



# Electric Vehicle Battery Aggregator

Ivan Pavić

Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER)

Završna diseminacija projekta

FER, Zagreb, 27. rujna 2018

# O projektu EVBASS

- Financira Hrvatska zaklada za znanost
- Budžet 748 tisuća kn
- Pridruženi partneri:
  - Sveučilište Aalborg
  - HEP Operator distribucijskog sustava
  - Ekonomski fakultet, Zagreb
- Listopad 2015 – rujan 2018



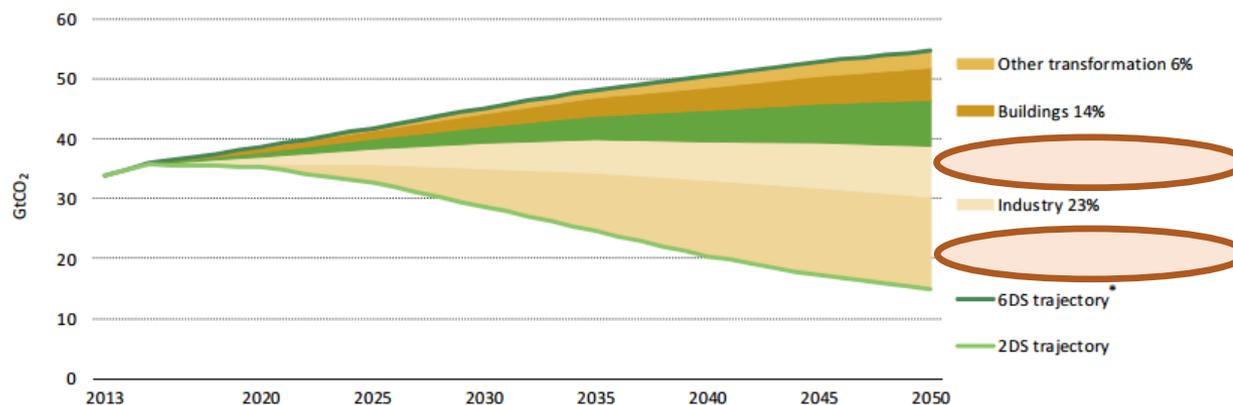
# Sadržaj

- Uvodno: e-mobilnost, energetika & okoliš
- Zašto pametno punjenje EV?
- EVA u istraživačkoj zajednici
- E-mobilnost u stvarnom svijetu
- Kako spojiti ta dva svijeta? Naš prijedlog → EVBA
- Prednosti EVBA modela
- Primjer rezultata EVBA modela

# Politika smanjenja emisija stakleničkih plinova

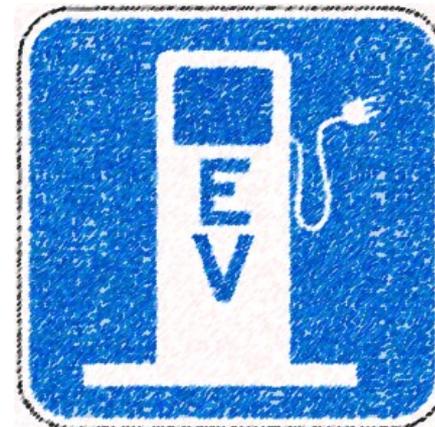
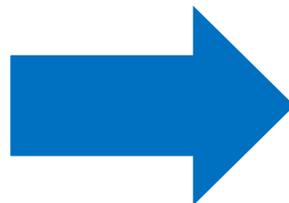
- Emisije stakleničkih plinova:
  - Po sektoru do 2050
  - 2°C u odnosu na 6°C trajektoriju

IEA



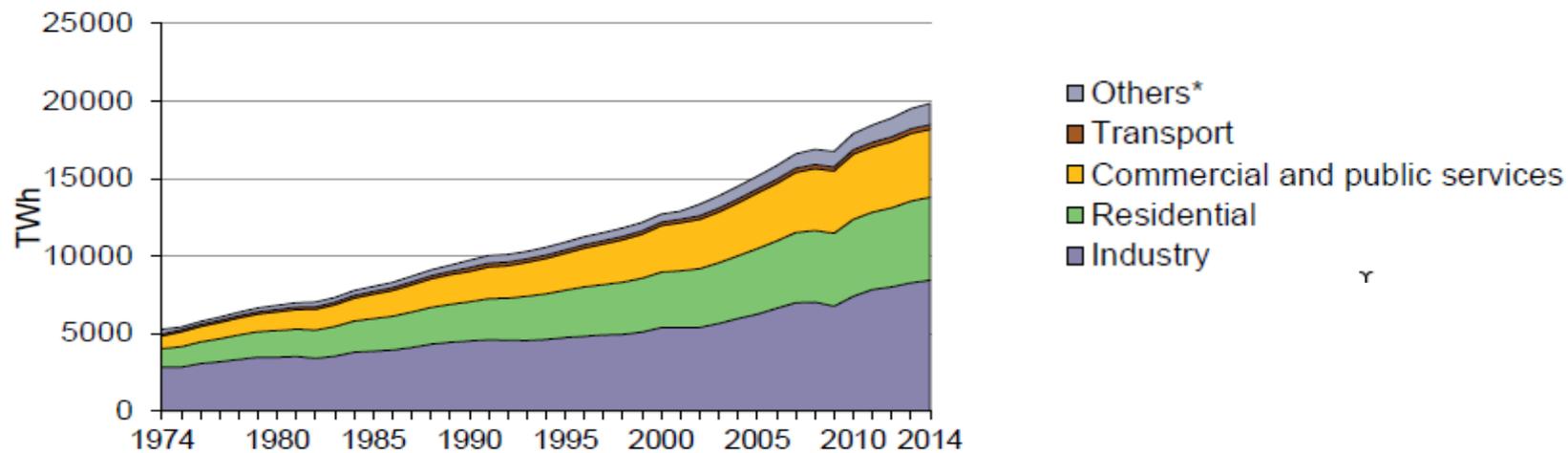
# EV – rješenje za GHG emisije

- 18% emisija GHG plinova potrebno u prometnom sektoru
- Obećavajući koncept → elektrifikacija prometa
  - Motori s unutrašnjim izgaranjem → električni pogon
  - Javni transport, taksi službe, osobna vozila, industrijska vozila, kamioni....



