	brzo
Krk	Tip 2	400	22	32	brzo
Punat	Tip 2	400	22	32	brzo
Punat	Tip 2	400	22	32	brzo
Baška	Tip 2	400	10	14	brzo

Stanice za prihvat i punjenje baterijskih spremnika otoka Krka					
Lokacija priključka	**Tip priključka**	**Nazvini napon [V]**	**Nazivna snaga [kW]**	**Nazivna struja [A]**	**Brzina punjena**
Baška	Tip 2	400	10	14	brzo
Baška	Tip 2	400	10	14	brzo
Baška	Tip 2	400	10	14	brzo

Tablica 13 prikazuje trenutni popis javnih stanica za prihvat i punjenje baterijskih spremnika kojima upravlja Trgovačko-komunalno društvo Ponikve eko otok Krk. Trenutno je električna energija iz njih besplatna. Iz tablice 13 se također uočava kako su sve stanice priključka tipa 2. Većina europskih proizvođača električnih vozila koristi tip 2 priključak na svojim vozilima i preporučen je od strane udruženja europskih proizvođača automobila (ACEA) kao standard za izmjenično punjenje. Sljedeća slika 31 prikazuje navedeni priključak tipa 2. Kao varijacija na prikazani priključak je priključak tip CCS koji ispod oblika priključka tipa 2 ima dvije igle koje služe za prijenos istosmjerne struje za brže punjenje baterija, no u vrijeme pisanja ovoga rada još nije niti jedan takav priključak instaliran na otoku. Različiti punjači i tipovi baterija i vozila imaju različitu brzinu punjenja baterija.

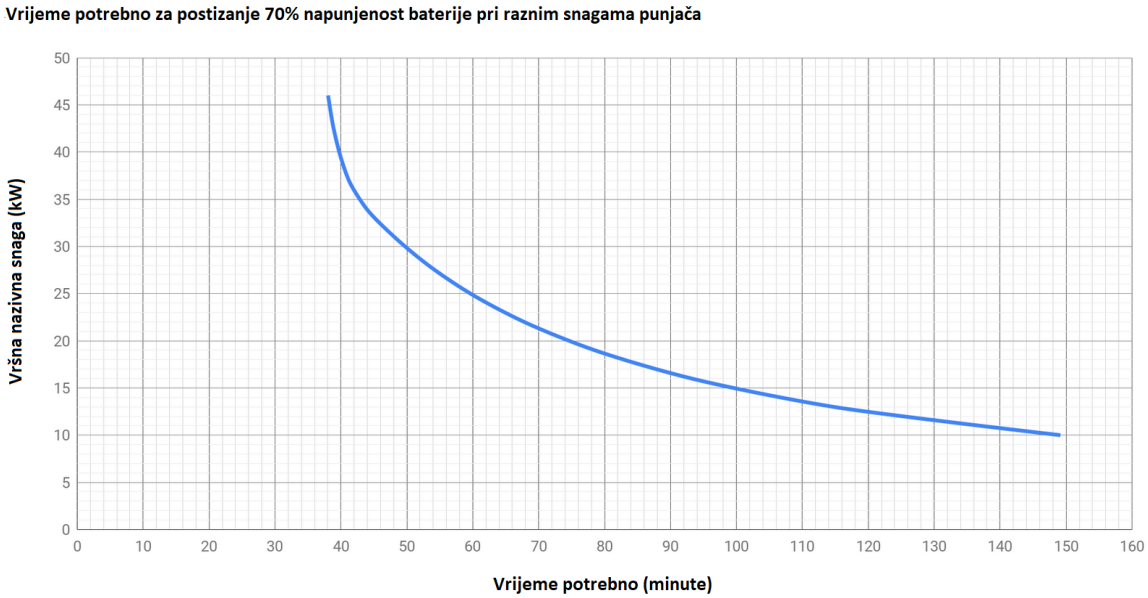


Slika 31. Priključak tipa 2 [40]



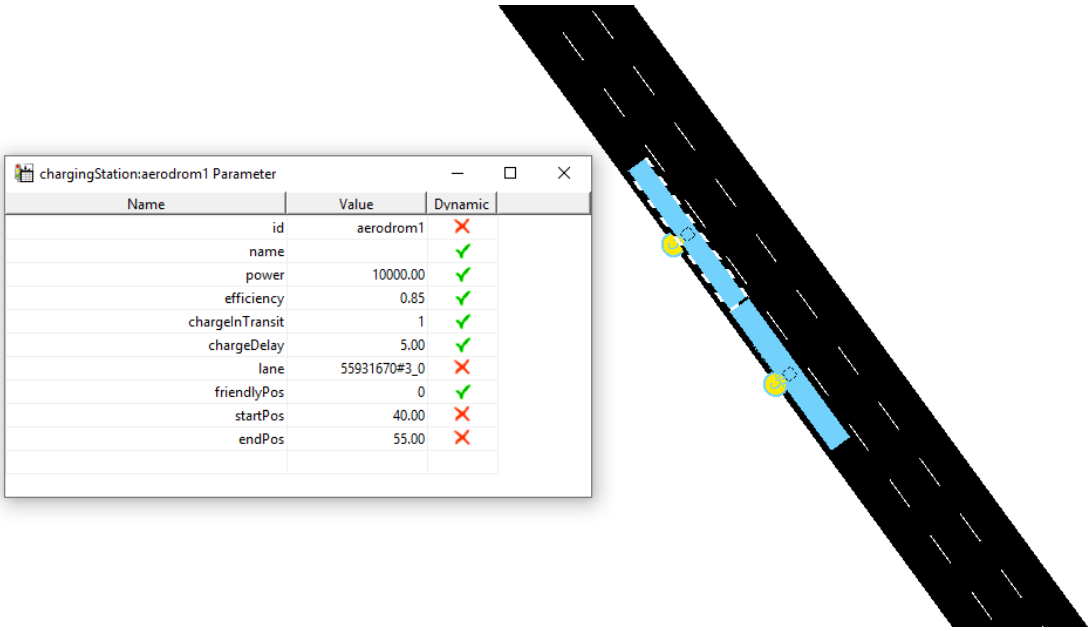
Slika 32. Krivulja brzine punjenja različitih baterijskih sklopova [41]

Slika 32 prikazuje brzinu punjenja baterija električnog vozila marke Volkswagen e-golf koji se koristi kao vozilo u simulaciji rada električnih osobnih vozila. Krivulje prikazane na slici 32 su dane kao primjer dva paketa baterija u vozilu. Jedna verzija vozila je opremljena baterijama kapaciteta 26kWh dok je druga opremljena baterijama kapaciteta 36kWh. Baterije kapaciteta 36 kWh su baterije novijeg modela vozila e-golf. Iz slike 32 se vidi kako se brzo punjnje baterija vozila odvija do određenog postotka napunjenosti, te nakon toga brzina punjenja naglo opada. Kako bi se zatim postigla potpuna napunjenost baterija potrebno je više vremena nego za postizanje 70 % - 80 % tne napunjenosti. Navedena karakteristika trenutno se odnosi na sva komercijalno dostupna električna vozila koja nudi tržište u Europi. Sljedeća slika prikazuje okvirno vrijeme punjenja baterija do 70% napunjenosti.



Slika 33. Krivulja brzine punjena baterijskog sklopa Nissan Leafa [41]

Slika 33 je dana za primjer novog modela Nissan Leafa iz 2018. godine i pokazuje brzinu punjenja baterija u ovisnosti o snazi punjača. Navedena brzina punjenja se odnosi od potpuno prazne baterije sve do 70 % – 80 %tne napunjenosti baterije. Nakon toga se punjenje usporava kao što je ranije spomenuto i potrebno je mnogo više vremena za postizanje potpune napunjenosti. Isto tako pridonose i uvijeti okoliša, odnosno temperatura zraka na brzinu punjenja. Krivulja se odnosi praktično na punjenje svih marki proizvođača električnih vozila, odnosno svi baterijski paketi se jednako ponašaju. Prikaz punionice u paketu SUMO je predočen na sljedeći način.

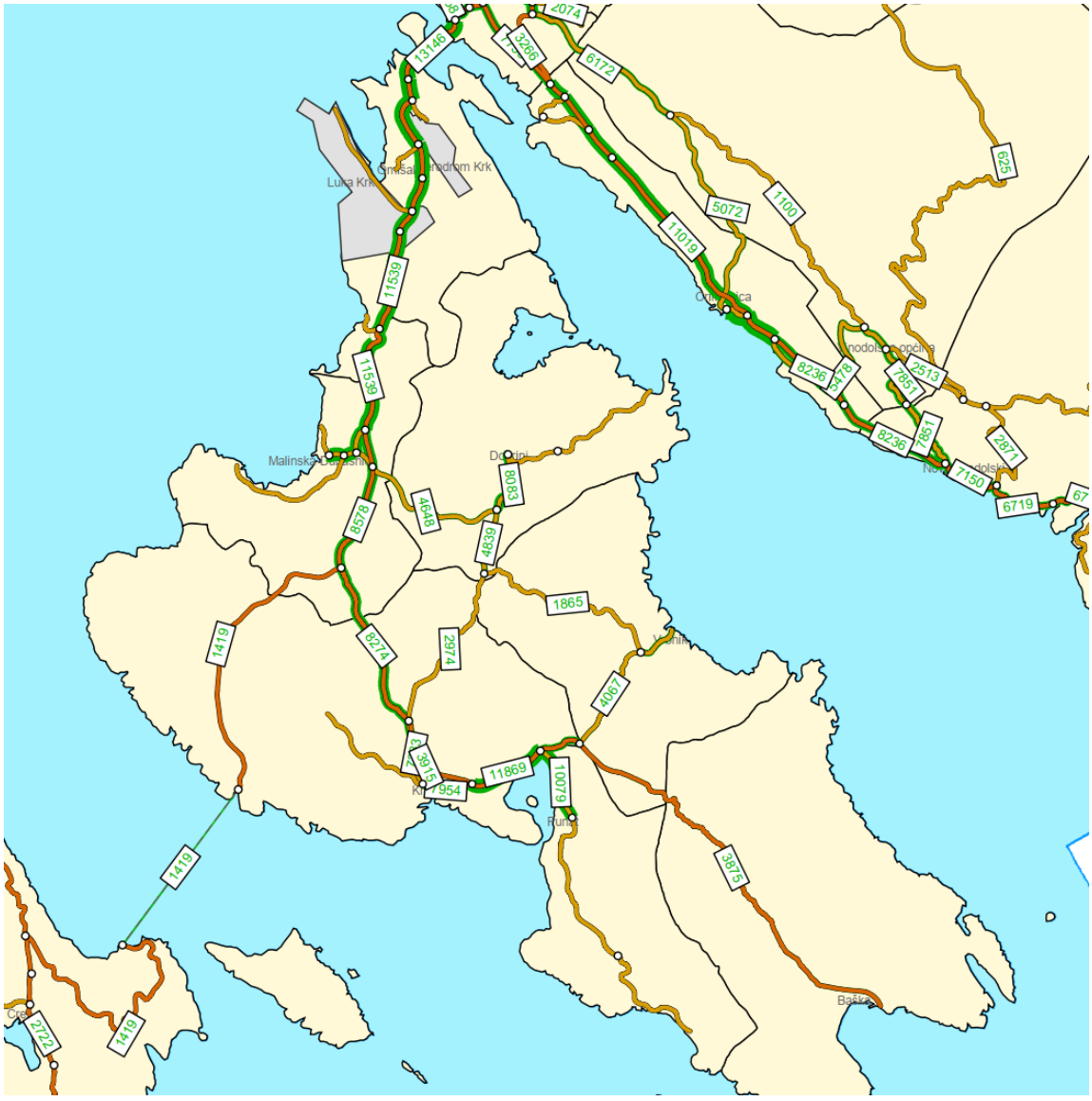


Slika 34. Grafički prikaz i parametri punionice električnom energijom u SUMO

Slika 34 prikazuje punionicu za električna vozila u programu netedit. Punionica se definira s parametrima lokacije, snage i efikasnosti. Prosječna efiskasnost punjača se kreće između 80% i 92% te će se u simulacijama pretpostaviti kako je efikasnost 85%. [42] Konkretna lokacija prikazane punionice na slici 34 je u zračnoj luci Rijeka i nazivne je snage 10 kW. Također je moguće odabrati da li punjač puni vozilo u pokretu, te koliki je vremenski odmak nakon pristizanja vozila do punjača i početka procesa punjenja.

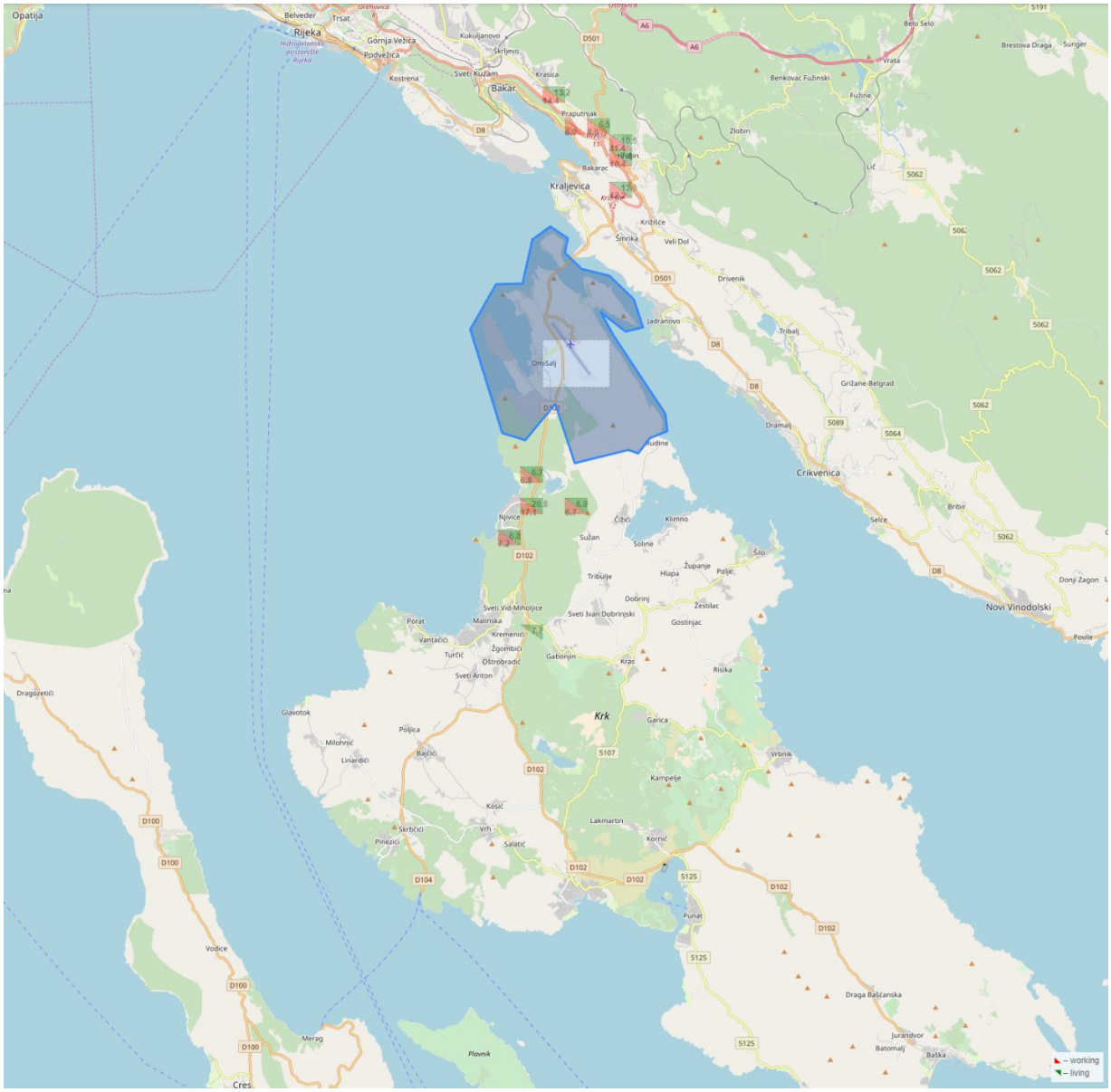
8. GENERIRANJE KRETANJA PO OTOKU KRKU – O/D MATRICA

Za prikaz simulacije, odnosno izračun vozila za simulaciju će poslužiti studija Instituta IGH rađena za Primorsko-goransku županiju koja uljučuje i otok Krk iz 2011. godine. Navedena opterećenja prometnica otoka iz studije su procjena temeljena na anketama ispitivanja i modelima u računalnom programu ViSim. Navedena opterećenja se skaliraju proporcionalno brojačima prometa čiji su podaci iz 2017. godine. Sljedeća slika 35 prikazuje broj vozila po prometnicama studije IGH.



