

Viktorija Dudjak
Energetski institut Hrvoje Požar
vdudjak@eihp.hr

Hrvoje Keko
Energetski institut Hrvoje Požar
hkeko@eihp.hr

PROJEKT MOBINCITY – SMART MOBILITY IN SMART CITY

SAŽETAK

Električna mobilnost kao jedan od svojih strukturnih izazova identificira približavanje i povezivanje energetske infrastrukture i prometnog okruženja. Europski projekt MOBINCITY - *Smart Mobility in Smart City* je projekt u okviru Sedmog okvirnog programa (Framework Program 7, FP7) čije teme obrađuju navedenu problematiku. U sklopu ovog projekta razvijena je inteligentna ICT platforma koja objedinjuje podatke koje dolaze od strane različitih sudionika u gradskoj mobilnosti pametnog grada: korisnika (mobilnih građana), električnih vozila, prometne i elektroenergetske infrastrukture; te kojoj je za cilj pomoći u optimalnom korištenju autonomije električnih vozila, i pružati potporu, kako korisnicima, tako i infrastrukturi u gradovima. S jedne strane projekt namjerava podići razinu komfora kod vlasnika električnih vozila, a s druge strane platforma projekta namjerava s infrastrukturne strane dati potporu optimalnom planiranju i operativnom vođenju elektroenergetskog sustava. U radu su detaljnije opisani rezultati i smjernice koji se baziraju na projektu MOBINCITY i njegovim radnim platformama.

Ključne riječi: elektromobilnost, mobilni građani, optimalno planiranje putovanja, prometna infrastruktura, elektroenergetska infrastruktura, ICT platforma

PROJECT MOBINCITY – SMART MOBILITY IN SMART CITY

SUMMARY

Electric mobility identified connection of electricity and traffic infrastructure as one of its crucial challenges. The European project MOBINCITY - *Smart Mobility and Smart City* is a project within the Seventh Framework program (FP7) which themes deal with this issue. As part of this project intelligent ICT platform was developed, in a way that integrates data coming from the different participants in the urban mobility smart city users (mobile citizens), electric vehicles, transport and electricity infrastructure; and which is intended to assist in the optimal use of the autonomy of electric vehicles, and provide support to users, and infrastructure in cities. On one hand, the project aims to raise the level of comfort with the owners of electric vehicles, and on the other, platform intends to provide support for infrastructure by optimal planning and operational management of the power system. The paper describes in more detail the results and guidelines which are based on the project MOBINCITY and its operating platforms.

Key words: electromobility, mobile citizens, optimal travel planning, transport infrastructure, power infrastructure, ICT platform

1. UVOD

Danas se Europa suočava s ozbiljnim izazovima povezanim s klimatskim promjenama te oskudicom klasičnih energetske izvora. Dokumenti poput [1], [2] i [3] imaju za cilj uhvatiti se u koštac s navedenim problemima promičući mjere energetske efikasne uporabe energije i energetske izvora, te tako smanjiti ukupnu ovisnost o nafti i emisije stakleničkih plinova u transportu za 60% do 2050. godine. Ovako postavljeni ciljevi usmjeravaju istraživačke aktivnosti prema alternativnim prijevoznim sredstvima. Strategije razvoja infrastrukture za električna vozila donesene su diljem svijeta, bilo na razini pojedinih gradova ili na razini država, te danas mnoge zemlje promoviraju električna vozila u kombinaciji s obnovljivim izvorima energije kao jedan od ključnih elemenata za budući razvoj energetike.

Za oko četvrtinu emisija stakleničkih plinova, koje su posljedica aktivnosti u sektoru transporta, odgovoran je prvenstveno prijevoz u velikim gradovima. Shodno tome, jedan od očekivanih smjerova kretanja politike mobilnosti, posebice unutar velikih gradova jest razvoj baziran na električnim vozilima. Međutim, s obzirom na fizikalne karakteristike i ograničenja električne energije, odnosno siguran pogon elektroenergetskog sustava (zahtjev da u svakom trenutku proizvodnja mora biti izjednačena s potrošnjom električne energije, održavanje frekvencije i naponske razine u svim čvorištima elektroenergetskog sustava u propisanim granicama), te ekonomska neatraktivnost, odnosno previsoka cijena spremnika (baterija), prijelaz prema potpuno električnoj mobilnosti zahtijeva planski pristup. S jedne strane predstavlja iskorak, u smislu ulaska elektroenergetike u sektor prometa (za vrijeme dok su električna vozila priključena na mrežu), a s druge strane izazov, kako infrastrukturno, tako i operativno.

Uz adekvatan sustav planiranja i upravljanja prometom električna vozila mogu doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova, međutim, samo uz uvjet optimalnog korištenja proizvodnih kapaciteta, s naglaskom na obnovljive izvore energije. Primjerice, korištenjem funkcionalnosti električnih baterija kao spremnika električne energije u kombinaciji s iskorištavanjem obnovljivih izvora energije. To je posebice važno jer bi se u suprotno u konačnici mogao postići suprotan efekt – povećanje potražnje za električnom energijom može dovesti do povećanja ulaganja u elektrane na fosilna goriva i posljedično povećanje emisija stakleničkih plinova.