# Potrošnja električne energije...

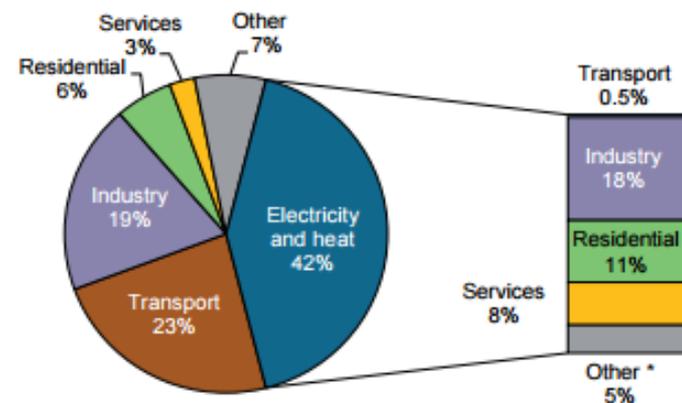
- Kontinuirani porast potrošnje u svijetu
- Promet zauzima manji dio (<1%)
- Elektrifikacija prometa kao pasivnog trošila:
  - Dodatni porast potrošnje električne energije
  - Potrebne nove investicije u mrežu i proizvodne kapacitete



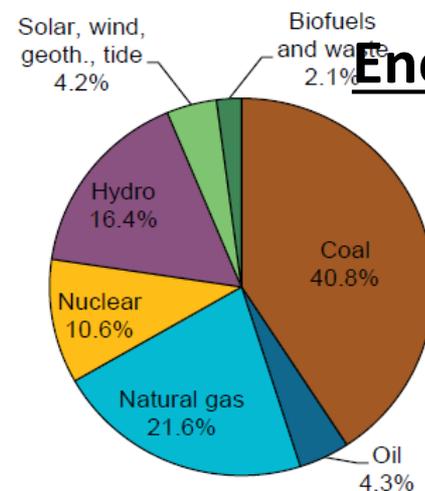
# EES & emisije GHG

- IEA – International Energy Agency
  - EES → 42% of total GHG
  - Do2050. → 39% emisija GHG potrebno u EES-u
- Preduvjet za elektrifikaciju prometa → niskougljični sustav
  - Trenutno, dvije trećine elektrana je na fosilna goriva
  - EV mogu prebaciti emisije iz naselja u elektrane
  - Ukupne emisije ostaju skoro nepromijenjene

## GHG emisije

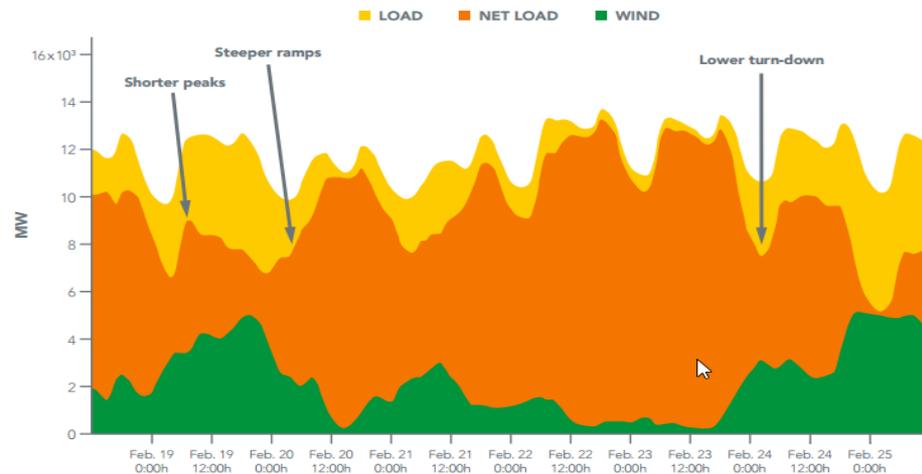
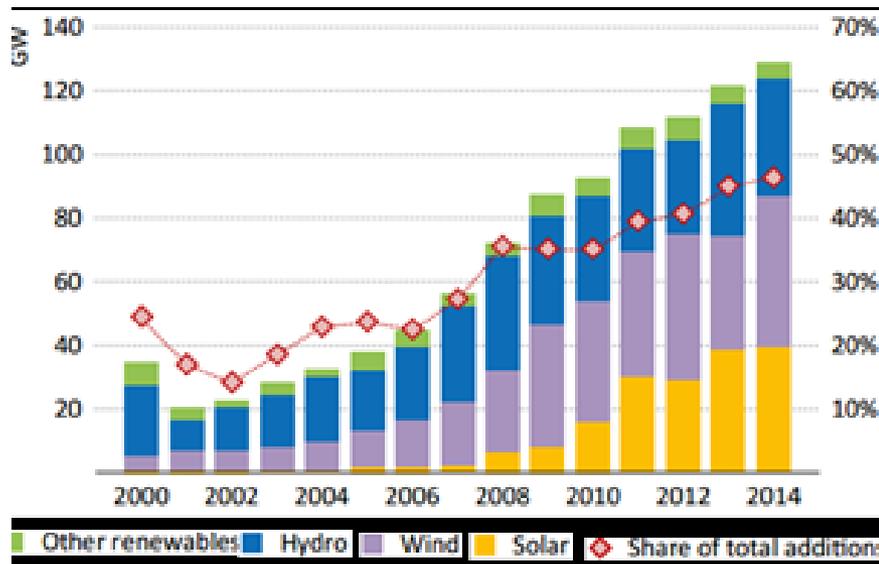


## Energetski mix



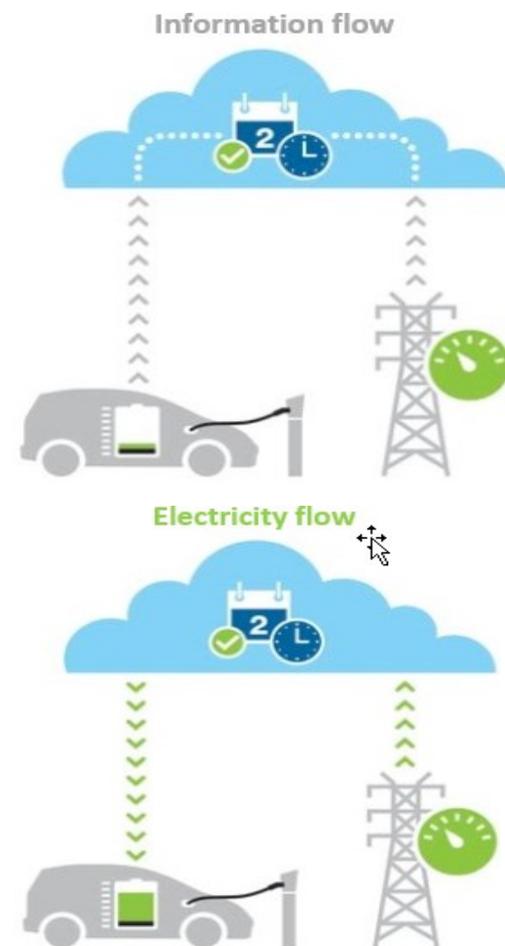
# Niskouglični EES → nužan kod elektrifikacije prometa

- U 2015. instalirani kapacitet u OIE bio je veći od 50% ukupnog instaliranog kapaciteta
- Više OIE → veću potražnju & cijenu fleksibilnosti



# EV – rješenje za GHG emisije (2)

- EV posjeduju bateriju → EV posjeduju fleksibilnost prema mreži
- EV ne smiju biti nova pasivna trošila u sustavu
- EV bi trebala imati mogućnost pametnog punjenje kako bi se:
  - 1.) Minimizirale investicije u EES-u zbog nove potrošnje EV u sustavu
  - 2.) Minimizirale investicije zbog novih OIE u sustavu