Slika 35. Broj vozila po prometnicama otoka Krka po studiji Instituta IGH [43]

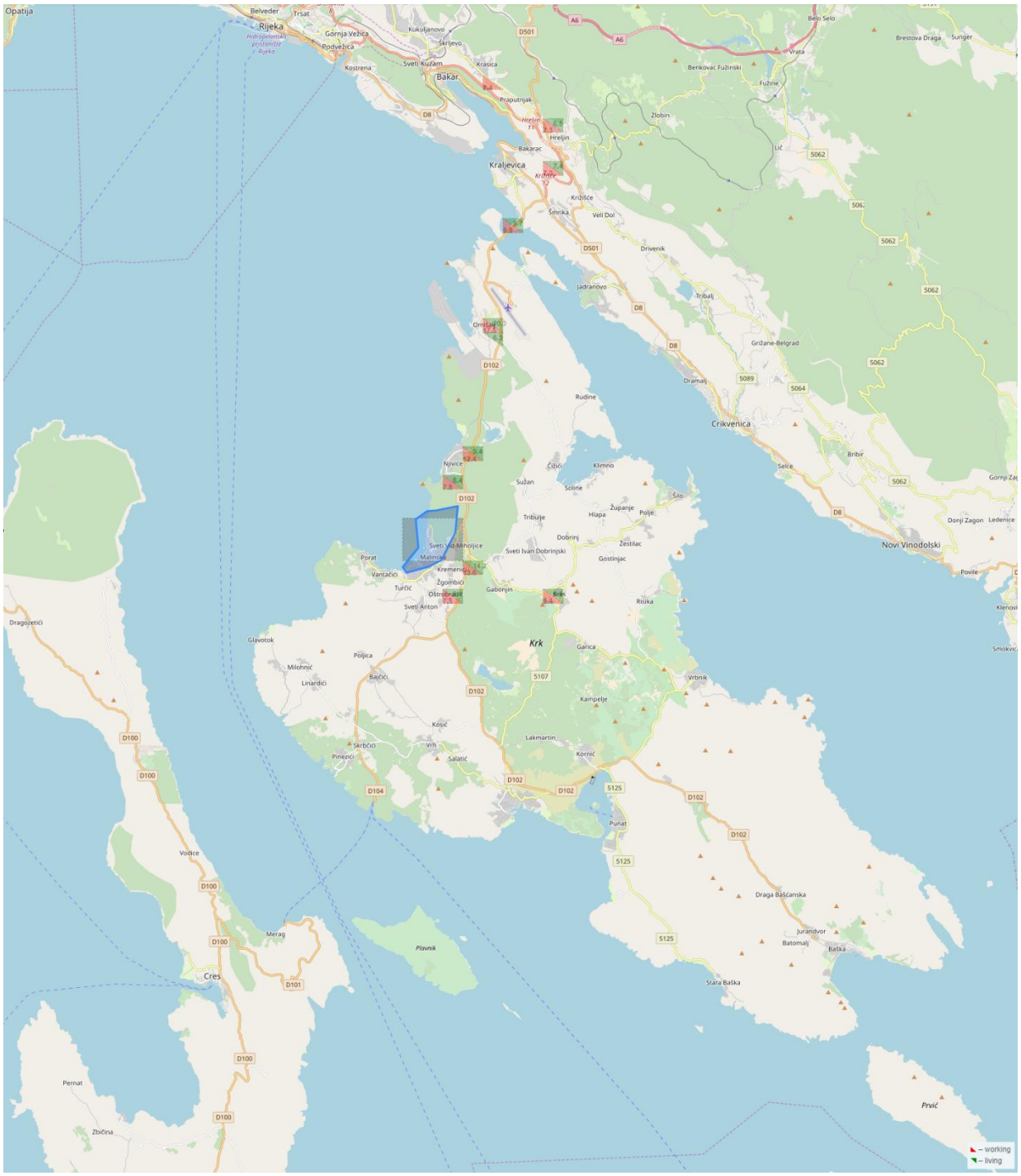
Nadalje kako bi se dobilo opterećenje prometnica, odnosno pravci kretanja vozila, potrebno je znati obrazac kretanja stanovništva. Kako je ranije navedeno, kretanja vozila se u simulaciji rada definiraju pomoću O/D matrice. Kako u ovome radu nisu provedene ankete stanovništva kako bi se dobili obrasci kretanja, primijenjen je drugačiji pristup. Dobiveni su podaci s baznih stanica mobilnog operatera Hrvatskog Telekoma. Hrvatski Telekom pokriva okvirno 50% baznih stanica otoka Krka. Bazne stanice primaju signale mobilnih telefona te pomoću algoritama obrađuju podatke o kretanju mobilnih uređaja. Pretpostavka je kako svaka osoba (u ovom radu vlasnik vozila) posjeduje vlastiti mobilni uređaj. Kako bi se zaštitila privatnost korisnika se pojedinačni mobilni uređaji grupiraju u veće skupine, te se time dobivaju kretanja pojedinih skupina. Dobivene su mape kretanja stanovništva za sljedeće lokacije: Baška, Grad Krk,Punat, Vrbnik, Malinska, i Omišalj. Podjela kretanja mapa je u postocima i ukupan zboj pojedinih kretnji je 100%. Navedena kretanja stanovništva, odnosno mape se odnose na vikend u mjesecu svibnju. Nadalje se podaci odnose na domaće i strane korisnike baznih stanica. Detaljnije to znači da se navedeni podaci odnose na hrvatske korisnike mobilnog operatera Hrvatskog Telekoma i strance koji se nalaze u „roamingu“ čiji se mobilni uređaji spajaju na mrežu Hrvatskog Telekoma. Kako su podaci iz vikenda u mjesecu svibnju gdje uz postojeće stanovnike dolaze i postjetitelji smatrati će se prosječnim godišnjim podacima i koristiti će se za izračun kao prosječan godišnji obrazac kretanja stanovništva. Sljedeće slike prikazuju kretanje stanovništva pomoću baznih stanica Hrvatskog telekoma. [44]



Slika 36. Kretanja stanovništva za naselje Omišalj [44]

Slika 36 prikazuje kretanje stanovništva i posjetioca iz i u mjesto Omišalj. Mjesto Omišalj, odnosno bazne stanice koje pokrivaju mjesto Omišalj su označene površinom plave boje. Sva kretanja sa slike 36 se odnose na kretanja iz označenog područja ili u označeno područje. Smjerovi kretanja su prema trokutima crvene ili zelene boje čiji svaki zbroj daje 100%. Crveni trokuti označavaju kretanja iz označene površine prema lokaciji crvenog trokuta. Zeleni trokuti označavaju kretnje od

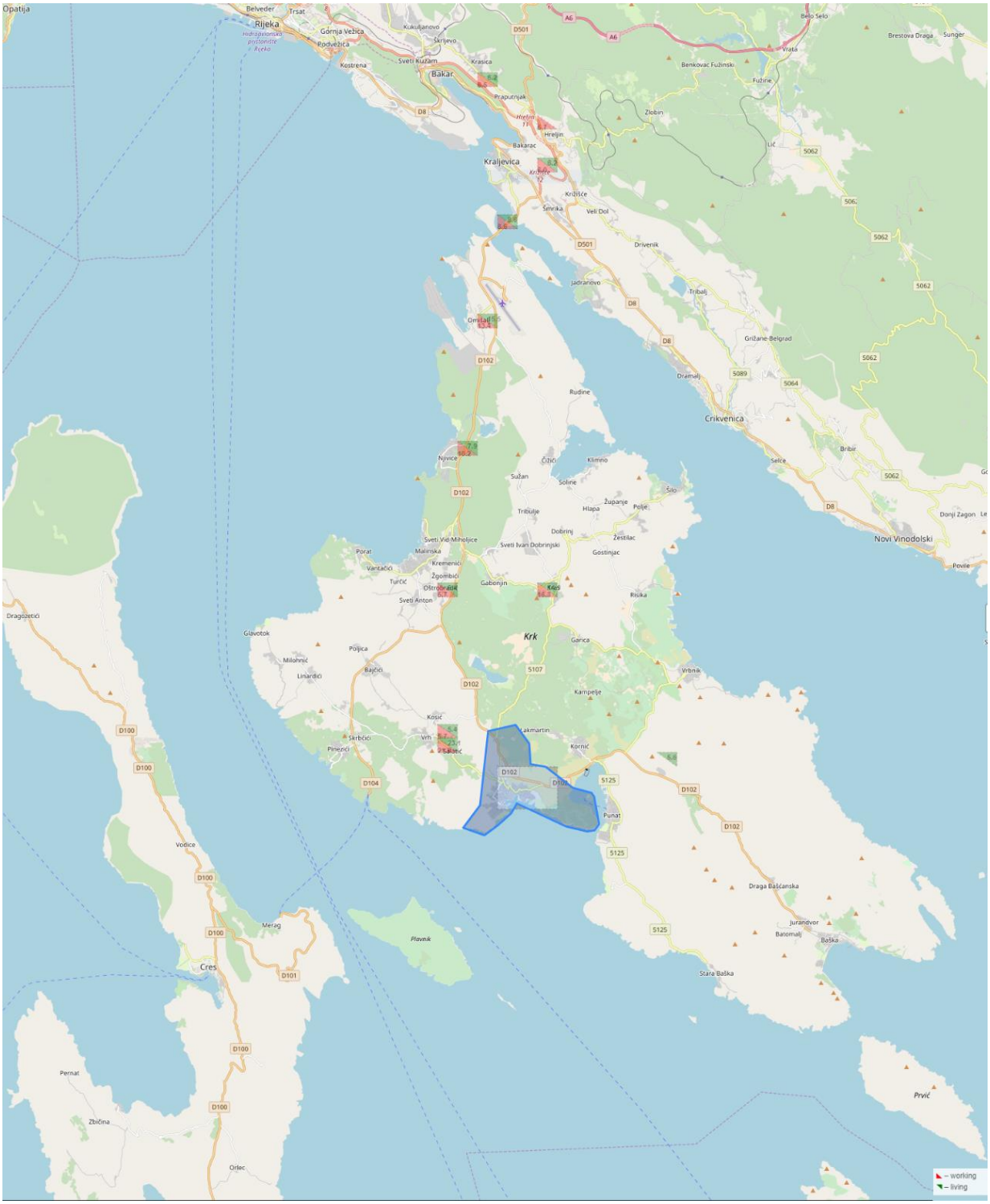
lokacije zelenog trokuta prema označenoj površini. Kretnja se bilježe na većem uzorku korisnika. Time se dobivaju lokacije gdje većina stanovništva i posjetioca gravitira u i iz označene površine. Na slici 36 prikazana površina pokriva Omišalj, zračnu luku Rijeka i naftni terminal Omišalj. Smjerovi kretanja su iz i u površinu prema mjestu Njivice i preko Krčkog mosta prema Rijeci. Kako se u radu promatra samo otok Krk se sve kretnje koje završavaju van otoka, odnosno na kopnu, smatraju završenim na krčkome mostu. U radu se kretnje stanovništva i posjetioca van otoka zanemaruju. Slijedeća slika 37 prikazuju kretanja stanovništva i posjetioca za mjesto Malinsku.



Slika 37. Kretanja stanovništva za naselje Malinska [44]

Na slici 37 su također prikazana kretanja iz ili u mjesto Malinska koja završavaju u okolici mjesta Malinska. Kretnje koje su usmjerene prema baznoj stanici Kraš se pretpostavaljaju kako se raspršuju prema mjestima Dobrinj i Šilo. Također se može zaključiti kako u mjesto Malinsku

gravitiraju okolna naselja, te kako u konačnici Malinska kao i cijeli otok Krk gravitira prema gradu Rijeci.