U sklopu projekta MOBINCITY - *Smart Mobility in Smart City* [4] razvijena je inteligentna ICT platforma koja objedinjuje podatke koje dolaze od strane različitih sudionika u mobilnosti pametnog grada: korisnika (mobilnih građana), električnih vozila, prometne i elektroenergetske infrastrukture; te kojoj je za cilj pomoći u optimalnom korištenju autonomije električnih vozila, i pružati potporu, kako korisnicima, tako i infrastrukturi u gradovima. S jedne strane projekt namjerava podići razinu komfora kod vlasnika električnih vozila, a s druge strane platforma projekta namjerava s infrastrukturne strane dati potporu optimalnom planiranju i operativnom vođenju elektroenergetskog sustava. Na ovom multidisciplinarnom projektu je u razdoblju od 2012 do 2015 godine sudjelovalo ukupno 13 partnera iz 5 europskih zemalja, među kojima i Energetski institut Hrvoje Požar. Rezultati predstavljeni u ovom radu samo su jedan dio opsežnih istraživanja provedenih u tri godine projekta.

2. CILJEVI I IZAZOVI PROJEKTA MOBINCITY

Ciljevi projekta MOBINCITY mogu se sažeti u nekoliko glavnih točaka:

- popularizacija elektromobilnosti
- povećanje percepcije električnih vozila kao sastavni i aktivni dio elektroenergetskog sustava (optimizacija punjenja vozila, utjecaj na vršna opterećenja, pozicioniranje punionica, usklađivanje s proizvodnjom iz OIE...)
- razvoj algoritama i komunikacijskih rješenja/standarda za integralnu povezanost vozača, vozila i urbanog prometa kroz aktivno praćenje, optimalno trasiranje i primjerenu strategiju korištenja cjelokupnog prometnog okruženja
- integriranje električnih vozila u gradski *smart mobility* sustav

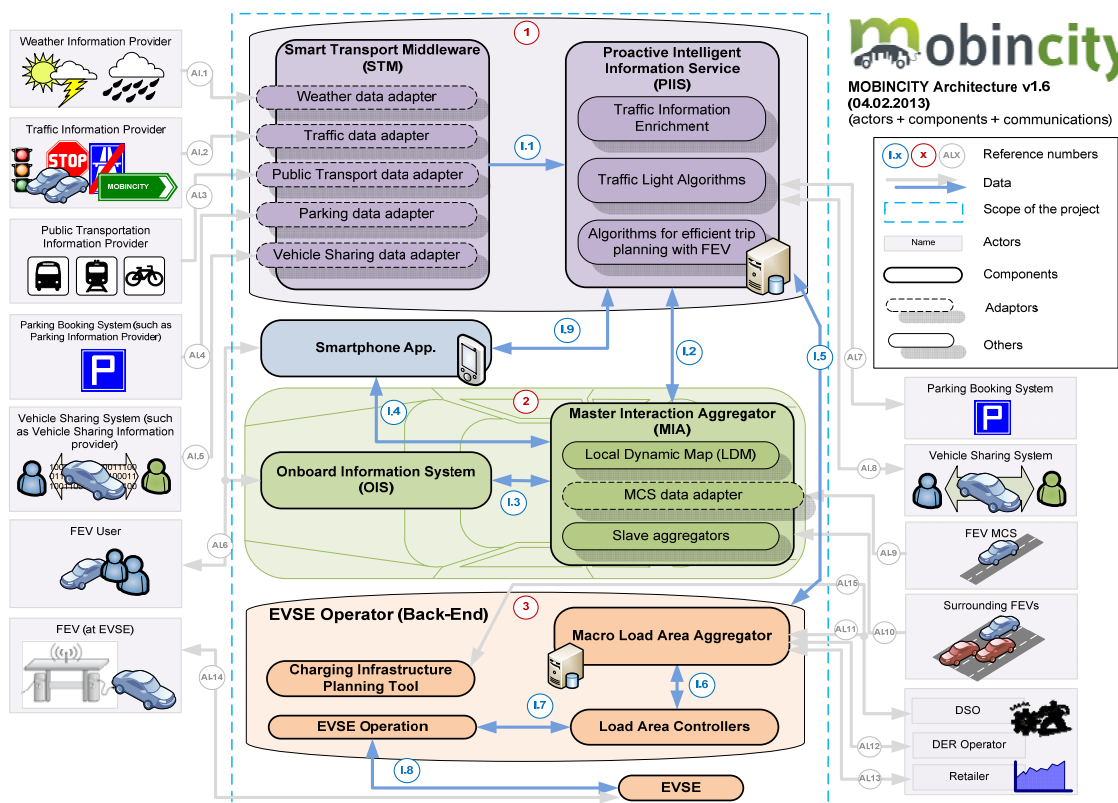
- pametni semafori, javni prijevoz, logističke rute...
- razvoj sustava za praćenje i uštedu energije unutar samog vozila

ICT platforma MOBINCITY-a temelji se prvenstveno na multimodalnosti, što znači da su električna vozila samo jedan od načina prijevoza na koji se platforma oslanja, te uključuje i ostale vrste javnog prijevoza (željeznički, cestovni, *bike sharing*...).