# Infrastruktura za punjenje EV

- Spore & srednje brze punionice → tijekom parkinga (duga stajanja, male snage), prednost naspram konvencionalnih vozila, visoka fleksibilnost prema mreži
- Stanice za brzo punjenje → najbližije konvencionalnom načinu punjenja, niska razina fleksibilnosti
- Stanice za zamjenu baterija → zamjena prazne s punom baterijom, visoka fleksibilnost
  - Nema standardizacije veličine, oblika te lokacije baterije u EV
  - Zahtjeva velike investicijske troškove
  - Zabranjeno punjenje baterija na ostalim punjačima, pogotovo stanicama za brzo punjenje
- Punjenje za vrijeme vožnje → u ranoj istraživačkoj fazi

# Kako iskoristiti fleksibilnost EV?

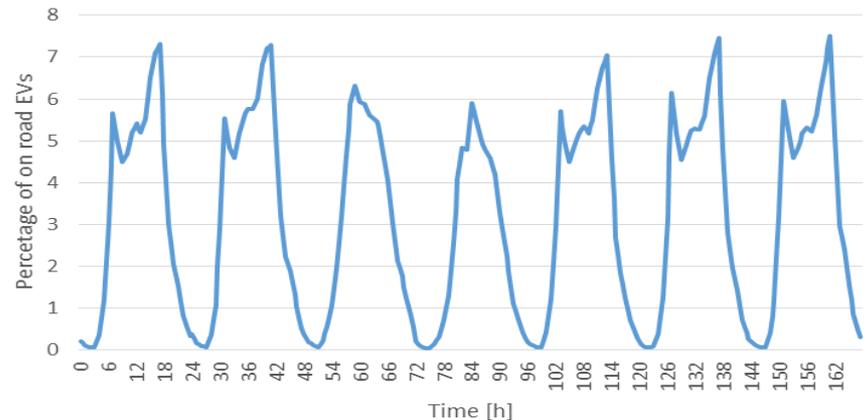
- EV imaju baterije malog kapaciteta (20-85 kWh) te malih snaga (3-50 kW)
- Slično kao i opskrbljivač kod kućanstava, nabava električna energija te pružanje usluga za EV se mora obavljati preko veleprodajnog igrača
- EV agregator ili EVA: Veleprodajni igrač zadužen za nabavku (ili prodaju) električne energije za EV te za trgovanje njihovom fleksibilnošću

# EV – agregirani model

- Osnova jednadžba EV flote
  - Agregirana baterija cijele flote EV
  - Baterija s varijabilnim kapacitetom koji ovisi o broju parkiranih EV
  - Baterija čiji SOE ovisi o energiji akumuliranoj u pojedinačnim EV baterijama

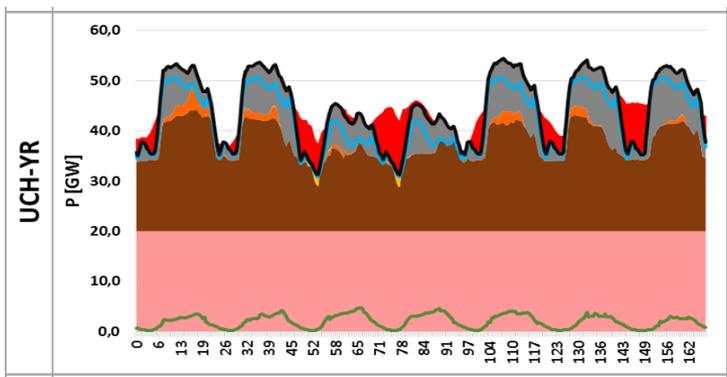
$$S_{t,i}^{-EV} = S_{t-1,i}^{-EV} + S_{t,i}^{arr-EV} - S_{t,i}^{leav-EV} + P_{t,i}^{c-EV} * \eta_i^{c-EV} * \Delta t - P_{t,i}^{d-EV} / \eta_i^{d-EV} * \Delta t + S_{t,i}^{add-FCS}$$

- Ulazni podatci:
  - Proizvodnja VE
  - Potrošnja sustava
  - Ponašanje vozača

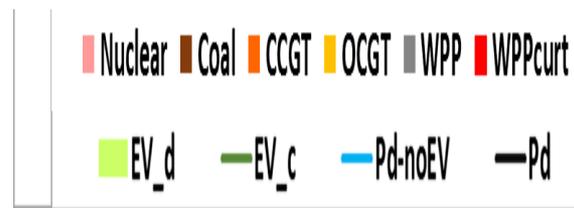
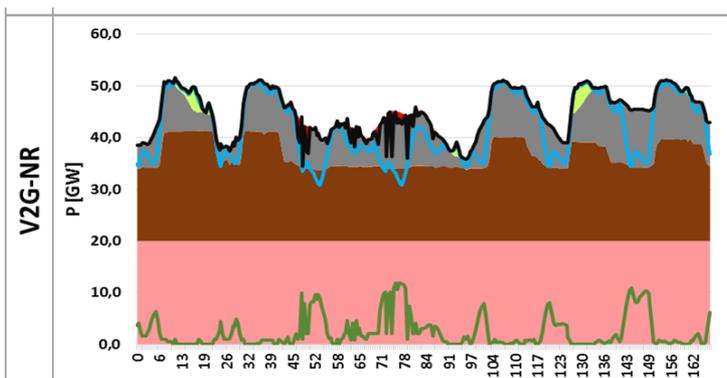
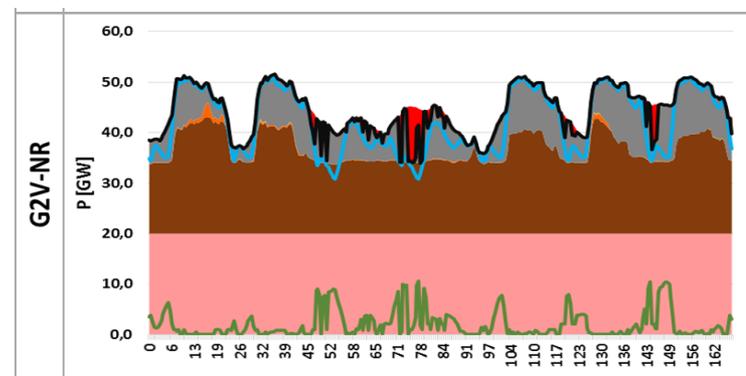


# EV – agregirani model primjer

## Ne-upravljivo punjenje



## G2V Upravljivo punjenje



## V2G Upravljivo punjenje & pražnjenje

# EVA u literaturi (1)

- Veleprodajni igrač zadužen za nabavku (ili prodaju) EE za EV te za trgovanje njihovom fleksibilnošću
- U novijoj literaturi, EVA se modelira na dva načina:
  - Kroz jednadžbu jednakosti energije u baterijama s periodima dostupnosti za punjenje,

$$E_i^r = (SOE_i^{dep} - SOE_i) \cdot E_i^{bat}$$

$$T_i^r = T_i^{dep} - k/900 \quad \forall i$$

$$soc_{t,v} = soc_{t-1,v} + \eta_v^{chg} p_{t,v}^{emchg} \Delta t - p_{t,v}^{emds} \Delta t - \xi_v \frac{S_{t,v}}{\sum_{t \in T} S_{t,v}} \quad \forall t \in T, v \in V$$