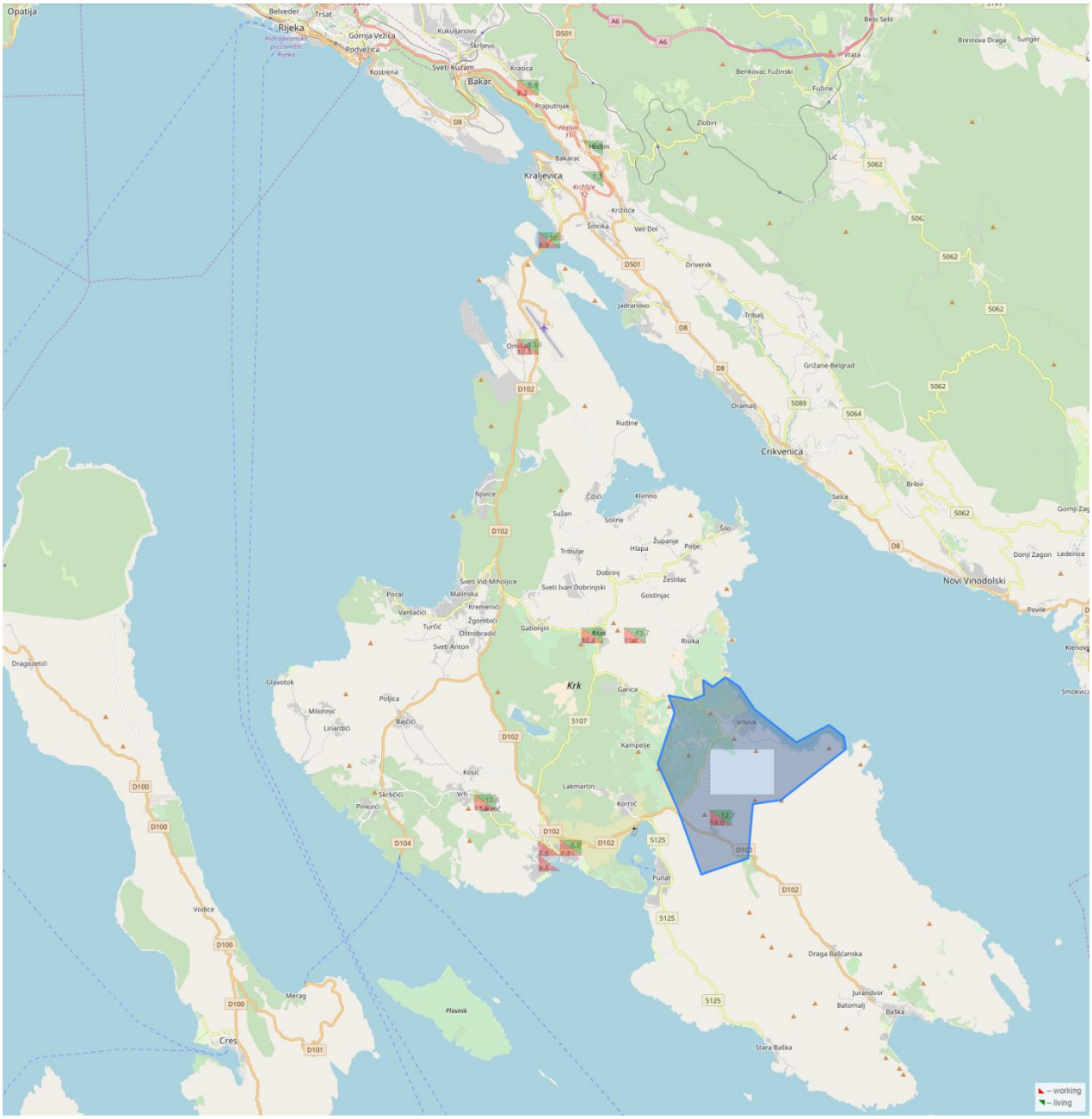
Slika 38. Kretanja stanovništva za grad Krk [44]

Slika 38 prikazuje kretanja iz ili u grad Krk. Uz već ranije prikazane lokacije kretanja stanovništva i posjetioca ovdje postoji i osjetan broj stanovnika iz mjesta Vrh, Salatić i Kosić koji gravitiraju gradu Krku. Bazna stanica na cesti D102 na križanju s cestom za mjesto Vrbnik, se pretpostavlja da su kretnje s odredištom u mjestu Vrbnik. Slijedeća slika 39 se odnosni na mjesto Punat.



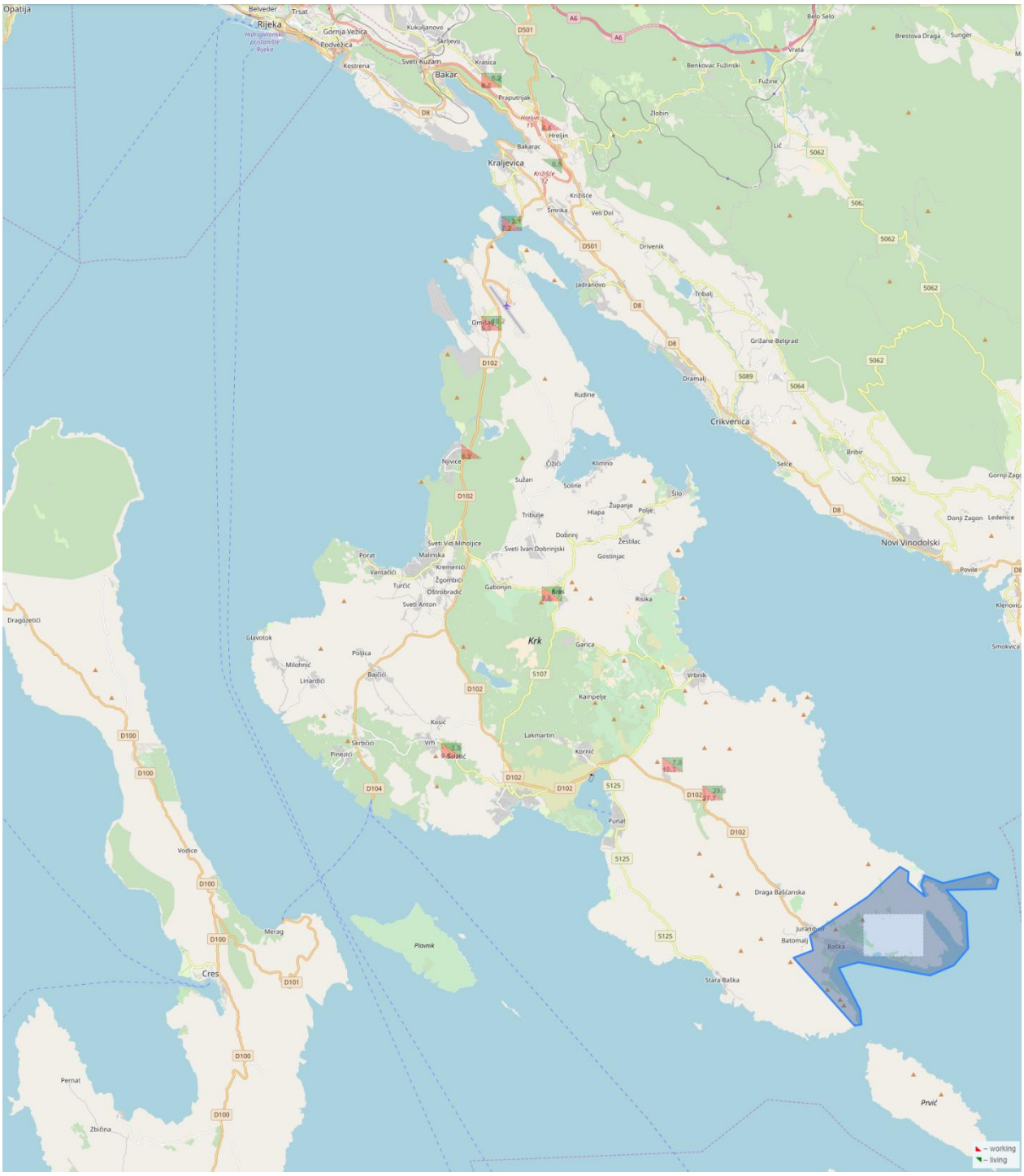
Slika 39. Kretanja stanovništva za naselje Punat [44]

Slika 39 prikazuje kretanja iz i u mjesto Punat. Iz priložene slike se može vidjeti kako većina stanovništva i posjetioca mjesta Punat gravitiraju prema gradu Krku, dok je ostatak kretnji raspršen sa završetkom ili početkom na svjerenom djelu otoka kao i izvan otoka.



Slika 40. Kretanja stanovništva za naselje Vrbnik [44]

Slika 40 prikazuje kretanja stanovništva iz ili u mjesto Vrbnik i njegovu bližu okolicu. Stanovništvo i posjetioci Vrbnika gravitiraju većinom gradu Krku, te ostatak kretnji je van otoka.



Slika 41. Kretanja stanovništva za naselje Baška [44]

Slika 41 prikazuje kretanja iz ili u mjesto Bašku. Kretanja su raspršena po cijelome otoku, odnosno baznim stanicama. Nadalje će se razjasniti pretpostavke kretanja osoba po baznim stanicama. Tablica 15 prikazuje smjer kretanja osoba i broj putovanja iz polazišta u odredište po redoslijedu

slika. Navedene kretnje se vežu na pretpostvaku korištenja vozila za ostvarivanje putovanja. Time je pomoću brojača prometa i studije Institura IGH [43] određena količina prometa na svakoj pojedinoj cesti otoka. Pri poznatim opterećenjima cesta su izračunata opeterećenja naselja. Označene površine iz slika 36, 37, 38, 39, 40, 41 se time smatraju izvorima ili ponorima prometa. Sve kretenje su iz u ili iz označene površine prema lokacijama prema slikama 36, 37, 38, 39,41. Služeći se navedenim pretpostavkama dolazi se do broja putovanja iz ili u svaku pojedinu površinu. Broj putovanja je prikazan u slijedećoj tablici 14.

Tablica 14. Broj putovanja za najveća naselja otoka Krka

Broj putovanja	
Naselje	**Broj putovanja**
Omišalj	428
Malinska	770
Grad Krk	2589
Punat	2271
Vrbnik	2521
Baška	1646

Nakon ukupnog broja putovanja iz svakog naselja u jednome smjeru, putovanja su raščlanjena na pojedina naselja, te sva odredišta određenog naselja, koja su prikazana u navedenim slikama 36, 37, 38, 39, 40, 41. Slijedeća tablica 15 daje navedena odredišta za naselja iz tablice 14. Uz navedena naselja još je dodano putovanja koje se odnosi na trajektnu luku Valbiska i zračnu luku Rijeka. Za trajektnu luku se u simulacijama pretpostavlja 400-tinjak putovanja, dok se za zračnu luku pretpostavlja 100-tinjak putovanja.

Tablica 15. Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Omišalj		
Polazište	**Odredište**	**Broj putovanja**
Omišalj	Krčki most	266
Omišalj	Njivice	162
Krčki most	Omišalj	219
Njivice	Omišalj	176
Malinska	Omišalj	33
Malinska		
Malinska	Krčki most	241
Malinska	Njivice	156
Malinska	Omišalj	135
Malinska	Kremenići	105
Malinska	Oštrobradić	23
Malinska	Sveti Anton	23
Malinska	Šilo	22
Malinska	Vrbnik	22
Malinska	Dobrinj	14
Malinska	Kraš	14
Malinska	Trajektna luka Valbiska	12
Omišalj	Malinska	205
Krčki most	Malinska	182

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Njivice	Malinska	137
Kremenići	Malinska	109
Oštrobradić	Malinska	26
Sveti Anton	Malinska	26
Šilo	Malinska	22
Vrbnik	Malinska	22
Dobrinj	Malinska	15
Kraš	Malinska	15
Trajektna luka Valbiska	Malinska	13
Grad Krk		
Grad Krk	Krčki most	694
Grad Krk	Vrh	570
Grad Krk	Omišalj	347
Grad Krk	Njivice	264
Grad Krk	Malinska	232
Grad Krk	Šilo	211
Grad Krk	Dobrinj	127
Grad Krk	Grad Krk	71
Grad Krk	Trajektna luka Valbiska	71
Vrh	Grad Krk	590
Krčki most	Grad Krk	544
Omišalj	Grad Krk	401

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Malinska	Grad Krk	245
Njivice	Grad Krk	205
Šilo	Grad Krk	193
Vrbnik	Grad Krk	145
Dobrinj	Grad Krk	116
Grad Krk	Grad Krk	74
Trajektna luka Valbiska	Grad Krk	74
Punat		
Punat	Grad Krk	916
Punat	Krčki most	327
Punat	Omišalj	250
Punat	Njivice	198
Punat	Šilo	108
Punat	Vrh	85
Punat	Trajektna luka Valbiska	85
Punat	Dobrinj	81
Punat	Malinska	81
Punat	Vrbnik	84
Punat	Baška	56
Grad Krk	Punat	867
Krčki most	Punat	327
Omišalj	Punat	316

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Njivice	Punat	152
Šilo	Punat	117
Vrbnik	Punat	93
Dobrinj	Punat	88
Malinska	Punat	88
Vrh	Punat	81
Trajektna luka Valbiska	Punat	81
Baška	Punat	62
Vrbnik		
Vrbnik	Grad Krk	804
Vrbnik	Krčki most	416
Vrbnik	Malinska	328
Vrbnik	Omišalj	272
Vrbnik	Punat	247
Vrbnik	Šilo	109
Vrbnik	Dobrinj	109
Vrbnik	Baška	106
Vrbnik	Vrh	58
Vrbnik	Trajektna luka Valbiska	58
Krčki most	Vrbnik	809
Malinska	Vrbnik	387
Grad Krk	Vrbnik	311

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Omišalj	Vrbnik	328
Punat	Vrbnik	224
Dobrinj	Vrbnik	129
Šilo	Vrbnik	129
Baška	Vrbnik	96
Vrh	Vrbnik	53
Trajektna luka Valbiska	Vrbnik	53
Baška		
Baška	Grad Krk	410
Baška	Krčki most	339
Baška	Punat	188
Baška	Omišalj	148
Baška	Njivice	135
Baška	Vrbnik	125
Baška	Malinska	50
Baška	Dobrinj	38
Baška	Šilo	38
Baška	Vrh	32
Baška	Trajektna luka Valbiska	32
Grad Krk	Baška	390
Krčki most	Baška	342
Punat	Baška	182

Broj putovanja po mjestima i njihova polazišta i odredišta		
Omišalj	Baška	168
Vrbnik	Baška	121
Malinska	Baška	53
Dobrinj	Baška	40
Šilo	Baška	40
Vrh	Baška	29
Trajektna luka Valbiska	Baška	29

Tablica 15 prikazuje broj putovanja unesenih u simulaciju trenutnog godišnjeg prosječnog dana prometa. Broj putovanja je raščlanjen po kategorijama vozila po slici 6. Krivulja opterećenja prometnica je izrađena po krivuljih brojača Hrvatskih cesta za mjesto Omišalj po slici 9.

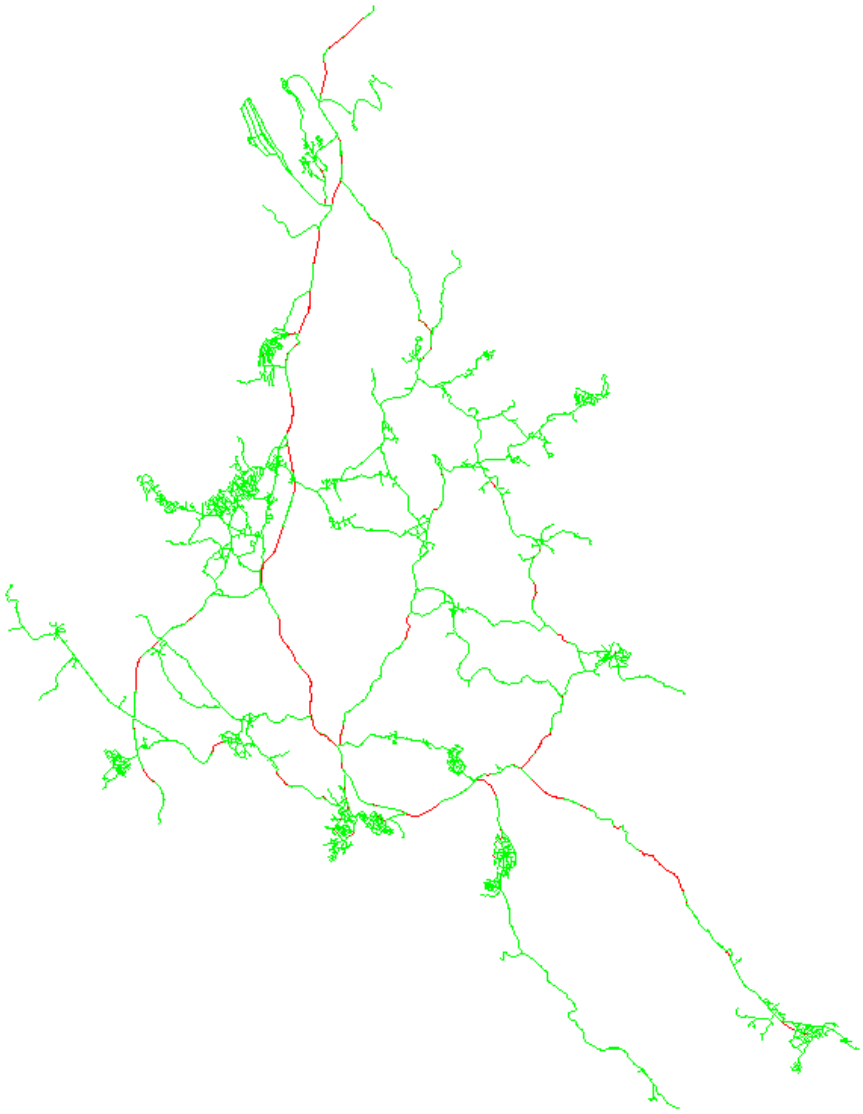


Slika 42. Jednodnevna krivulja opterećenja prometnica otoka Krka

Slika 42 prikazuje dnevnu krivulju opterećenja prometnica otoka Krka koja je korištena u simulacijama. Iz slike 42 se vidi kako je najveće opterećenje tijekom dana, te je vrhunac prijepodne.