3. AHITEKTURA ICT PLATFORME MOBINCITY

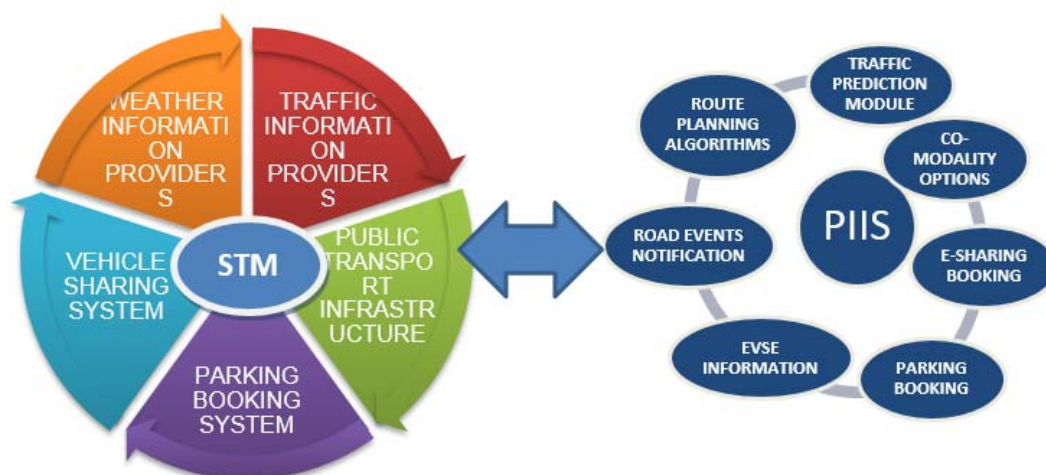
MOBINCITY ima više implementacijskih komponenata. Naglasak u ovom referatu jest na sljedeće komponente, dok su detalje prikazuje Slika 1:

- MIA - *Master Interaction Aggregator*, softversko-hardverski podsustav, odnosno uređaj instaliran u električnom vozilu kao sučelje s vozilom i posredno s vlasnikom vozila
- STM – *Smart Transport Middleware* – softverski sustav za prikupljanje svih informacija iz okoline relevantnih za sustav MOBINCITY
- PIIS - *Proactive Intelligent Information Service* - centralni softverski sustav za inteligentno upravljanje prometom.
- Smartphone aplikacija – sučelje korisnika s MOBINCITY sustavom kojim se u sustav osim informacija iz okoline u obzir uzimaju i korisničke preferencije.



Slika 1. Arhitektura ICT platforme MOBINCITY

Dok se MIA fizički nalazi unutar električnog vozila, PIIS i STM se nalaze u takozvanom „cloudu“, te služe za prikupljanje i organizirano pohranjivanje svih podataka iz okoline sustava kako bi te informacije mogle biti korištene od strane ostalih komponenti sustava. Ove dvije komponente te njihovi moduli detaljnije prikazuje Slika 2.



Slika 2. Komponente STM-a i PIIS-a

U sljedeća dva poglavlja detaljniji je naglasak stavljen na dvije funkcije sustava: integraciju s elektroenergetskim sustavom, te algoritme za optimalno planiranje trase puta.

4. INTEGRACIJA S ELEKTROENERGETSKIM SUSTAVOM

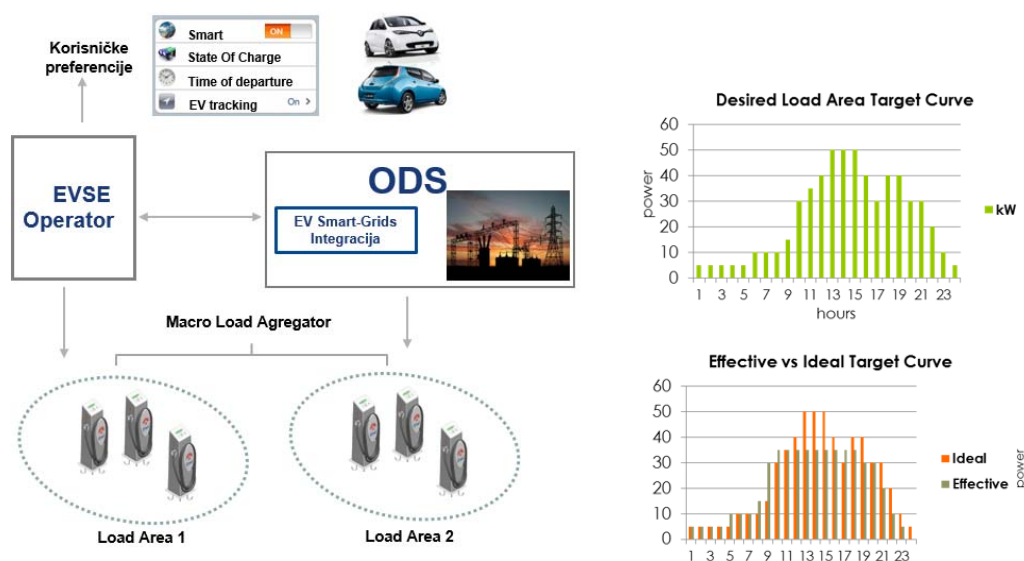
Prilikom integracije platforme s elektroenergetskim sustavom prepoznati su sljedeći zainteresirani sudionici:

- električna vozila te njihovi korisnici,
- *Electric Vehicle Supply Equipment Operator* (EVSEO) – operator infrastrukture za punjenje električnih vozila
- *Electric Vehicle Supply Equipment* (EVSE) – infrastruktura za punjenje električnih vozila (punionice)
- Operatori sustava (ODS i OPS),
- Opskrbljivači električnom energijom,
- i ostali sudionici koje danas ne obavljaju ni jednu od prije navedenih djelatnosti no mogu se potencijalno uključivati u paradigmu elektromobilnosti (primjerice, u ovom slučaju platforma MOBINCITY).

Pritom treba spomenuti kako još ne postoji u potpunosti standardizirana nomenklatura za gore navedene sudionike tržišta, unatoč tome što već postoje i standardi poput ISO/IEC 15118 koji opisuje komunikacijsko sučelje kod električnih vozila koja pružaju i V2G (*vehicle-to-grid*) funkcionalnost, odnosno podržavaju dvosmjernan tok energije i mogu iz svojih baterija vraćati energiju u mrežu.

U okviru MOBINCITY projekta, među ostalim, kao dio integracije elektroenergetske infrastrukture u *smart city* koncept, razvijen je algoritam za pametno upravljanje, odnosno planiranje rasporeda punjenja električnih vozila na punionicama.

Slika 3 prikazuje arhitekturu ovakvog jednog sustava upravljanja punionicama koje je u pravilo dvorazinsko [7]. Punionice električnih vozila na nekom području grupiraju se u takozvane „klastere“ punionica koje se nalaze na nekom opskrbnom području *Load Areas* (LA) te se na taj način lokalni *Local Area Controllers* (LAC) upravljaju s više punionica odjednom, uzimajući u obzir ograničenja i preferencije korisnika koji se njima koriste. Na višoj razini pak *Macro Load Area* agregator odgovoran je za upravljanje s više LAC-a niže lokalne razine s obzirom na zahtjeve koje zadaju operatori mreže, opskrbljivači, proizvođači obnovljivih izvora energije itd. Smjerovi komunikacije između ovih sudionika prikazuje i Slika 1 (donji dio slike, označen narančastom bojom).



Slika 3. Komponente i sudionici integracije električnih vozila s elektroenergetskim sustavom

Kao što je već ranije rečen, LAC je odgovoran za punjenje električnih vozila na razini njegovog opskrbnog područja. Primjerice, na jednom području u pogonu je više različitih punionica električnih vozila na koje se spajaju električna vozila koja se pune različitim snagama (u pravilu, **3.3kW** i **22kW**). Prilikom dolaska na punionicu, korisnik je, kako bi izvršio punjenje, dužan dati operatoru dvije informacije:

- željenu razinu napunjenosti baterije vozila (SoC – *State of Charge*) i
- vremenski okvir u kojem želi napuniti bateriju.

Zadaća LAC-a jest planiranje rasporeda punjenja svih električnih vozila koja su u tom trenutku priključena na punionice na njegovom opskrbnom području, uzimajući u obzir željeni SoC i vremenski okvir svakog električnog vozila, ograničenja u elektroenergetskoj mreži, ali i planiranu krivulju opterećenja od strane ODS-a za promatrano opskrbno područje.

Algoritam za planiranje rasporeda punjenja električnih vozila na punionicama izvršava se ciklički u vremenskim razdobljima koje definira operator (ponovno se pokreće svakih 5-15 minuta), te sa svakom izmjenom početnih uvjeta, odnosno pojavom novih informacija (promjena ograničenja u elektroenergetskom sustavu, dolazak novog korisnika/električnog vozila na punionicu, prekid punjenja od strane nekog korisnika koji je dotad koristio punionicu, i slično).

Međutim, bez obzira na korisničke preferencije punjenja, odnosno njegov zadani vremenski okvir punjenja, operatoru sustava punionica uvijek je u cilju planirati punjenje električnih vozila sa što većom mogućom snagom (bez obzira što je, primjerice, korisnik zadao takav SoC i vremenski okvir u kojem bi se mogao puniti i nižom snagom). Tako da će, operator uvijek u promatranom vremenskom okviru planirati raspored punjenja električnih vozila najvećom dostupnom snagom u tom trenutku.