- Ili sa 4 vrijednosti: vrijeme i SOE EV pri dolasku na mrežu te predviđeno vrijeme i SOE odlaska sa mreže,
- U oba načina se modeliraju periodi dostupnosti za punjenje te periodi kada su EV u vožnji (u prvom implicitno, u drugom eksplicitno)

## EVA u literaturi (2)

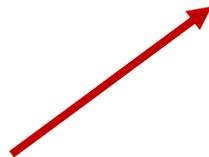
- Zanemaruje se činjenica da EV izmjenjuju različite punjače tokom vremena
- Drugim riječima, punjači su ili u potpunosti zanemareni ili je svjesno definiran samo određeni tip punjača (kod kuće/na poslu/na parkiralištu)
- EV su razmatrana kao stacionarni punjači sa spojenim trošilima, to jest vozilima
- EVA ne grupiraju EV već njihove punjače
- Takav koncept ne pruža optimalni režim punjenja te ne otkriva pravu vrijednost upravljivosti/fleksibilnosti iz EV

# EVA u literaturi (3)

- Ako se EV puni na punjaču koji nije pokriven od strane njihovog agregatora, EV će doći sa većim SOE nego je EVA to zamislio → krivo je predvidio
- Ako se EV puni na tuđem kućnom punjaču trošak ide na vlasnika kućnog priključka
- Ako se EV puni na punjaču koji nije pokriven od strane njihovog agregatora može pružati fleksibilnost samo kroz ponuđene stavke tog punjača → pitanje degradacije baterije
- EVA je zapravo EVCA odnosno Electric Vehicle Charging Aggregator

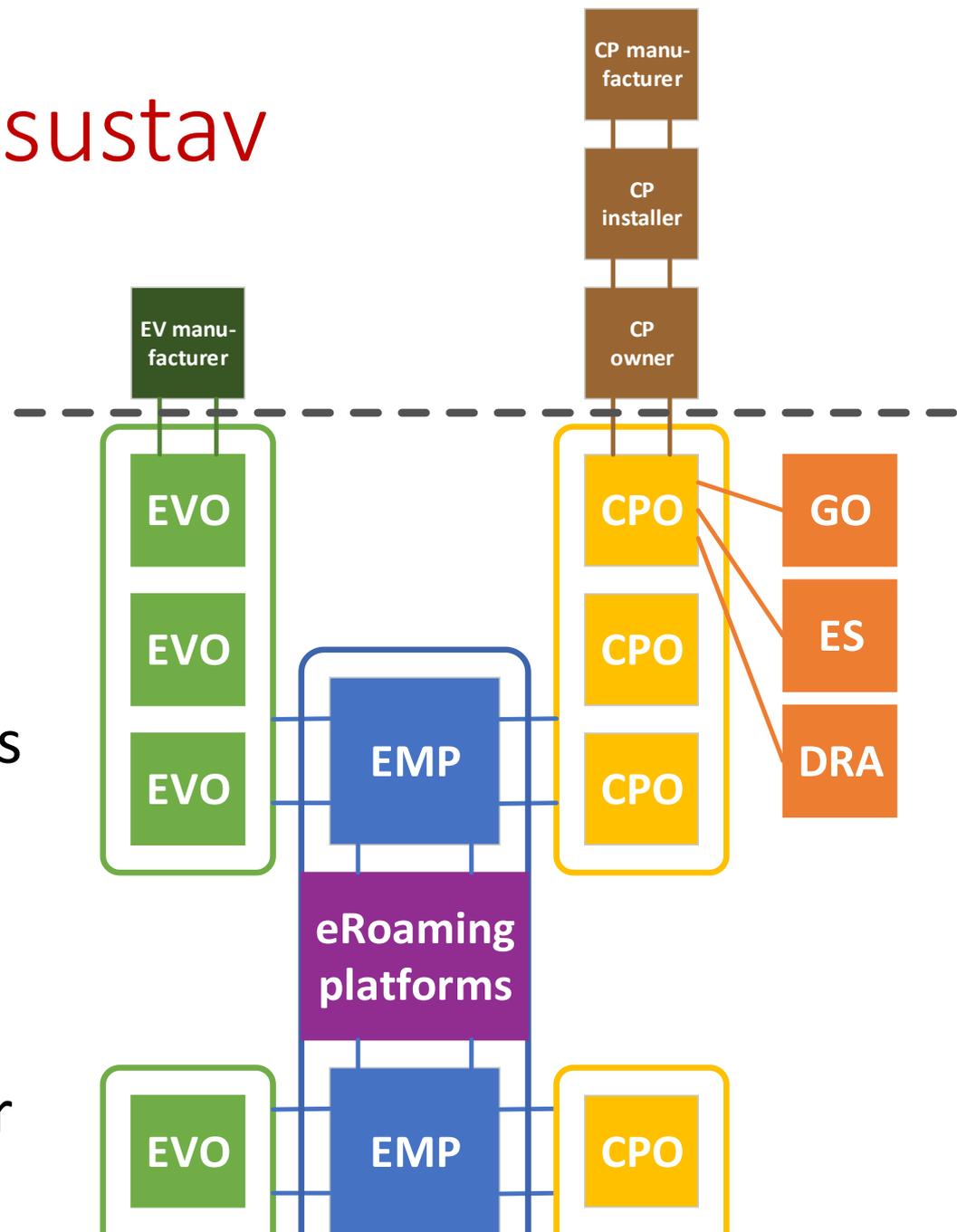
# E-mobilnost u stvarnosti

- Korisnik EV je na punionici i želi se puniti, kako dalje?