Navedena krivulja može odstupati tijekom drugih dana u tjednu, no u ovome radu će se smatrati dovoljno točnom. Nadalje se sljedeće pretpostavke usvajaju u simulacijama. Svaki vremenski tijek jedne simulacije je 86400 sekundi (24 sata) počevši od ponoći pa do ponoći za jedan dan vikenda u mjesecu svibnju. Vozila kreću i završavaju različitim brzinima koje se nasumično generiraju ali odgovaraju zakonskom cestovnom ograničenju brzina. Na sve tipove vozila je također primjenjen algoritam odstupanja dozvoljene brzine kretanja vozila u pozitivnom i negativnom smjeru kako bi se što bliže simulirali realni uvjeti. Odnosno 95 % vozila se u simualciji kreće između 80% i 120 % ograničenja brzine.

9. SIMULACIJA PROSJEČNOG DANA U PROMETU OTOKA BEZ ELEKTRIČNIH VOZILA



Slika 43. Opterećenje prometnica za prosječan dnevni promet

Slika 43 prikazuje opterećenje prometnica otoka Krka u SUMO aplikaciji u 10 sati za prosječan godišnji promet bez električnih vozila. Navedeni trenutak dana je vrhunac opterećenja prometnica po slici 42. U navedenom trenutku su učitana 584 vozila koja se kreću kroz mrežu prometnica. Iz slike se može vidjeti kako najviše vozila koristi krčku magistralu za putovanja među naseljima, te je ona i tijekom dana najviše opterećena. U prikazu su prikazane i prometnice središta naseljenih

mjesta, no ona će se radi jednostavnosti analize kretanja vozila zanemariti. Prometnice su zadržane radi jednostavnijeg prikaza i shvaćanja reda veličine određenog naselja. Slijedeća tablica 16 prikazuje rezultate simulacije prosječnog dana u godini prometa otoka Krka bez električnih vozila.

Tablica 16. Simulacija prometa bez električnih vozila

Simulacija promet bez električnih vozila	
Broj osobnih vozila	19173
Broj motocikla	423
Broj autobusa	208
Broj teretnih vozila	1266
Prosjećna duljina prijeđenog puta	19,531 km
Vrijeme prosječnog puta	0:20:15
Prosječno vrijeme zastoja	0:00:03
Prosječna potrošnja osobnih vozila	1,98 l/put
Prosječna potrošnja motocikla	2,13 l/put
Prosječna potrošnja autobusa	8,36 l/put
Prosječna potrošnja teretnih vozila	6,71 l/put
Prosjek emitiranja CO	2,16 g/km
Prosjek emitiranja CO_2	237,45 g/km
Prosjek emitiranja HC	0,01 g/km
Prosjek emitiranja PM_x	0,01 g/km
Prosjek emitiranja NO_X	0,59 g/km

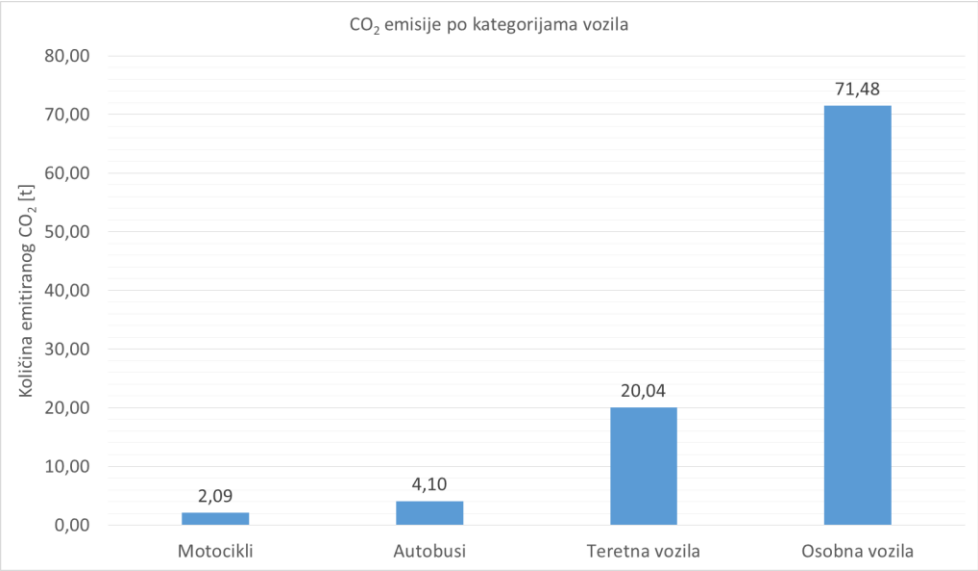
Tablica 16 prikazuje osnovne i prosječne podatke dobivene simulacijom vozila. Svi podaci se odnose samo na transport na otoku, te se u sustavu Krčki most i trajektna luka Valbiska smatraju kao granicama. Broj simuliranih vozila svih kategorija je 21070. U tablici 16 se uočava kako je

prosječan put vozila na otoku 19,531 km u trajanju od 20 minuta, što odgovara prosječnoj brzini od 58,59 km/h. Navedena brzina odgovara projeseku ograničenja vozila na otoku. Prosječno emitiranje emisija vozila se odnosi na ukupni sektor transporta svih kategorija. Pri pretpostavci gledanja transporta isključivo na otoku, lako se može zaključiti kako se navedena putovanja mogu elektrificirati radi relativno kratkog prosječnog prijeđenog puta i geografske konfiguracije otoka. Trenutna tehnologija, odnosno domet električnih vozila zadovoljava zahtjeve kretanja vozilom. Naselja otoka spajaju otvorene prometnice bez semafora što pogoduje efikasnosti električnih vozila. Ukupne emitirane emisije svih vozila dane su u slijedećoj tablici 17.

Tablica 17. Emitirane emisije štetnih plinova simulacije bez EV

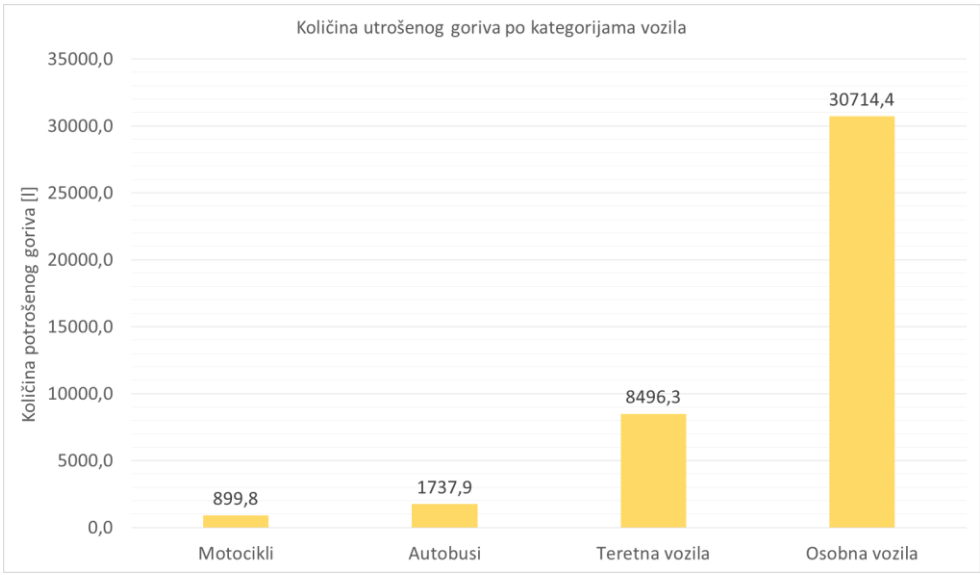
Emitirane emisije štetnih plinova bez EV	
Emisija	**Količina [t]**
CO	0,89
CO_2	97,72
HC	0,0055
PM_X	0,0054
NO_X	0,24

Tablica 17 prikazuje ukupne emitirane emisije ugljičnog monoksida (CO), ugljikogovog dioksida (CO_2), ugljikovodika (HC), dušičnih oksida (NO_x) i krutih čestica (PM_x). Kako je količina emitiranog CO_2 najveća, sljedeća slika 44 prikazuje raspodijelu emisija CO_2 po kategorijama vozila.



Slika 44. Emisije CO_2 po kategorijama

Iz slike 44 se vidi kako kategorija osobnih vozila emitira najveću količinu CO_2 što se svakako pripisuje najvećem broju vozila te kategorije, odnosno dominantnom udjelu u prometu u brojci od 19173 vozila od 21070 ukupnog broja. Pri pogledu koliko prosječno pojedino vozilo kategorije emitira CO_2 prednjače očekivano autobusi i teretna vozila. Utrošak goriva po kategorijama vozila dan je u slijedećoj slici 45.



Slika 45. Utrošak goriva po kategorijama vozila

Slika 45 prikazuje ukupnu potrošnju goriva po kategorijama vozila. Utrošak goriva prati dijagram emitiranja CO_2 te pokazuje jednaku preraspodijelu.

10. ELEKTRIFIKACIJA PROMETA

Pri odvijanju simulacija elektrifikacije prometa otoka Krka je korišteno nekoliko pretpostavki. Prvotno se primjenjuje simulacija prometa prosječanog dana u godini za koji je uzet dan vikenda u mjesecu svibnju. Na simulaciju prometa bez električnih vozila se dodaje udio električnih vozila. U 2017. godini je udio svjetskog prosjeka električnih vozila iznosio 0.3%. Navedeni udio će se smatrati valjanim. Kako bi se dobio točan broj putovanja elektrčnih vozila poslužila je simulacija bez EV. Sva navedena putovanja se množe faktorom koji iznosi 0.3% te se time dobivaju putovanja električnim vozilama. Time se dolazi do pretpostavke, kako će električna vozila najprije zamijeniti konvenciolna vozila na putovanjima najveće gustoće.

10.1. Elektrifikacija osobnih električnih vozila

Kategorija osobnih vozila je najveća kategorija vozila otoka Krka kojima se ostvaruje najviše putovanja. Množenjem svih putovanja osobnih vozila postotkom 0.3% se dobiju putovanja električnim osobnim vozilima. Putovanja koja se u proračunu ostvaraju u količini manje od jednog vozila se odbacuju, te se time električna vozila simuliraju samo na najprometnijim relacijama. U aplikaciji SUMO se također odabire lokacija punjenja pojedinog električnog vozila na pojedinom putovanju. Za lokacije punionica električnih vozila su uzete postojeće lokacije instaliranih punionca po slici 30. Također je simulacija provedena za postojeću količinu priključaka (22) i njihovu snagu (11 kW/ 22kW). Nadalje se za osobna električna vozila pretpostavlja kako se punjenje baterija vozila vrši prije polaska na put, osim na lokacijama polaska gdje nema punionica. Slijedeća tablica 18 prikazuje izračunati broj putovanja, odgovarajuća polazišta i odredišta električnih vozila, te lokaciju izbora za punjenje električnom energijom.

Tablica 18. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja

Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja			
Polazište	**Odredište**	**Broj putovanja**	**Lokacija punjenja**
Krčki most	Trajektna luka Valbiska	1	-
Trajektna luka Valbiska	Krčki most	1	-

Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja			
Baška	Krčki most	1	Baška
Baška	Punat	1	Baška
Baška	Grad Krk	1	Baška
Grad Krk	Baška	1	Grad Krk
Grad Krk	Baška	1	Grad Krk
Vrbnik	Grad Krk	2	Vrbnik
Vrbnik	Omišalj	1	Vrbnik
Vrbnik	Krčki most	1	Vrbnik
Vrbnik	Punat	1	Punat
Vrbnik	Malinska	1	Vrbnik
Omišalj	Vrbnik	1	Omišalj
Krčki most	Vrbnik	2	Vrbnik
Punat	Vrbnik	1	Punat
Malinska	Vrbnik	1	Malinska
Punat	Krčki most	1	Punat
Punat	Omišalj	1	Punat
Punat	Njivice	1	Punat
Punat	Grad Krk - Centar	1	Grad Krk
Punat	Grad Krk – Naselje 1	1	Punat
Punat	Grad Krk – Naselje 2	1	Punat
Punat	Grad Krk – Naselje 3	1	Punat
Krčki most	Punat	1	Punat

Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja			
Omišalj	Punat	1	Omišalj
Grad Krk - Centar	Punat	1	Grad Krk
Grad Krk – Naselje 1	Punat	1	Punat
Grad Krk – Naselje 3	Punat	1	Punat
Grad Krk	Krčki most	2	Grad Krk
Grad Krk	Omišalj	1	Grad Krk
Grad Krk	Njivice	1	Grad Krk
Grad Krk	Šilo	1	Grad Krk
Grad Krk	Vrh	2	Grad Krk
Krčki most	Grad Krk	1	Grad Krk
Omišalj	Grad Krk	1	Omišalj
Njivice	Grad Krk	1	Grad Krk
Šilo	Grad Krk	1	Grad Krk
Vrh	Grad Krk	2	Grad Krk
Malinska	Krčki most	1	Malinska
Omišalj	Malinska	1	Omišalj
Krčki most	Omišalj	1	Omišalj
Omišalj	Krčki most	1	Omišalj

U tablici 18 se može uočiti kako se sva putovanja odnose na količinu od jednog vozila osim na najfrekventnijim putovanjima kao što su relacije Vrbnik-Grad Krk, Punat – Grad Krk, Grad Krk – Krčki most ili Grad Krk – Vrh. Radi jednostavnosti simulacije električnih osobnih vozila odabrano

je vozilo marke Volkswagen e-Golf sa specifikacijama koje su prikazane u slijedećoj tablici 19 koja obavlja sva navedena putovanja tablice 18.