S druge strane, ukoliko prilike u elektroenergetskoj mreži ne dopuštaju punjenje maksimalnom snagom punionice, algoritam određuje prioritete, odnosno koja električna vozila imaju prvenstvo punjenja u odnosu na druga vozila u promatranom vremenskom okviru, pritom uzimajući u obzir:

- energiju koja treba biti isporučena do kraja zadanog vremenskog perioda punjenja električnog vozila (proizlazi iz informacije korisnika o željenoj isporučenoj energiji umanjenoj za energiju koja je isporučena do promatranog trenutka), te
- preostalo vrijeme punjenja (također proizlazi iz informacije korisnika u kojem zadanom vremenskom periodu želi napuniti bateriju).

Uzevši u obzir ove zahtjeve korisnika, operator za svaku točku punjenja (odnosno svako električno vozilo) određuje „fer“ vrijednost struje punjenja, s kojom bi se električno vozilo u napunilo do željene razine u zadanom vremenskom periodu, ukoliko nema nikakvih ograničenja u sustavu. Na temelju te vrijednosti, operator dodjeljuje svakom pojedinom punjenja (vezanom uz pojedino električno vozilo)

težinski koeficijent, odnosno određuje njegov prioritet. Ovaj koeficijent može se izraziti u obliku struje dodijeljene svakom pojedinom punjenju, ili u obliku nekog drugog faktora, primjerice postotka koji predstavlja odnos između pojedinih punjenja na promatranom opskrbnom području.

Ovako postavljeno planiranje rasporeda punjenja svodi se na iterativan postupak rješavanja optimizacijskog problema, minimizacijom funkcije cilja J , koja se sastoji od dva dijela: J_{cost} , povezanog s ukupnim troškovima opskrbnog područja radi punjenja električnih vozila, te J_{Tr} , povezanog s pogreškom između stvarne i planirane krivulje opterećenja. Optimizacijski problem opisuje se kao cjelobrojno miješano linearno programiranje.

$$J = \mu_1 J_{cost} + \mu_2 J_{Tr}$$

$$J_{cost} = \frac{1}{\Delta X} \sum_{m \in M} \sum_{k \in I}^{E_m} P_m[k] T C_e[k]$$

$$J_{Tr} = \|A(P - P^{ref})\|_{\infty}.$$
(1)

Predloženim algoritam testiran je pomoću simulacije te stvarnim mjerenjem na realnim punionicama i električnim vozilima u realnoj mreži (od strane talijanski partnera na projektu). Slika 4 prikazuje rezultate simulacije i mjerenja primjene algoritma za planiranje rasporeda punjenja električnih vozila. Iz prikazane usporedbe vidljiva je minimalna razlika između simulacije i mjerenja u realnim uvjetima.

SIMULACIJA

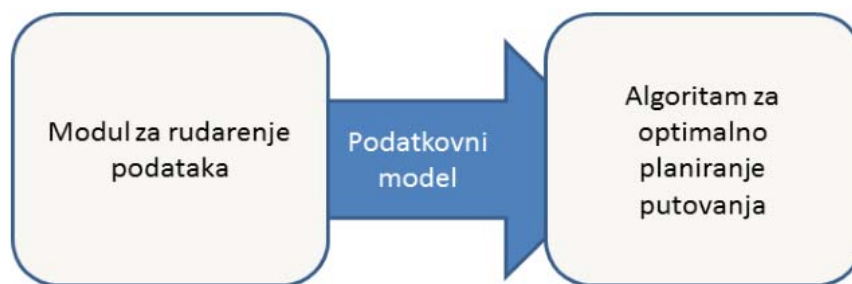
MJERENJE



Slika 4. Rezultati simulacije i mjerenja primjene algoritma za upravljanje punjenjem punionica

5. OPTIMALNO PLANIRANJE TRASE PUTA

Slika 5 prikazuje softversku platformu, dio PIIS sustava koji izrađuje optimalne trase (rute) putovanja. Platforma se sastoji od dva dijela - modula za rudarenje podataka i samog algoritma. Ta su dva dijela povezana u cjelinu zajedničkim podatkovnim modelom



Slika 5. Osnovna arhitektura softverskog sustava algoritma za optimalno planiranje putovanja u platformi MOBINCITY

Podaci koje sustav MOBINCITY može koristiti su:

- meteorološki podaci
- (aktualni) podaci o gradskom prometu i zagušenjima
- podaci o elektroenergetskoj mreži (lokacije stanica i parkinga s mogućnošću punjenja baterija)
- podaci o javnom prijevozu
- podaci o korisniku električnog vozila i njegovim preferencijama.