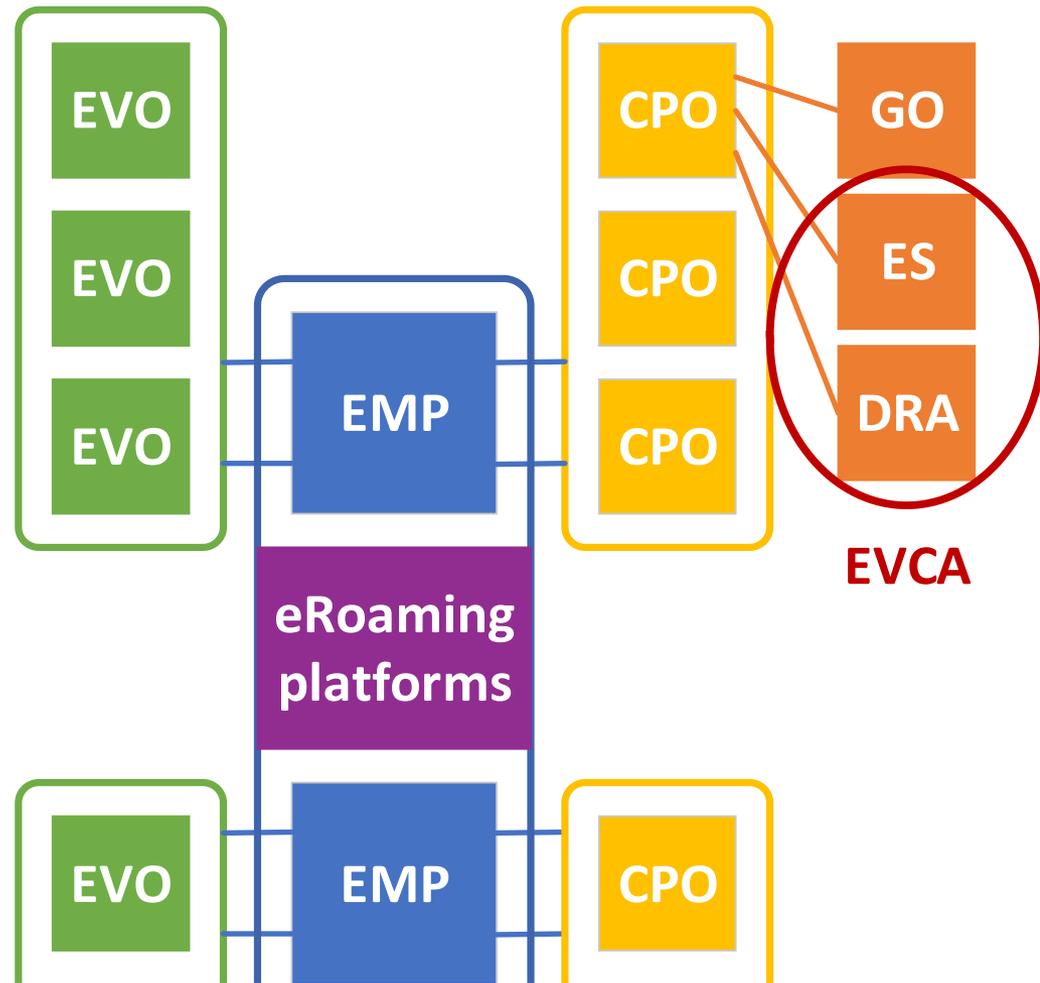
# E-mobilnost – sustav

- EVO → Electric Vehicle Owner
- CPO → Charging Point Operator
- EMP → E-Mobility Provider
- GO → Grid Operators (TSO&DSO)
- ES → Electricity Supplier
- DRA → Demand Response Aggregator



# E-mobility – EVCA?

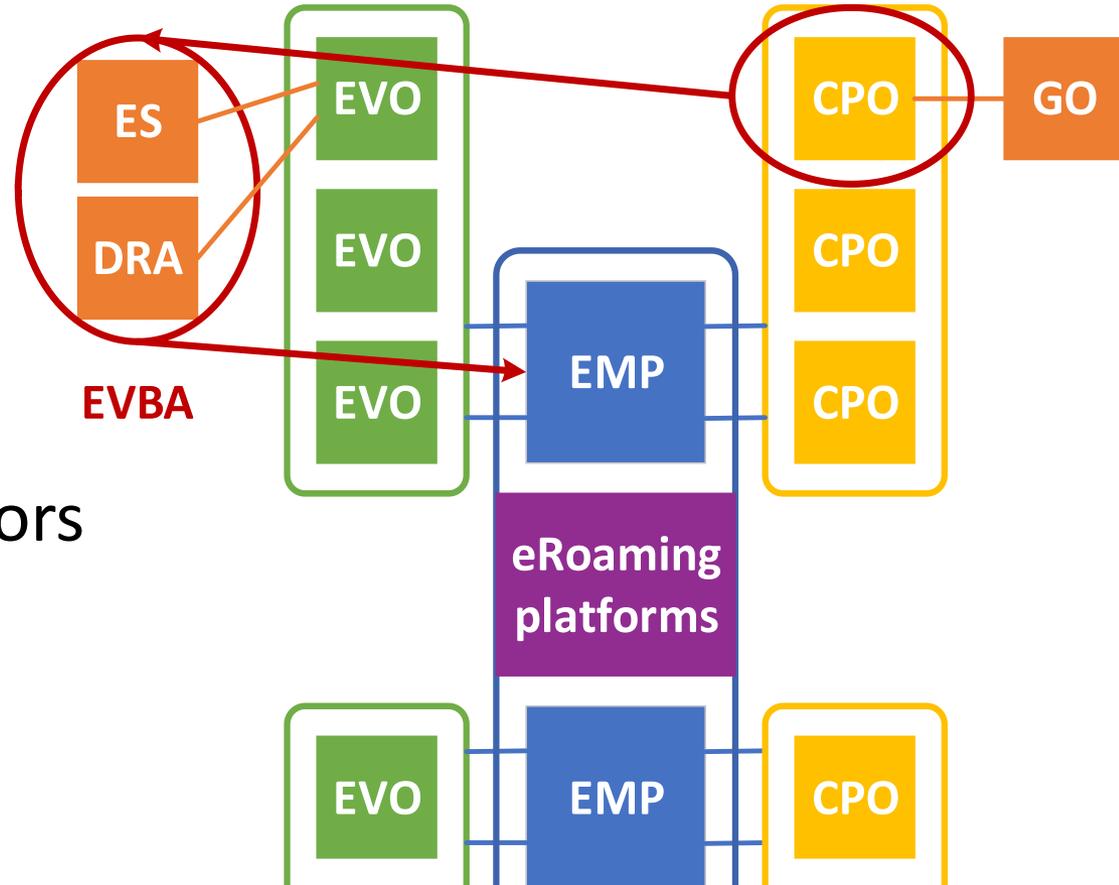
- EVO → Electric Vehicle Owner
- CPO → Charging Point Operator
- EMP → E-Mobility Provider
- GO → Grid Operators (TSO&DSO)
- ES → Electricity Supplier
- DRA → Demand Response Aggregator





# E-mobility – EVBA?

- EVO → Electric Vehicle Owner
- CPO → Charging Point Operator
- EMP → E-Mobility Provider
- GO → Grid Operators (TSO&DSO)
- ES → Electricity Supplier
- DRA → Demand Response Aggregator

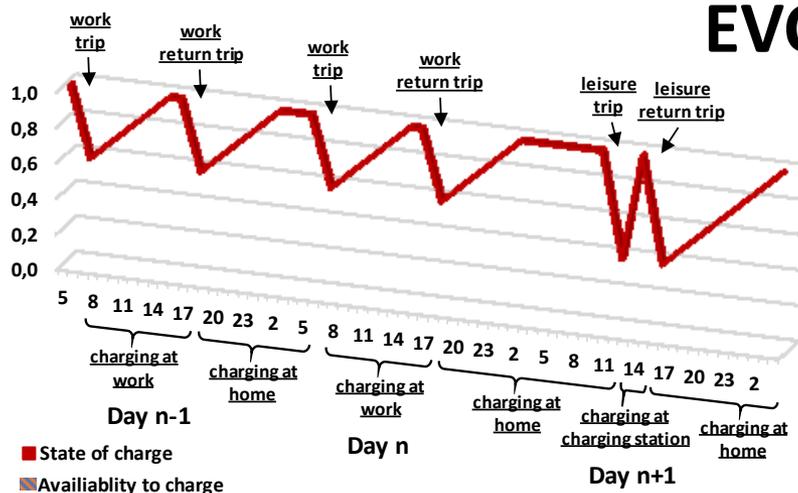


# EV Battery Aggregator – EVBA

- Veleprodajni igrač zadužen za nabavku (ili prodaju) EE za EV te za trgovanje njihovom fleksibilnošću
- EV su promatrana kao mobilne baterije koje koriste punjače kao infrastrukturu
- EVBA agregira EV ne njihove punjače, ali uzima u obzir tehno-ekonomske značajke punjača
- EVBA prati i opskrbljiva EV gdje god se ono puni
- Ovakav koncept otkriva pravu vrijednost upravljivosti/fleksibilnosti EV