Tablica 19. Specifikacije vozila Volkswagen e-golf [25]

Specifikacije vozila Volkswagen e-golf	
Duljina	427 cm
Širina	180 cm
Visina	145 cm
Težina	1540 kg
Snaga	100 kW
Kapacitet baterije	35,8 kWh
Otpor zraka	0,28
Maksimalna brzina	150 km/h

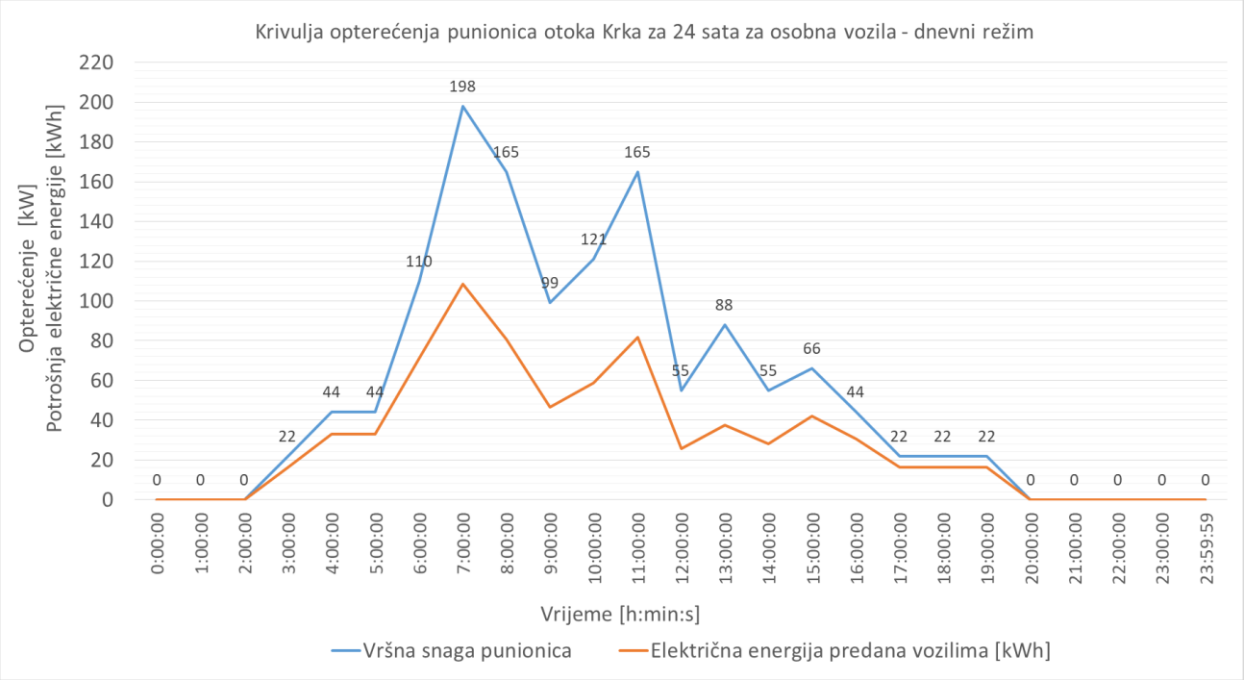
Primjenjujući sve navedene ulazne podakte pomoću aplikacije SUMO dobiveni su slijedeći izlazni podaci. Rezultati se odnose isključivo na kategoriju osobnih električnih vozila, odnosno simulaciju vozilom Volkswagen e-Golf.

Tablica 20. Simulacija prometa s osobnim električnim vozilima

Simulacija prometa s osobnim električnim vozilima	
Udio električnih vozila u putovanjima	0,3%
Broj osobnih električnih vozila	47
Prosječna duljina prijeđenog puta	20,02km
Vrijeme trajanja prosječnog puta	0:20:09
Prosječno vrijeme punjenja	0:32:28
Napunjenost baterije prije polaska	60% (21,48 kWh)
Prosječna razina napunjenost baterije	24,781 kWh
Najmanja razina napunjenosti baterije	3,78 kWh
Najveća razina napunjenosti baterije	35,8 kWh
Prosječna potrošnja električne energije po putovanju	2,55 kWh/put
Prosječna potrošnja električne energije na 100 km	12,77 kWh/100km
Ukupno potrošena električna energija vozila	120,021 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	386,043 kWh

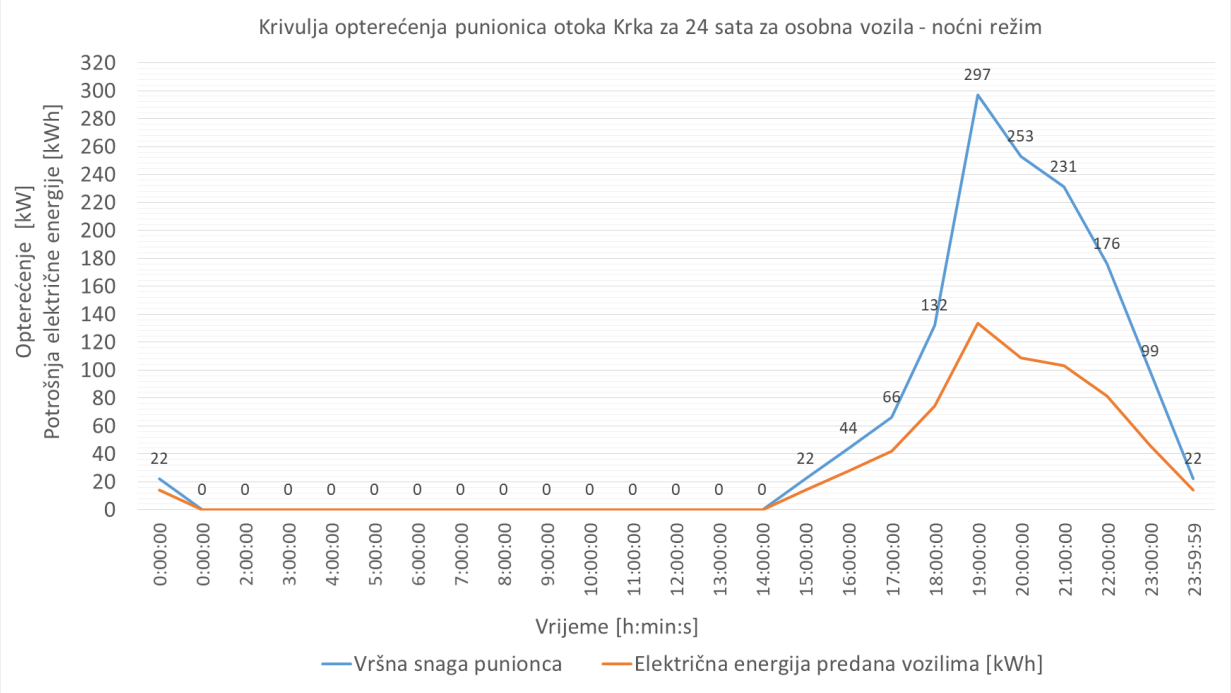
Kako bi se punionice optimalno iskoristile potrebno je odabrati vrijeme punjenja pojedinog vozila. Aplikacija teleportira vozilo pri predugom čekanju vozila ispred punjača radi punjenja drugoga vozila, što se može poistovjetiti s odustajanjem od punjenja, odnosno zauzetošću punionice. Pri duljini punjenja od 75 minuta broj teleportacija, odnsono odustajanja vozila od punjenja je 16. Pri duljini punjenja od 60 minuta brojka iznosi 12 vozila, dok pri trajanju punjenja od 35 minuta broj odustajanja vozila iznosi 2. Pri prosječnom trajanju punjenja vozila u duljini od 32 minute ne dolazi do odustajanja drugih vozila, te se sva vozila mogu pomoću trenutnih 11 lokacija, odnosno 22 punjača puniti. Navedenim režimom punjenja vozila se zadovljava količina potrebne električne energije za prijeđeni put. Potrebna količina električne energije iznosi 120 kWh, dok su vozila napunjena s 386 kWh električne energije što odgovara iznosu koji je 3 puta veći od potrebnoga.

Ovdje treba naglasiti kako navedeni režim punjenja odgovara za prosječan dan godine, te potrebna električna energije može varirati s obzirm na doba godine. Isto tako je napunjenost baterija u simulacijama odabrana pretpostavkom, te ona svakako u realnim uvjetima varira po pojedinim vozilima. Slijedeća slika 46 prikazuje krivulju opterećenja punionica kao i predanu električnu energiju vozilima za dnevni režim punjenja.



Slika 46. Krivulja opterećenja za osobna vozila za dnevni režim

Slika 46 prikazuje krivulju opterećenja i predanu električnu energiju za sve punionice na otoku Krku za simulaciju 47 osobnih električnih vozila po potrebama opterećenja otoka Krk prema slici 42. Krivulja se odnosi na dnevni režim punjenja, odnosno većina vozila se puni neposredno prije polaska na put. Sljedeća slika 47 prikazuje krivulju opterećenja i predanu električnu energiju za sve punionice za noćni režim punjenja. Količina predane električne energije vozilima je u obje krivulje jednaka. Vršna snaga odnosno opterećenje elektroenergetske mreže se razlikuje za dnevni i noćni režim.



Slika 47. Krivulja opterećenja za osobna vozila za noćni režim

Krivulja slike 47 je dobivena na način da se sva vozila stavljaju na punjenje s vremenskim odmakom. Vremenski odmaci koji su korišteni iznose 6, 8 ili 12 sati. Odabir vremenskog odmaka je biran na način da vozilo započinje punjenje u večernjim satima, te da se puni tijekom večeri ili tijekom noći.

10.2. Elektrifikacija autobusa

Za simulaciju električnih autobusa su korištene sve navedene pretpostavke kao i za osobna električna vozila. Uz navedene pretpostvake se dobiju putovanja električnim autobusima na najprometnijim relacijama koje prikazuje slijedeća tablica 21. Jedina različita pretpostavka, odnosno ulazni parametar je taj da se vozila pune uvijek na odredištu, osim u slučaju kada odredište nema punionicu po slici 30.

Tablica 21. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja za električne autobuse

Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja za električne autobuse			
Polazište	**Odredište**	**Broj putovanja**	**Lokacija punjenja**
Krčki most	Trajektna luka Valbiska	1	-
Trajektna luka Valbiska	Krčki most	1	-
Baška	Krčki most	1	Baška
Baška	Grad Krk	1	Grad Krk
Krčki most	Baška	1	Baška
Vrbnik	Grad Krk	1	Grad Krk
Vrbnik	Krčki most	1	Vrbnik
Vrbnik	Malinska	1	Malinska
Omišalj	Vrbnik	1	Vrbnik
Krčki most	Vrbnik	1	Vrbnik
Malinska	Vrbnik	1	Vrbnik
Punat	Krčki most	1	Punat
Krčki most	Punat	1	Punat
Omišalj	Punat	1	Punat
Grad Krk	Krčki most	1	Grad Krk
Grad Krk	Omišalj	1	Omišalj
Grad Krk	Vrh	1	Grad Krk
Krčki most	Grad Krk	1	Grad Krk
Omišalj	Grad Krk	1	Grad Krk
Vrh	Grad Krk	1	Grad Krk

Električni autobus je na svim putovanjima iste marke. Uneseno je vozilo marke Volvo 7900 Electric čije su specifikacije dane u slijedećoj tablici 22. Masa vozila u svim simulacijama je uzeta kao maksimalna. Odnosno svako vozilo je pod punim opterećenjem i nosivošću.

Tablica 22. Specifikacije vozila Volvo 7900 Electric [45]

Specifikacije vozila Volvo 7900 Electric	
Duljina	12000 cm
Širina	255 cm
Visina	328 cm
Težina	18000 kg
Snaga	160 kW
Kapacitet baterije	76 kWh
Otpor zraka	0,65
Maksimalna brzina	80 km/h

Primjenjujući navedene ulazne podakte pomoću aplikacije SUMO dobiveni su slijedeći izlazni podaci za električne autobuse.

Tablica 23. Simulacija električnih autobusa

Simulacija električnih autobusa	
Udio električnih vozila u putovanjima	0,3%
Broj električnih autobusa	19
Prosječna duljina prijeđenog puta	25,35 km
Vrijeme trajanja prosječnog puta	0:27:41
Prosječno vrijeme punjenja	0:45:00 (1:30:00)

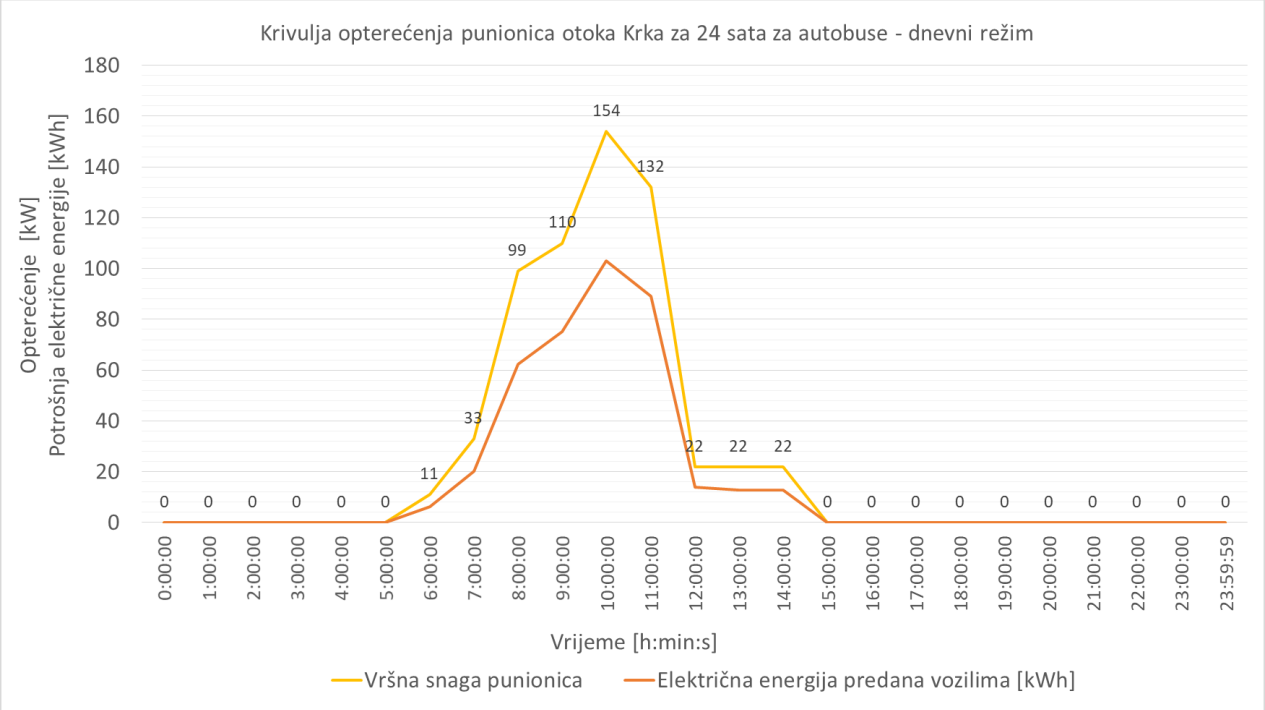
Simulacija električnih autobusa	
Napunjenost baterije prije polaska	100% / 50% (76 kWh / 38 kWh)
Prosječna razina napunjenost baterije	48,550 kWh
Najmanja razina napunjenosti baterije	0,359 kWh
Najveća razina napunjenosti baterije	76 kWh
Prosječna potrošnja električne energije po putovanju	31,85 kWh/put
Prosječna potrošnja električne energije na 100 km	125,64 kWh/100km
Ukupno potrošena električna energija vozila	664,823 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	191,883 kWh

Tablica 23 prikazuje rezultate simulacije za električne autobuse. Napunjenost baterija od 100%, pretpostavljena je za sva putovanja koja punjenje baterija obaljaju na cilju, dok vozila koja pune baterije na startu imaju napunjenost baterija od 50%. Vozila koja se pune na cilju se pune u trajanju od 45 minuta, dok se vozila koja se puna na startu, pune u trajanju od 90 minuta. Navedenim režimom punjenja vozila se ne zadovljava količina potrebne električne energije za prijeđeni put. Potrebna količina električne energije iznosi 664,823 kWh, dok su vozila napunjena s 191,9 kWh električne energije. Slijedeći uvjeti prikazani u tablici 24 prikazuju način zadovljavanja potreba električnih autobusa električnom energijom.