Problem pronalaska optimalne trase putovanja svodi se na problem pronalaska najkraćeg puta (engl. shortest path problem). U teoriji grafova, to je problem pronalaska skupa bridova najmanje težine koji spajaju početni vrh i završni vrh grafa. Iako se naizgled čini da su problemi optimalnog planiranja puta praktično riješeni - to nije slučaj budući da električna mobilnost donosi cijeli niz specifičnosti u postupak optimizacije.

Prva ključna izmjena je potreba za korektnim modelom potrošnje energije u električnom vozilu na određenoj trasi. U usporedbi s vozilima s motorom s unutrašnjim izgaranjem, električna vozila imaju nešto snažniju vezu između prijeđenog puta (prijeđene udaljenosti) i potrošene energije - odnosno, potrošak energije po kilometru gradske vožnje bolje odražava ukupnu potrošnju energije. Regenerativne tehnike punjenja baterija prilikom kočenja, uobičajene u električnim vozilima, drastično mijenjaju problem. Vozilo s motorom s unutrašnjim izgaranjem u najboljem slučaju potrošit će nultu količinu goriva na segmentu trase na nizbrdici, zbog isključenog dovoda goriva do motora, engl. *fuel cutoff*. Na istom tom segmentu, električno vozilo s regenerativnim kočenjem može povećati količinu energije spremljenu u spremniku. U matematičkom smislu, to znači da brid u grafu koji modelira taj segment na nizbrdici mora imati negativnu težinu u smislu potrošnje energije u smjeru nizbrdice. Uslijed toga, cijeli se skup klasičnih algoritama za traženje najkraćeg puta ne može primijeniti jer su temelje na osnovnoj pretpostavci da su sve težine bridova grafa pozitivne. Bez obzira na činjenicu da zakon o očuvanju energije nalaže da nijedan ciklus ne može imati negativnu vrijednost, primjera algoritma koji se ne može koristiti u ovom kontekstu je Dijkstrin algoritam koji zahtijeva strogo negativne težine svih bridova.

Sljedeći novitet koji platforma MOBINCITY donosi je modeliranje korisnika električnog vozila. Sav trud u izvedbi sustava za navigaciju je uzaludan ako ta navigacija ne sugerira rute koje odgovaraju korisniku vozila i njegovim preferencijama. Kao primjer, trasa puta koja je optimalna za korisnika koji želi maksimalnu uštedu može biti vrlo neodgovarajuća za korisnika koji želi maksimalnu brzinu i ne interesira ga ušteda.

Optimizacijski algoritam unutar MOBINCITY PIIS je višekriterijski. U kontekstu višekriterijske optimizacije postoji cijeli skup rješenja koja su optimalna. U višekriterijskoj optimizaciji, optimalno rješenje je svako ono od kojeg u skupu rješenja ne postoje rješenja koja su bolja po svim kriterijima. Za rješenja od kojih se ne može naći rješenje bolje po baš svim kriterijima kaže se da su dominantna i da se nalaze na tzv. Pareto fronti. Nasuprot tome, suboptimalna rješenja nazivaju se dominiranim rješenjima budući da u odnosu na njih postoji rješenje koje je bolje po svim kriterijima i dominira njima. Za odabir među optimalnim rješenjima na Pareto fronti potrebno je odrediti omjer kriterija odnosno provesti kompromis (engl. *trade off*). Uzmemo li za primjer dva kriterija: utrošak energije i vrijeme na trasi, u kontekstu

određivanja optimalne trase, optimalna je i trasa koja ima minimalni utrošak energije (ali nešto duže vrijeme putovanja) i ona koja ima minimalno vrijeme putovanja i nešto veći utrošak energije.

Pitanje odluke koje je stvarno optimalno rješenje je u rukama korisnika i bira se putem težinskih faktora funkcije cilja optimizacije. U platformi MOBINCITY, svi parametri koji utječu na upravljanje električnim vozilom, opisani su i svrstani u tri glavne skupine, ovisno o izvoru utjecaja: električno vozilo, korisnika i okolina. Kao rezultat toga, definirano je pet različitih načina vožnje: *Eco*, *Sport*, *Normal*, *Management* i *Comfort*. Svaki od ovih načina vožnje ima drugačiji skup težinskih faktora i sugerirana optimalna trasa poštivat će te težinske faktore: primjerice, način vožnje *Eco* u navigaciji će biti vezan s minimalnim utroškom energije i tom kriteriju bit će dana najveća težina, odnosno funkcija cilja opisana je:

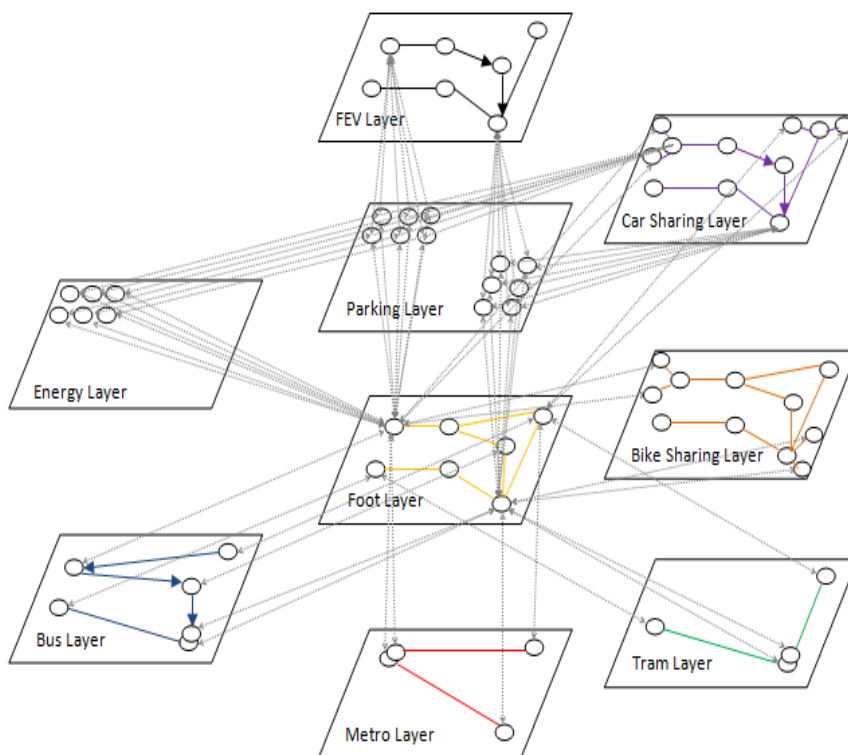
$$\text{Max } F(x) \rightarrow \max f_{FEVR}(x_1, x_2) \quad (2)$$

gdje je f_{FEVR} mogući prijedeni raspon električnog vozila za jedan ciklus punjenja baterije u km. Mogući prijedeni raspon električnog vozila f_{FEVR} ovisi najviše o:

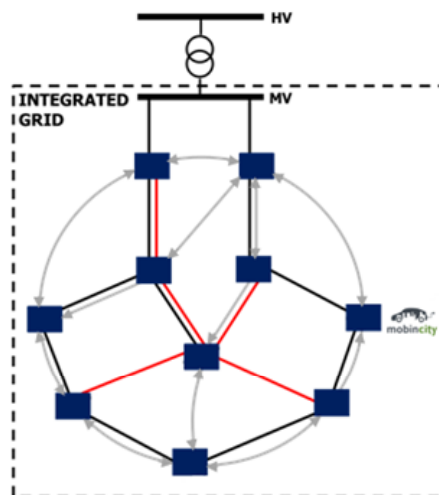
- x_1 - kapacitetu baterije,
- x_2 - potrošnji električne energije

Na ovaj način postavljanjem stila vožnje kao jednog od ograničavajućeg parametra prilikom planiranja putovanja (u obliku funkcije cilja, odnosno ograničenja u smislu brzine ili potrošnje energije), dodaje se socijalna komponenta u proces planiranja putovanja.

Podaci unutar platforme MOBINCITY izvedeni su kao modularni slojevi u logičkom grafu optimizacijskog algoritma. Graf ima i sučelja prema alternativnim načinima transporta i nije ograničen samo na korištenje električnog vozila.



Slika 6. Arhitektura modularnog algoritma za optimiranje putovanja - logički intermodalni slojevi u grafu



Slika 7. Model integracije elektroenergetskog sloja sa slojem električnih vozila

Slojevi ovog grafa su:

- cestovni sloj - u ovom sloju težine i postojanje bridova odražavaju ceste kroz koje FEV može voziti zajedno s utroškom energije na tim segmentima
- pješački sloj - sloj koji uključuje samo segmente grafa gdje je dozvoljeno hodanje
- slojevi javnog prijevoza (autobus, metro, tramvaj, brod) - u optimizaciju je uključen i alternativni transport putem javnog prijevoza
- slojevi prikladnih lokacija za parkiranje s mogućim punjenjem baterija
- sloj elektroenergetskog sustava i čvorišta u elektroenergetskoj mreži
- eventualno, ostali alternativni načini prijevoza poput gradskog sustava za dijeljenje bicikala.

U načelu svi su navedeni slojevi dinamički i adaptivni. Sustav za obradu ulaznih podataka opisan u prethodnom poglavlju može kondicionirati težine i postojanje bridova i vrhova u svakom od ovih grafova.