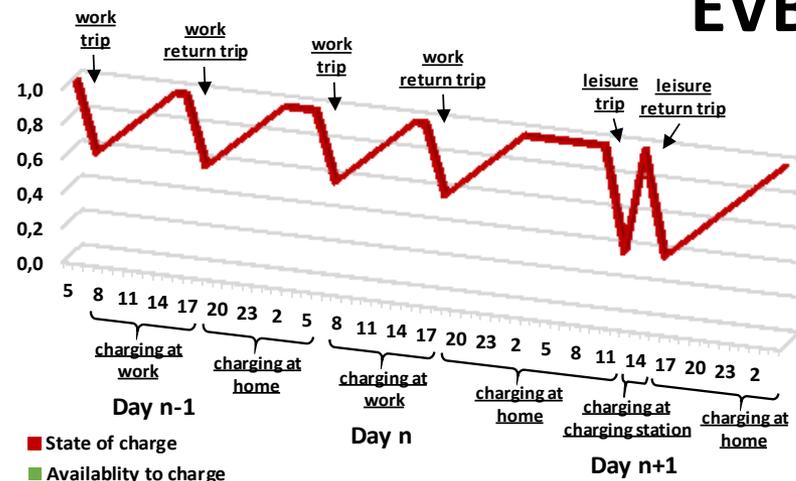
# EVCA vs EVBA

## EVCA



- Svako punjenje se razmatra kao jedan nezavisni period za pružanje fleksibilnosti
- SOE se prati dok je vozilo na punjaču

## EVBA



- Fleksibilnost se može iskoristiti kroz više budućih perioda
- SOE se prati na kontinuiranoj bazi

# EVBA - matematički model

- Energetska ograničenja
- $e_{SC}(v,d,h) = e_{CH}(v,d,h) - e_{DCH}(v,d,h)$
- $0 \leq e_{CH}(v,d,h) \leq E_{CS\_MAX}(v,d,h)$
- $0 \leq e_{CH}(v,d,h) \leq E_{EV\_MAX}(v,d,h)$
- $0 \leq e_{DCH}(v,d,h) \leq E_{CS\_MAX}(v,d,h)$
- $0 \leq e_{DCH}(v,d,h) \leq E_{EV\_MAX}(v,d,h)$
- $e_{CH}(v,d,h) \leq E_{CS\_MAX}(v,d,h) * (1 - soe_{EV}(v,d,h)) / (1 - SOE_{CH} * CAP_{BAT}(v))$
- $e_{CH}(v,d,h) \leq E_{EV\_MAX}(v,d,h) * (1 - soe_{EV}(v,d,h)) / (1 - SOE_{CH} * CAP_{BAT}(v))$
- $0 \leq e_{FC}(v,d,h) \leq E_{FCS\_MAX}(v,d,h)$

# EVBA - matematički model (2)

- SOE ograničenja

- $$\text{soe}_{EV}(v,d,h) = \text{soe}_{EV}(v,d,h-1) * \text{ETA}_{SD} + e_{CH}(v,d,h) * \text{ETA}_{CH\_ODC} * \text{ETA}_{CH\_BAT} - e_{DCH}(v,d,h) / \text{ETA}_{DCH\_ODC} / \text{ETA}_{DCH\_BAT} - E_{RUN}(v,d,h) / \text{ETA}_{DCH\_FR} / \text{ETA}_{DCH\_BAT} + e_{FC}(v,d,h) * \text{ETA}_{CH\_BAT}$$

- $$\text{SOE}_{MIN} * \text{CAP}_{BAT}(v) \leq \text{soe}_{EV}(v,d,h) \leq \text{SOE}_{MAX} * \text{CAP}_{BAT}(v)$$

- Funkcija cilja

- $$\begin{aligned} & \text{Min } \sum_d \sum_h \sum_v (C_H(d,h) * e_{CH}(v,d,h) + C_H(d,h) * e_{FC}(v,d,h) \\ & - C_H(d,h) * e_{DCH}(v,d,h) + c_{V2G}(v,d,h) * e_{DCH}(v,d,h) \\ & + C_{Grid}(d,h,cs) * e_{CH}(v,d,h) + C_{Grid}(d,h,cs) * e_{FC}(v,d,h) \\ & + C_{CS}(d,h,cs) * (e_{CH}(v,d,h) + e_{DCH}(v,d,h) + e_{FC}(v,d,h))) \end{aligned}$$

# Ulazni podaci

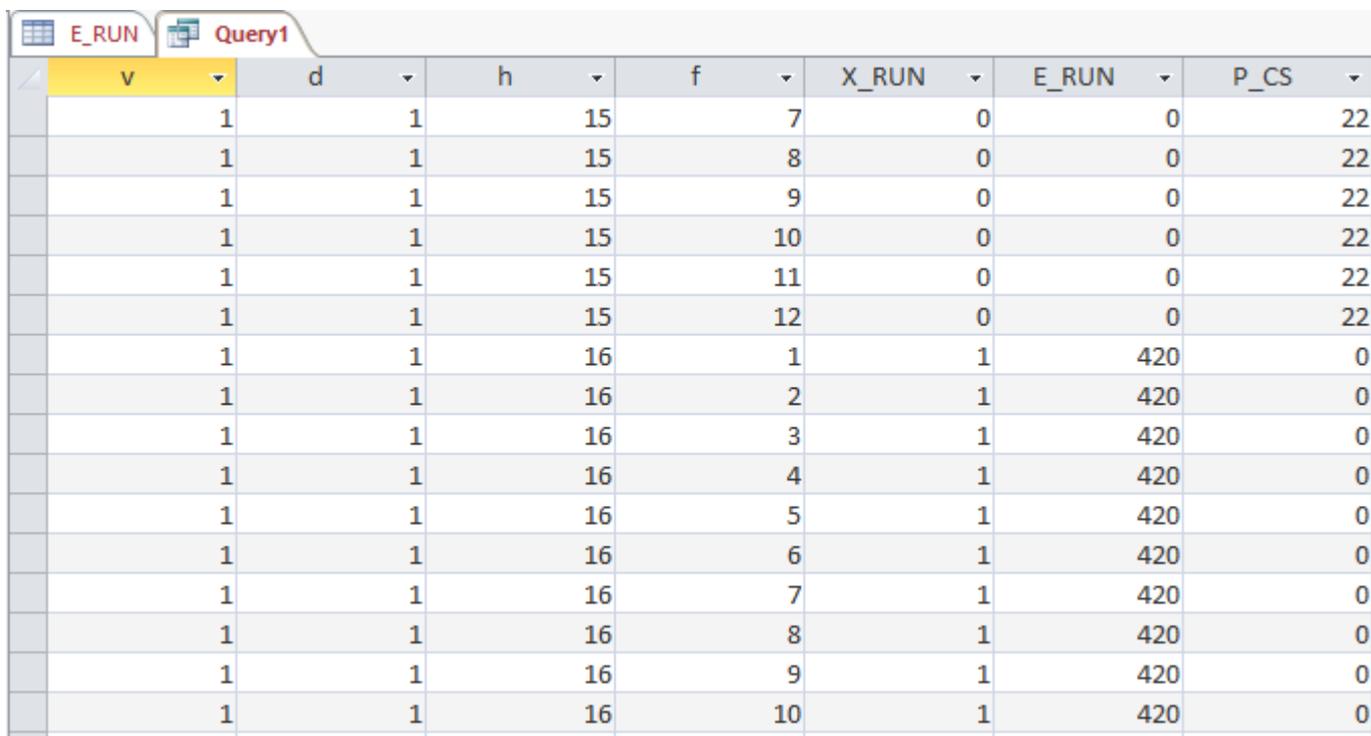
- JRC podaci: putovanja od 3200 vozila u 6 EU država