Tablica 24. Pokrivanje energetskih potreba električnih autobusa

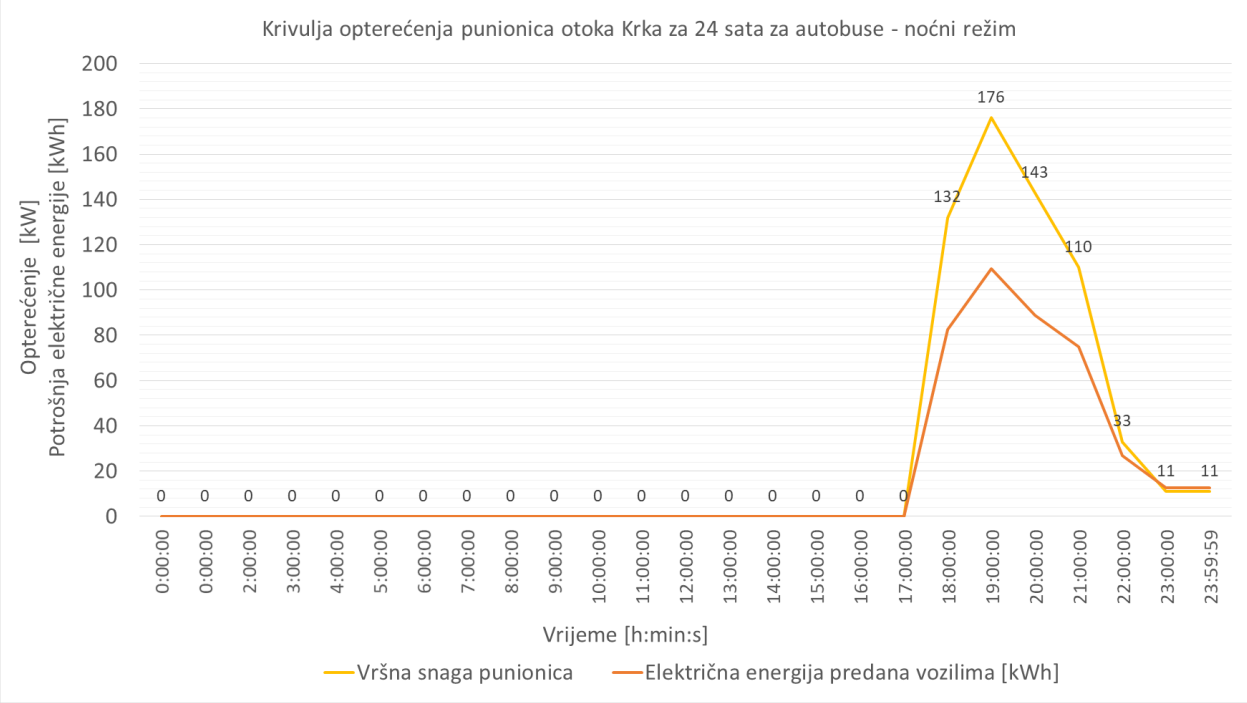
Pokrivanje energetskih potreba električnih autobusa	
Snaga punionica (priključaka)	44 kW
Napunjenost baterije prije polaska	100% / 50% (76 kWh / 38 kWh)
Prosječno vrijeme punjenja	1:00:00 (1:30:00)
Ukupno potrošena električna energija vozila	664,823 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	690,255 kWh

Tablica 24 prikazuje pokrivanje energetskih potreba električnih autobusa za realizaciju navedenih putovanja. Broj priključaka je jednak, odnosno simulacija je izvršena za 11 punionica. Razlika naspram obične simulacije električnih autobusa je vrijeme punjenja i snaga punionica. Snaga svakog priključka punionice je podignuta s 11 ili 22 kW na 44 kW što odgovara maksimalnoj snazi priključka tipa 2. Nadalje je vrijeme trajanja punjenja produljeno s 45 minuta na 60 minuta. Navedenim promjenama se zadovljajvaju potrebe električnih autobusa. Treba ovdje napomenuti kako je pokrivanje potreba navedenih u tablici 24 dano kao primjer potrebnih uvjeta za ispuvanjanje cilja dovoljnog punjenja baterija električnom energijom. Pri izradi krivulja opterećenja su uzeti podaci iz tablice 23, odnosno izrađene su za postojeću infrastrukturu i zadano vrijeme punjenja. Slijedeća slika 48 prikazuje krivulju opterećenja punionica kao i predanu električnu energiju vozilima za dnevni režim punjenja.



Slika 48. Krivulja opterećenja za autobuse za dnevni režim

Slika 48 prikazuje krivulju opterećenja i predanu električnu energiju za sve punionice na otoku Krku za simulaciju 19 električnih autobusa po potrebama opterećenja otoka Krk prema slici 42. Krivulja se odnosi na dnevni režim punjenja.



Slika 49. Krivulja opterećenja za autobuse za noćni režim

Slika 49 prikazuje krivulju opterećenja i predane električne energije za sve punionice na otoku Krku za noćni režim punjenja. Način izrade krivulje i izračun vremenskih odmaka je jednak kao i za sliku 47.

10.3. Elektrifikacija teretnih vozila

U simulaciji električnih teretnih vozila su također korištene pretpostavke kao i u ranijim simulacijama. Navedena putovanja električnih teretnih vozila su dobivena na jednaki način kao i za osobna vozila i autobuse. Za električna teretna vozila se također pretpostavlja kako se pune uvijek na odredištu, osim u slučaju kada odredište nema punionicu po slici 30. Slijedeća tablica 25 prikazuje putovanja, polazišta, odredišta kao i lokacije punjenja.

Tablica 25. Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja za električna teretna vozila

Matrica polazišta i odredišta i lokacija punjenja			
Polazište	**Odredište**	**Broj putovanja**	**Lokacija punjenja**
Krčki most	Trajektna luka Valbiska	1	-
Trajektna luka Valbiska	Krčki most	1	-
Baška	Krčki most	1	Baška
Krčki most	Baška	1	Baška
Vrbnik	Grad Krk	1	Grad Krk
Vrbnik	Krčki most	1	Vrbnik
Krčki most	Vrbnik	1	Vrbnik
Malinska	Vrbnik	1	Vrbnik
Grad Krk	Krčki most	2	Grad Krk
Grad Krk	Omišalj	1	Omišalj
Grad Krk	Vrh	1	Grad Krk
Krčki most	Grad Krk	1	Grad Krk
Omišalj	Grad Krk	1	Grad Krk
Vrh	Grad Krk	1	Grad Krk

Električno teretno vozilo je na svim putovanjima iste marke. Uneseno je vozilo marke EForce EF18 čije su specifikacije dane u slijedećoj tablici 26. Masa vozila u svim simulacijama je uzeta kao maksimalna. Odnosno svako vozilo je pod punim opterećenjem i nosivošću.

Tablica 26. Specifikacija vozila EForce EF18 [46]

Specifikacije vozila EForce EF18	
Duljina	11000 cm
Širina	245 cm
Visina	400 cm
Težina	44000 kg
Snaga	440 kW
Kapacitet baterije	190 kWh
Otpor zraka	0,65
Maksimalna brzina	80 km/h

Primjenjujući navedene ulazne podakte pomoću aplikacije SUMO dobiveni su slijedeći izlazni podaci za električna teretna vozila.

Tablica 27. Simulacija električnih teretnih vozila

Simulacija električnih teretnih vozila	
Udio električnih vozila u putovanjima	0,3%
Broj električnih teretnih vozila	15
Prosječna duljina prijeđenog puta	25,89 km
Vrijeme trajanja prosječnog puta	0:25:16
Prosječno vrijeme punjenja	2:00:00
Napunjenost baterije prije polaska	100% / 70% (190 kWh / 133 kWh)
Prosječna razina napunjenost baterije	145,807 kWh
Najmanja razina napunjenosti baterije	21,729 kWh
Najveća razina napunjenosti baterije	190 kWh

Simulacija električnih teretnih vozila	
Prosječna potrošnja električne energije po putovanju	31,85 kWh/put
Prosječna potrošnja električne energije na 100 km	125,64 kWh/100km
Ukupno potrošena električna energija vozila	971,779 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	363,333 kWh

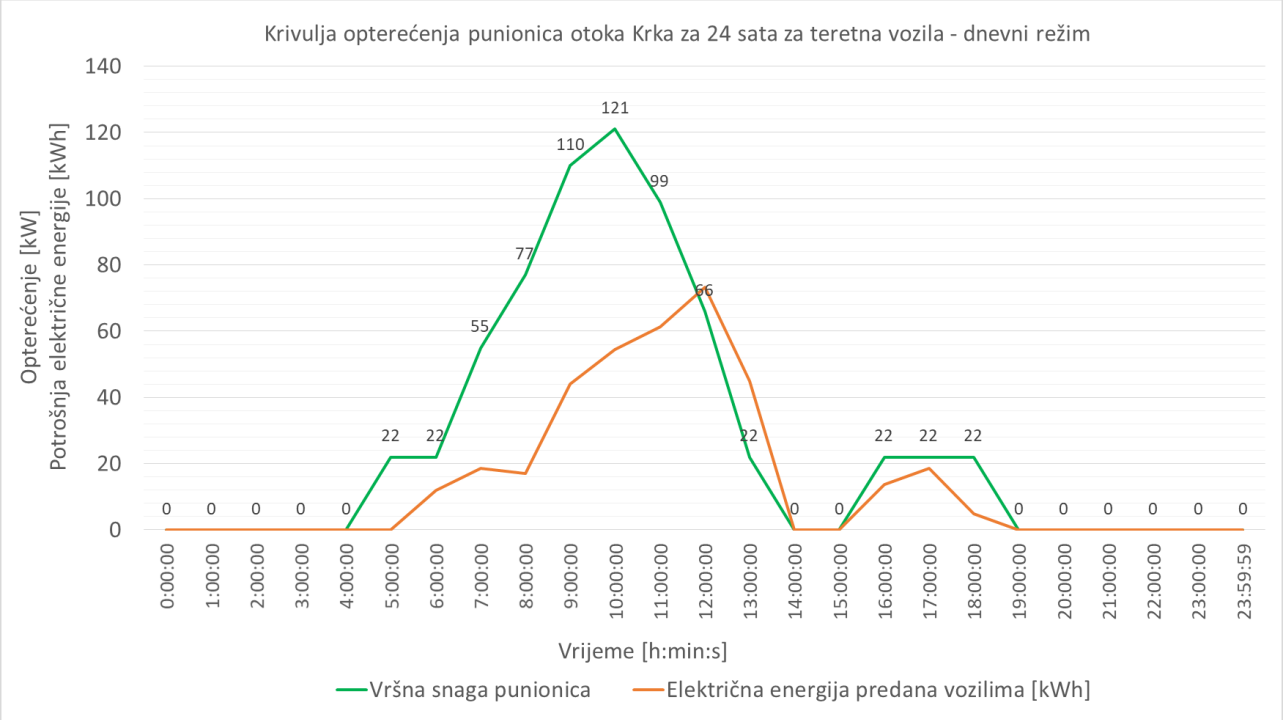
Tablica 27 prikazuje rezultate simulacije za električna teretna vozila. Napunjenost baterija od 100%, pretpostavljena je za sva putovanja koja punjenje baterija obaljaju na cilju, dok vozila koja pune baterije na startu imaju napunjenost baterija od 70%. Vrijeme punjenja za sva vozila je određeno na 2 sata. Navedenim režimom punjenja vozila se ne zadovljava količina potrebne energije za prijeđeni put. Potrebna količina električne energije iznosi 971,8 kWh, dok su vozila napunjena s 363,3 kWh električne energije. Sljedeći uvjeti prikazani u tablici 28 prikazuju način zadovljavanja potreba vozila električnom energijom.

Tablica 28. Pokrivanje energetskih potreba električnih teretnih autobusa

Pokrivanje energetskih potreba električnih teretnih vozila	
Snaga punionica (priključaka)	44 kW
Napunjenost baterije prije polaska	100% / 70% (190 kWh / 133 kWh)
Prosječno vrijeme punjenja	2:00:00
Ukupno potrošena električna energija vozila	971,779 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	973,247 kWh

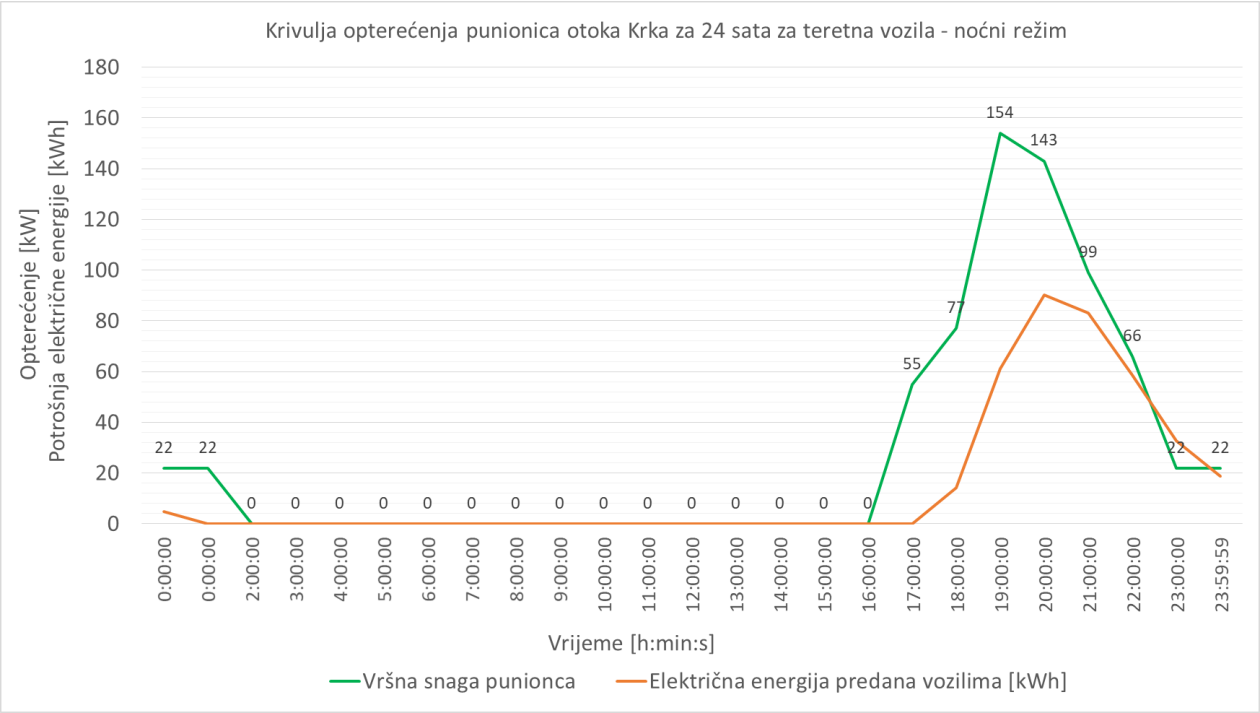
Tablica 28 prikazuje pokrivanje energetskih potreba električnih teretnih vozila za realizaciju navedenih putovanja. Broj priključaka je jednak, odnosno simulacija je također izvršena za 11 punionica. Promjena u odnosu na simulaciju u tablici 27 je snaga priljučaka, odnosno punionica. Snaga iznosi 44 kW po priključku, te se navedenim promjenama zadovljajvaju potrebe električnih

teretnih vozila. Slijedeći dijagram prikazuje krivulju opterećenja punionica kao i predanu električnu energiju vozilima za dnevni režim punjenja. Krivulje su također izrađene po podacima tablice 27. Odnosno kao i za električne autobuse, tako i za električna teretna vozila, se sljedeće krivulje odnose za postojeću infrastrukturu i zadano vrijeme punjenja.