Pored ovih slojeva koji su vezani za stvarne slojeve, unutar algoritma postoje i apstraktni logički slojevi koji povezuju pojedine "fizičke" slojeve - primjerice sloj elektroenergetskog sustava vezan je sa slojem punionica. Očito je da u ovom kontekstu platforma MOBINCITY kao platforma usmjerena na pametni grad izlazi iz striktnih okvira optimiranja usmjerenog prema vozaču električnog vozila i promatra vozača kao *mobilnog građanina* koji želi putovati od jedne točke do druge. Optimalna sekvenca bridova u tom grafu onda može uključivati i putovanje javnim prijevozom na dijelu puta. Primjerice, sustav će moći sugerirati mobilnom građaninu da otputuje svojim električnim vozilom do rubnog dijela grada i ostavi tamo svoje vozilo, te nastavi put javnim gradskim prijevozom. Pritom će sustav, naravno, poštivati želje i odabire korisnika i neće sugerirati opcije koje korisnik smatra nevažnim. Također, i sustav i algoritam su modularni te izostanak nekog od slojeva ne mijenja funkcionalnost optimizacijskog algoritma.

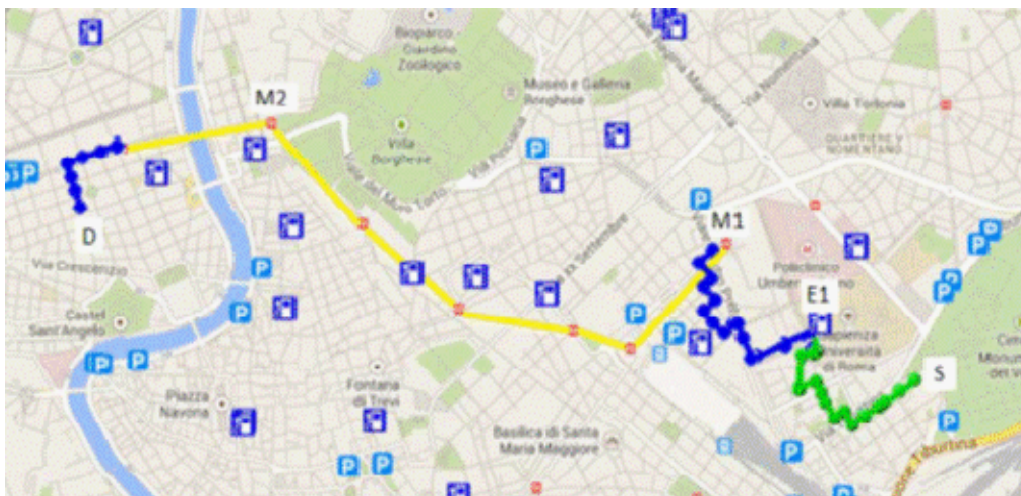
Slika 8 prikazuje rezultat korištenja gore opisanog modula za planiranje putovanja u kojem korisnik želi optimalnim putem doći od točke S do točke D uz minimalnu potrošnju energije. S obzirom na multimodalnost MOBINCITY platforme, izabrani preferirani načini kretanja su :

- električno vozilo (međutim baterija je skoro prazna)
- podzemna željeznica
- hodanje (do 1,5 km)

Korištenjem MOBINCITY platforme korisniku se sugerira sljedeći način putovanja od točke S do točke D:

- vožnja električnim vozilom od početne točke S do punionice E1 i ostaviti ga na punjenju,

- hodanje od punionice E1 do stanice podzemne željeznice M1,
- vožnja podzemnom željeznicom od stanice M2,
- hodanje od stanice podzemne željeznice M2 do željene točke destinacije D.



Slika 8. Rezultati simulacije algoritma za optimalno planiranje trase puta

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad opisuje osnovnu arhitekturu platforme MOBINCITY, s naglaskom na algoritamsku podlogu i osnove implementacije sustava za planiranje rasporeda za punjenje električnih vozila na punionicama te sustava za optimalno planiranje putovanja. Ovdje prikazani algoritmi čine algoritamski temelj platforme pametne (električne i druge) mobilnosti u pametnom gradu.

5. LITERATURA

- [1] Kempton W, Tomic J (2005) Vehicle-to-grid power fundamentals: calculating capacity and net revenue. *J Power Sources* 144:268–279
- [2] 12. Letendre SE, Kempton W (2002) The V2G concept: a new model for power? *Public Util Fortnight* Feb 15, pp 16–26
- [3] European Comission (2009) Mobility and transport. Road safety: vehicle categories [online]. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/vehicles/categories_en.html
- [4] www.mobincity.eu
- [5] Dudjak, Viktorija; Keko, Hrvoje; Prebeg, Filip: Predefinirani stilovi vožnje kao dio planskog i optimiziranog korištenja električnih vozila, *Savjetovanje o novim tehnologijama – SONT*, Šibenik 2014.
- [6] Keko, Hrvoje; Dudjak, Viktorija; Prebeg, Filip: Algoritmi i struktura korištenja e-vozila u ovisnosti o energetskom i prometnom okruženju, *Savjetovanje o novim tehnologijama – SONT*, Šibenik 2014.
- [7] Di Giorgio, A.; Liberati, F.; Canale, S., "IEC 61851 compliant electric vehicle charging control in smartgrids," *Control & Automation (MED)*, 2013 21st Mediterranean Conference on, vol., no., pp.1329,1335, 25-28 June 2013. doi: 10.1109/MED.2013.6608892