Primary Trip	Ind_ID	Day	Trip ID	Purpose	Starting Plac	Parking Plac	Starting Hour	Starting Minute
2328	56	4	2	8	2	2	23	50
97	87	7	2	8	6	1	23	50
5312	415	4	2	8	2	1	23	45
5980	467	4	5	8	2	2	23	45
1264	8	3	6	8	2	6	23	40
276	104	2	7	8	2	10	23	40

Arrival Hour	Arrival Mint	Arrival Place	Km_I	Km_F	Starting Tim	Arrival Time	Travel Dist	Travel Time	Speed	Parking Duration
23	59	1	44933	44983	23:50:00	23:59:00	50	23:45:00	40	34,41666666666667
23	59	1	207540	207543	23:50:00	23:59:00	3	0:09:00	40	#####
23	59	1	881	905	23:45:00	23:59:00	24	0:14:00	103	8,683333333333333
23	59	1	192000	192005	23:45:00	23:59:00	5	0:14:00	40	31,766666666666667
23	59	1	87	104	23:40:00	23:59:00	17	0:19:00	53	0,1833333333333333
23	42	1	51277	51280	23:40:00	23:42:00	3	0:02:00	90	11,433333333333333

# Ulazni podaci (2)

- Od putovanja do 5-min perioda

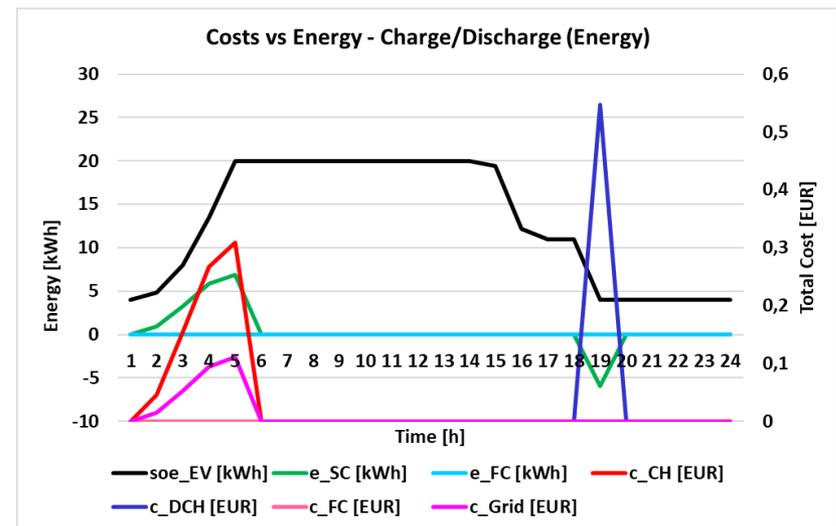
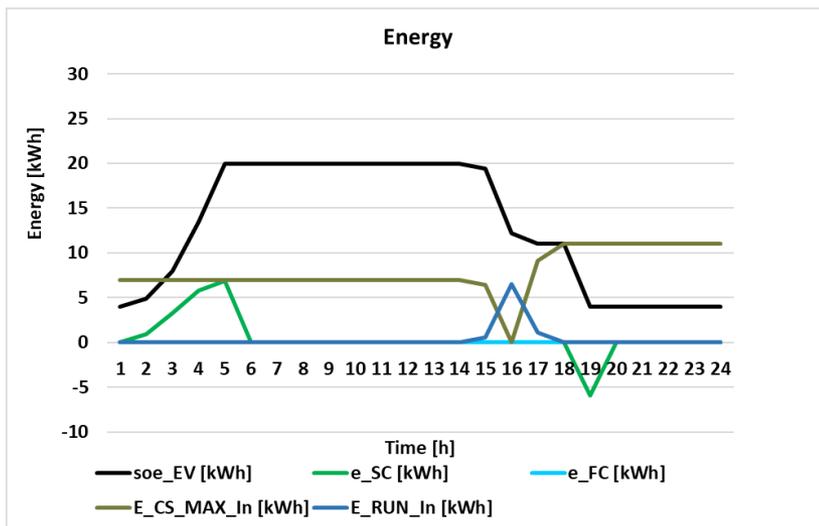
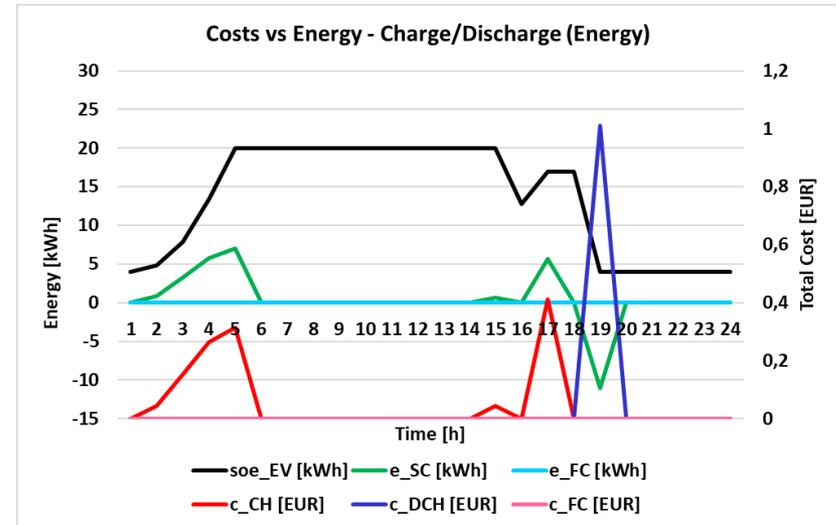
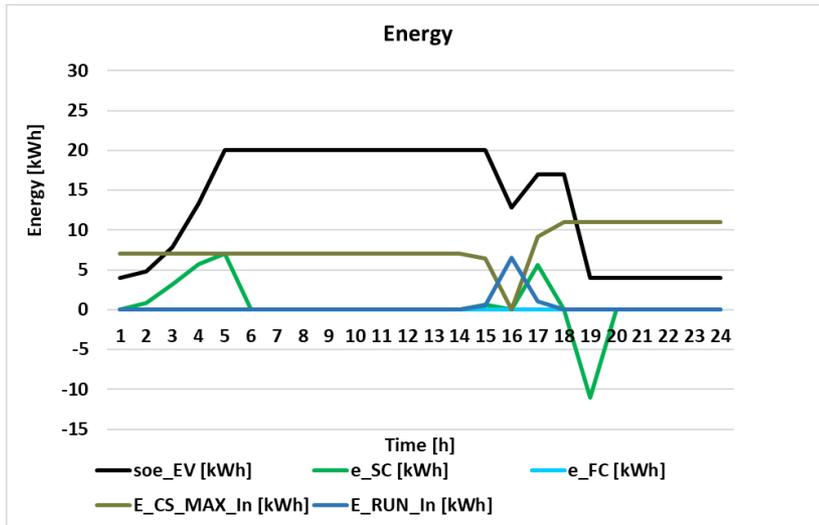