Slika 50. Krivulja opterećenja za teretna vozila za dnevni režim

Slika 50 prikazuje krivulju opterećenja i predanu električnu energiju za sve punionice na otoku Krku za simulaciju 15 električnih teretnih vozila po potrebama opterećenja otoka Krk prema slici 42. Krivulja se odnosi na dnevni režim punjenja.

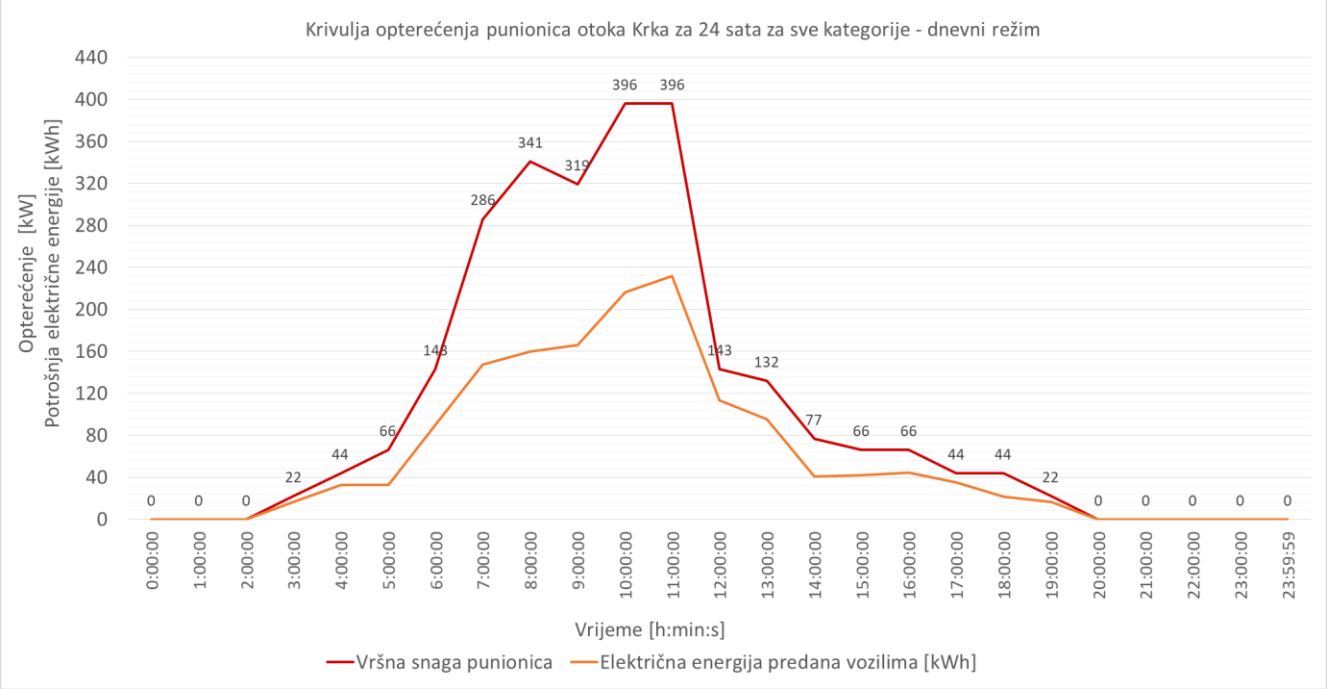


Slika 51. Krivulja opterećenja za teretna vozila za noćni režim

Slika 51 prikazuje krivulju opterećenja i predane električne energije za sve punionice na otoku Krku za noćni režim punjenja. Način izrade krivulje i izračun vremenskih odmaka je jednak kao i za sliku 47.

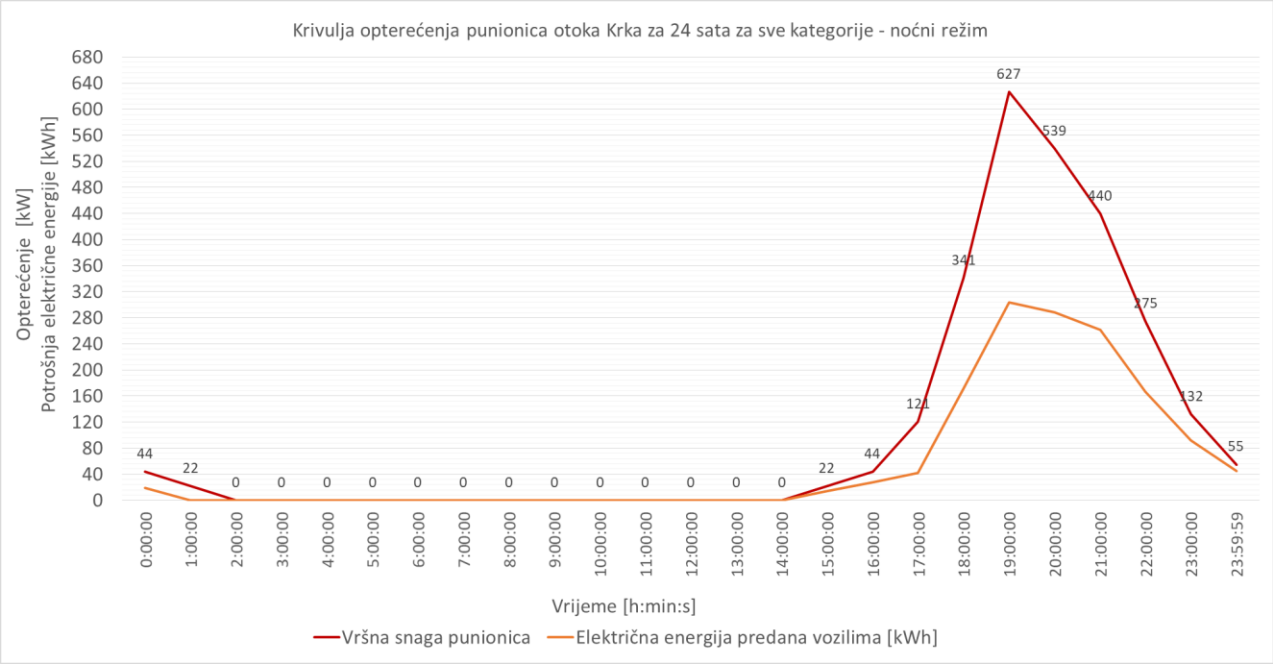
10.4. Krivulje opterećenja za sve kategorije

Krivulja opterećenja za sve kategorije je dobivena zbrojem krivulja za osobna i teretna električna vozila, te električne autobuse. Slijedeća slika 52 prikazuje krivulju opterećenja punionica kao i predanu električnu energiju vozilima za dnevni režim punjenja za sve kategorije vozila. Potrebe za vremenskim tijekom putovanja su izrađene po slici 42.



Slika 52. Krivulja opterećenja za sve kategorije vozila za dnevni režim

Slika 53 prikazuje krivulju opterećenja i predane električne energije svih kategorija za sve punionice na otoku Krku za noćni režim punjenja. Način izrade krivulje i izračun vremenskih odmaka je jednak kao i za sliku 47.



Slika 53. Krivulja opterećenja za sve kategorije vozila za noćni režim

10.5. Promet otoka Krk s 5% -tnim udjelom električnih osobnih vozila

Prema međunarodnoj ageniciji za energiju udio električnih vozila u svjetskoj floti vozila bi mogao u 2025. godini iznositi 5%. Kako se navedeni podaci odnose na globalnu flotu vozila treba uzeti u obzir da pojedine zemlje ostvaruju veće udjele od drugih. Hrvatska kao članica EU prati trendove, no s vremenskim odmakom. Time će se usvojiti pretpostavka ostvarivanja navedenog udjela električnih vozila u iznosu od 5% 2029. godine, odnosno za 10 godina od trenutka pisanja ovoga rada. Za navedeni udio je time napravljena simulacija prometa s električnim osobnim vozilima. Iz simulacije prometa bez EV su sva putovanja množena faktorom u vrijednosti od 5% kako bi se dobila putovanja električnih vozila. Nadalje se tip osobnog električnog vozila marke Volkswagen e-Golf koristi kao vozilo koje ostvaruje sva putovanja. Kako bi se zadovoljila potreba za električnom energijom navedene količine vozila, potreban je veći broj punionica električnom energijom. Kao lokacije električnih punionica su zadržane postojeće lokacije, no simulacija je izvršena s većim brojem priključaka i većom snagom punionica. Kako se zadržava tip priključka, odnosno pretpostavlja se korištenje priključka tipa 2, snaga pojedinog priključka je 44 kW. Slijedeća tablica 29 prikazuje broj priključaka na pojedinoj lokaciji.

Tablica 29. Mreža punionica za ostvarivanje 5% električnih osobnih vozila

Mreža punionica i broj priključaka snage 44 kW	
Lokacija punionice	**Broj priključaka**
Zračna luka Rijeka	22
Baška	38
Dobrinj	18
Grad Krk	44
Malinska	22
Omišalj	22
Punat	18
Šilo	20

Mreža punionica i broj priključaka snage 44 kW	
Lokacija punionice	**Broj priključaka**
Vrbnik	20

Tablica 29 prikazuje lokacije punionica i broj priključaka za potrebe električnih osobnih vozila s udjelom od 5 %. Primjenjujući sve navedene ulazne podakte pomoću aplikacije SUMO dobiveni su slijedeći izlazni podaci.

Tablica 30. Simulacija električnih osobnih vozila s udjelom u iznosu 5%

Simulacija električnih osobnih vozila	
Udio električnih vozila u putovanjima	5%
Broj električnih osobnih vozila	964
Prosječna duljina prijeđenog puta	19,69 km
Vrijeme trajanja prosječnog puta	0:28:18
Prosječno vrijeme punjenja	0:20:00
Napunjenost baterije prije polaska	50% (17,9 kWh)
Prosječna razina napunjenost baterije	25,157 kWh
Najmanja razina napunjenosti baterije	11,034 kWh
Najveća razina napunjenosti baterije	35,8 kWh
Prosječna potrošnja električne energije po putovanju	2,519 kWh/put
Prosječna potrošnja električne energije na 100 km	12,789 kWh/100km
Ukupno potrošena električna energija vozila	2427,944 kWh
Ukupno količina punjenja električnom energijom punionica	15711,721 kWh

Tablica 30 prikazuje rezultate simulacije 5 % električnih osobnih vozila u prometu. Baterijski sklop je u svim vozilima prije polaska na 50% napunjenosti. Nadalje se može uočiti da pri punjenju vozila u trajanju od 20 minuta na punionicama snage 44 kW se potreba za električnom energijom navedenih putovanja premašuje. Potrebna količina električne energije za navedene putovanja iznosi 2427,9 kWh, dok su vozila napunjena s 15711,7 kWh električne energije. Navedeni rezultati su dani kao primjer potreba osobnih električnih vozila u iznosu od 5 % ukupnog prometa osobnih vozila, koji bi se mogao ostvariti 2029. godine.

10.6. Potrošnja električne energije punionica

Sljedeća tablica 31 prikazuje iznos potrebne električne energije vozila. U tablici se može izjednačiti potrošnja električnih vozila i potrošnja električne energije punionica jer navedena energija odgovara potrebama vozila za prevaljeni put. Dakako da su navike potrošača u realnim uvjetima takve, da korisnici pune svoja vozila s više energije nego što im je potrebno. Tablicom 31 se želi pojasniti kako je to minimalna potrebna količina električne energije koja bi pokrila potrebe električnih vozila.

Tablica 31. Potrošnja električne energije punionica

Potrošnja električne energija punionica	
Udio električnih vozila	**0,3%**
Dnevna potrošnja električne energije vozila	
Osobna vozila	120,021 kWh
Autobusi	664,823 kWh
Teretna vozila	971,779 kWh
Ukupno (sve kategorije)	1756,623 kWh
Ukupno (sve kategrije) godišnje	641167,395 kWh
Udio električnih osobnih vozila	**5 %**
Dnevna potrošnja električne energije vozila	

Potrošnja električne energija punionica	
Osobna vozila	2427,944 kWh
Osobna vozila godišnje	886199,56 kWh

Tablica 31 prikazuje potrošnju punionica električne energije za pokrivanje potreba EV. Za udio od 0,3% električnih vozila potrebno je 1757 kWh električne energije dnevno. Na godišnjoj razini potrebno je 641167 kWh. Za udio od 5% električnih osobnih vozila potrebno je 2428 kWh dnevno, dok je na razini godine potrebno 886200 kWh.

11. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA I ČESTICA

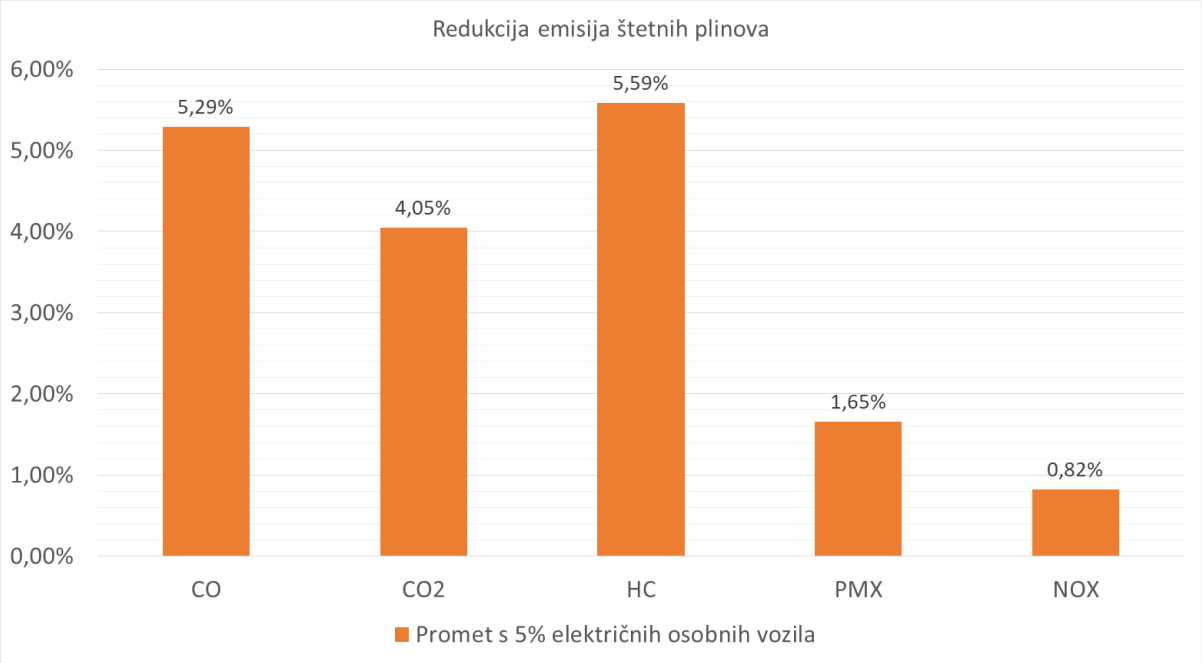
Sljedeća tablica 32 prikazuje emisije štetnih plinova i čestica za različite udjele električnih vozila u ukupnom prometu otoka Krka. Udjeli koji se navode su 0,3% električnih vozila svih kategorija, te 5% električnih osobnih vozila. Prikazane emisije se odnose na simulacije elektrifikacije prometa.

Tablica 32. Emitirane emisije štetnih plinova za razne udjele električnih vozila

Emisije štetnih plinova	
Vrsta emisije štetnih plinova	**Količina [t]**
Količina emisija na razini jednog dana (24sata)	
Promet bez električnih vozila	
CO	0,889
CO_2	97,717
HC	0,00555
PM_X	0,00544
NO_X	0,243
Promet s 0,3% električnih vozila	
CO	0,881
CO_2	96,139
HC	0,00550
PM_X	0,00527
NO_X	0,234
Promet s 5% električnih osobnih vozila	
CO	0,842
CO_2	93,760

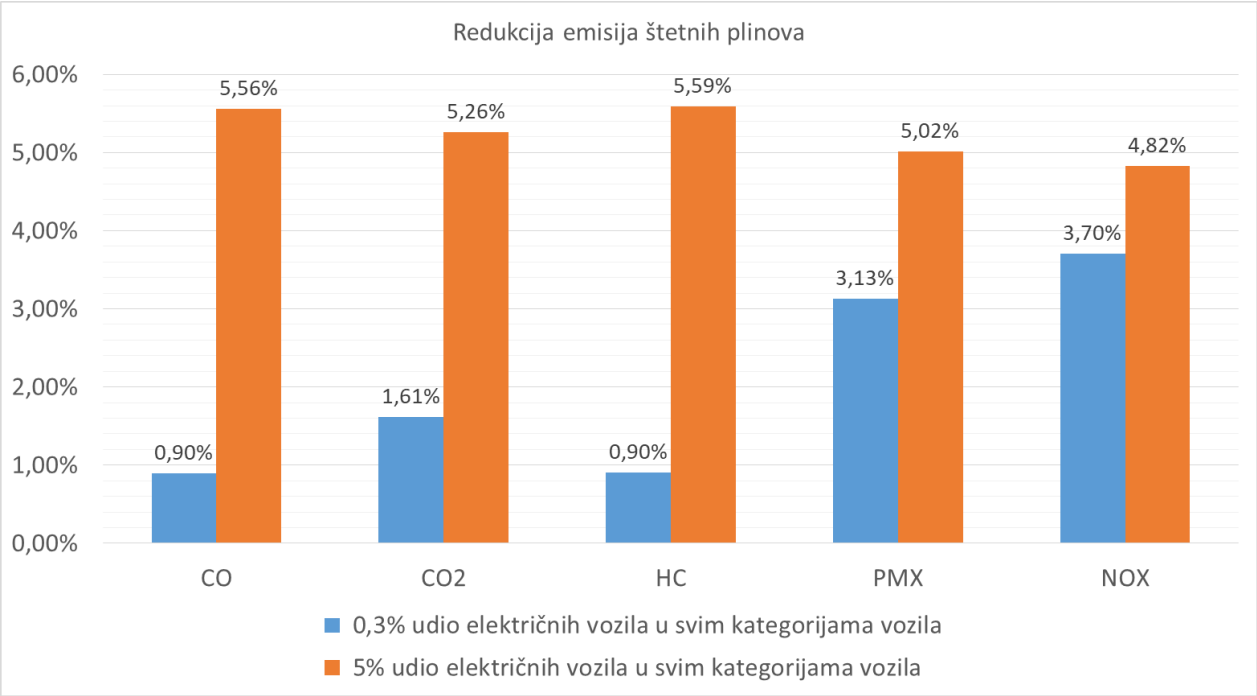
Emisije štetnih plinova	
Vrsta emisije štetnih plinova	**Količina [t]**
HC	0,00524
PM_X	0,00535
NO_X	0,241

Tablica 32 prikazuje iznos emitiranih emisija štetnih plinova u tonama na razini jednoga dana, odsnono 24 sata, za pojedine simulacije. Implementacijom električnih vozila u sektor transporta se smanjuju emisije štetnih plinova prouzrokovano vozilima, odnosno vozila s motorima s unutrašnjim izgaranjem. Pogodnosti smanjenje emisija prikazuju sljedeći dijagrami u postotnom udjelu.



Slika 54. Redukcija emisija štetnih plinova za promet s 5% električnih vozila

Slika 54 prikazuje postotno smanjenje emisija štetnih plinova za promet s 5% električnih osobnih vozila u odnosu na promet bez električnih vozila. Za razliku od slike 54 koja se odnosi samo na implementaciju u kategoriji osobnih vozila sljedeća slika 55 odnosi se na sve kategorije.



Slika 55. Redukcija emisija štetnih plinova za promet svih kategorija vozila

Slika 55 prikazuje postotno smanjenje emisija štetnih plinova za promet s 0,3% ili 5% električnih vozila svih kategorija u odnosu na promet bez električnih vozila. Razlika između smanjenja emisija čestica (PM_x) i NO_x nije toliko značajna radi sljedećeg razloga. Za udio vozila u iznosu od 0,3% električnih vozila, oduzeta su teretna vozila i autobusi po tablicama 23 i 27. U brojkama to je 15 teretnih vozila i 19 autobusa. Dok je za udio od 5 % električnih vozila taj broj 63 teretna vozila i 20 autobusa. Time ispada prividno slična brojka implementacije autobusa i teretnih vozila između simulacija s 0,3% i 5%.

12. ZAKLJUČAK

Tema ovoga rada je vrlo aktualna kako na lokalnoj hrvatskoj razini tako i u globalnim svjetskim razmjerima, te se pokazala kao vrlo izazovna. Da bi se došlo do konkretnih zaključaka o energetskom planiranju sektora transporta otoka Krka zahtijevalo se provođenje niza povezanih aktivnosti, od prikupljanja podataka, prikaza stvarnog stanja prometa, do energetskog izračuna korištenja električnih vozila u transportu. Nakon provedenih simulacija prometa mogla se utvrditi količina potrebne električne energije za različite simulacije penetracije električnih vozila u promet otoka Krka. Nadalje simulacije daju odgovor o potrebnoj infrastrukturi i njihovim parametrima, te pozitivnim učinicima na redukciju emisija štetnih plinova i čestica. Implementacija električnih vozila je provedena u udjelima iznosa 0,3% i 5% ukupnog prometa po različitim kategorijama vozila, te su dobiveni slijedeći rezultati. Za simulaciju transporta s 0,3% električnih vozila svih kategorija potrebno je oko 1800 kWh električne energije dnevno, odnosno oko 650 000 kWh godišnje. Gledano po kategorijama vozila, implementacija teretnih vozila troši i 9 puta više električne energije u odnosu na osobna vozila pri jednakom udjelu. Za simulaciju transporta s 5 % električnih osobnih vozila se može zaključiti kako je potrošnja električne energije i do 20 puta veća u odnosu na osobna vozila udjela 0,3%, te iznosi oko 2400 kWh dnevno. Za primjere simulacija izrađene su krivulje opterećnja vršne snage za punionice vozila električnom energijom za prosječan dan. Iz njih se može zaključiti u kojim trenucima dana ili noći je vršno opterećenje elektroenergetske mreže prouzročeno punjenjem vozila. Na kraju je prikazan utjecaj na okoliš, odnsono redukciju emisija štetnih plinova i čestica. Redukcije za udio od 0,3 % električnih vozila se broje u redu veličine od 0,9% CO i HC, pa preko 1,6 % redukcije CO2 te sve do 3% čestica. Za veće udjele vozila je naravno veća i redukcija štetnih emisija te se sve vrijednosti kreću oko iznosa od 5 % smanjenja u odnosu na scenarij bez elektrifikacije prometa. Zaključno, treba konstatirati kako su provedene simulacije napravljene samo za navedene udjele i određene kategorije, te bi se detaljnijom razradom moglo još preciznije prikazati opterećenje elektroenergeske mreže, smanjenje emisija štetnih plinova i potrošnja električne energije.

LITERATURA

[1] Wikipedia, Otok Krk, https://hr.wikipedia.org/wiki/Krk, ožujak 2019.

[2] Državni zavod za statistiku, Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011.,2011.

[3] Google maps, https://www.google.com/maps, ožujak 2019.

[4] eVisitor, https://www.evisitor.hr, ožujak 2019.

[5] Turistička zajednica otoka Krka, 2017.

[6] Državni zavod za statistiku, Turizam u 2017. godini, 2018.

[7] Hrvatska gospodarska komora, https://digitalnakomora.hr/hr/, ožujak 2019.

[8] Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Dr%C5%BEavne_ceste_u_Hrvatskoj, ožujak 2019.

[9] Županijska uprava za ceste Primorsko-goranske županije, https://www.zuc.hr/index_htm_files/KARTA_PGZ_100.jpg. ožujak 2019.

[10] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske 2017, Zagreb, 2018.

[11] Ceste Rijeka, http://www.ceste-rijeka.hr/popis-cesta, ožujak 2019.

[12] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske 2015, Zagreb, 2016.

[13] Hrvatske ceste, Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske 2016, Zagreb, 2017.

[14] Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, Broj registriranih vozila na otoku Krk,2017.

[15] European Automobile Manufacturers' Association (ACEA), https://www.acea.be/, ožujak 2019].

[16] Centar za vozila Hrvatske, Broj novih i rabljenih vozila kategorije M1, 2019.

[17] Centar za vozila Hrvatske, Prosječna starost vozila, 2019.

[18] Centar za vozila Hrvatske, Broj vozila s električnim i hibridnim pogonom, 2019.

[19] Međunarodna agencija za energetiku, https://www.iea.org/tcep/transport/evs/#summary. ožujak 2019.

[20] The electric vehicle world sales database, http://www.ev-volumes.com/country/total-euefta-plug-in-vehicle-volumes-2/. travanj 2019.

[21] Schrack technik, https://www.schrack.hr/know-how/alternativni-izvori/elektromobilnost/punjenje-elektricnih-vozila,travanj 2019.

[22] Emobilnost, http://www.e-mobilnost.hr/zasto_e-mobilnost/potrosnja.html, veljača 2019.

[23] D. Škrlec, Elektroenergetska infrastruktura za prihvat hibridnih i električnih vozila, Zadar, Hrvatska, 29.09.-1.10.2011.

[24] Electric vehicle database, https://ev-database.org/, travanj 2019.

[25] Volkswagen, https://www.volkswagen.hr/e-mobility,travanj 2019.

[26] BMW Hrvatska, https://www.bmw.hr/hr/topics/details/pricelist-brochure-download.html, travanj 2019.

[27] Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovistost, 21. Ožujak 2019., http://www.fzoeu.hr/docs/javni_poziv_za_neposredno_sufinanciranje_kupnje_energetski_ucinkovitih_vozila_gradanima_dodjelom_donacije_2019_v1.pdf., travanj 2019.

[28] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch i L. Bieker, Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility, International Journal On Advances in Systems and Measurements, 2012.

[29] OpenStreetMap, https://www.openstreetmap.org., veljača 2019.

[30] Google maps, https://www.google.com/maps. veljača 2019.

[31] Google Earth, https://www.google.hr/intl/hr/earth/,veljača 2019.

[32] S. Krauß, Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics, 1998.

[33] T. Kurczveil i E. Schnieder, Implementation of an Energy Model and a Charging Infrastructure in SUMO, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin, 2013.

[34] Handbook emission factors for road transport (HBEFA), http://www.hbefa.net/e/index.html, ožujak 2019.

[35] Središnji državni portal, https://gov.hr/moja-uprava/promet-i-vozila/sigurnost-na-cesti/ogranicenje-brzine-na-cestama/312, ožujak 2019.

[36] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, https://www.zakon.hr/z/78/Zakon-o-sigurnosti-prometa-na-cestama, ožujak 2019.

[37] Otok Krk.org, https://otok-krk.org/krk/mreza-punionica-za-elektricne-automobile-na-otoku-krku, ožujak 2019.

[38] Puni.hr, http://www.puni.hr, ožujak 2019.

[39] ABB, https://new.abb.com/ev-charging, travanj 2019.

[40] Lemo project, https://hr.lemo-project.eu/wp-content/uploads/2015/01/Stanice-za-punjenje-elektri%C4%8Dnih-vozila.pdf, travanj 2019.

[41] Inside EVs, https://insideevs.com/news/338777/lets-look-at-fast-charging-curves-for-popular-electric-cars/, ožujak 2019.

[42] J. Sears, D. Roberts i K. Glitman, A comparison of electric vehicle Level 1 and Level 2 charging efficiency, IEEE, 2014.

[43] Institut IGH, Prostorno i prometna integralna studija Primorsko-goranske županije i Grada Rijeke, Autocesta Rijeka-Zagreb d.d., 2011.

[44] Hrvatski telekom d.d., Korporativni ured - Roberta Frangeša Mihanovića 9, Zagreb, 2019.

[45] Volvo Buses, https://www.volvobuses.co.uk/en-gb/our-offering/buses/volvo-7900-electric/specifications.html, travanj 2019.

[46] Eforce, https://www.eforce.ch/en/products/ef18, travanj 2019.

PRILOZI

I. CD-R disc