v	d	h	f	X_RUN	E_RUN	P_CS
1	1	15	7	0	0	22
1	1	15	8	0	0	22
1	1	15	9	0	0	22
1	1	15	10	0	0	22
1	1	15	11	0	0	22
1	1	15	12	0	0	22
1	1	16	1	1	420	0
1	1	16	2	1	420	0
1	1	16	3	1	420	0
1	1	16	4	1	420	0
1	1	16	5	1	420	0
1	1	16	6	1	420	0
1	1	16	7	1	420	0
1	1	16	8	1	420	0
1	1	16	9	1	420	0
1	1	16	10	1	420	0

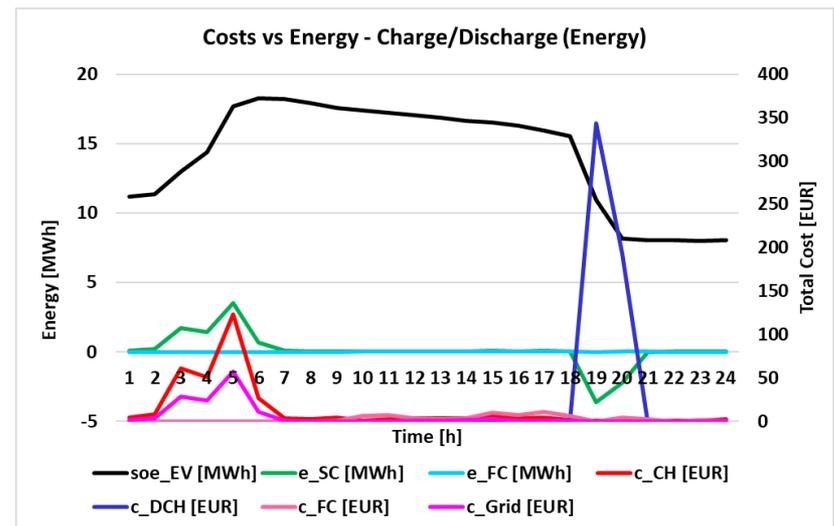
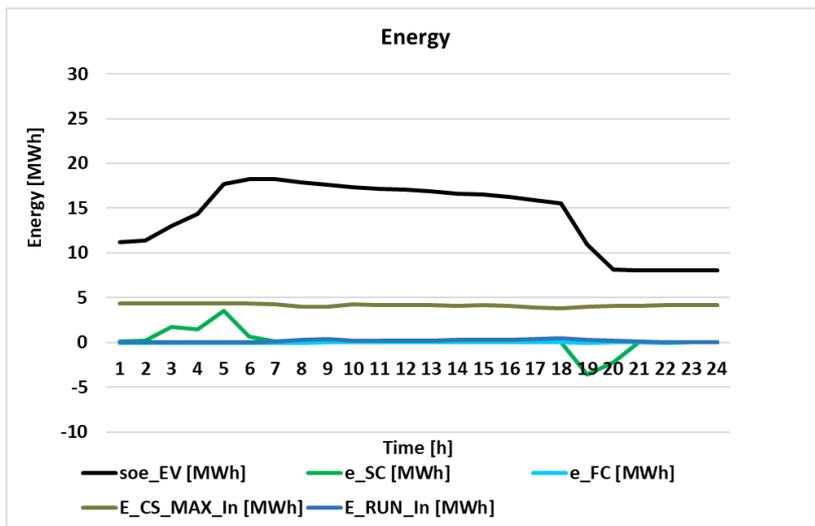
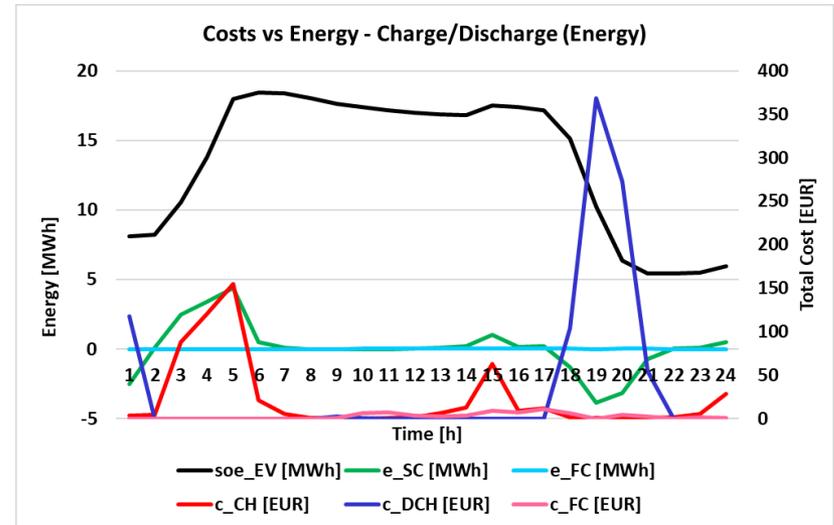
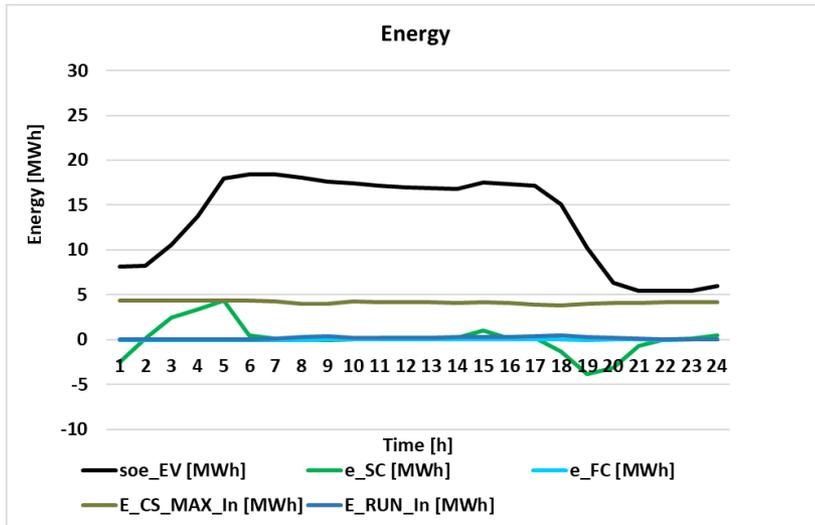




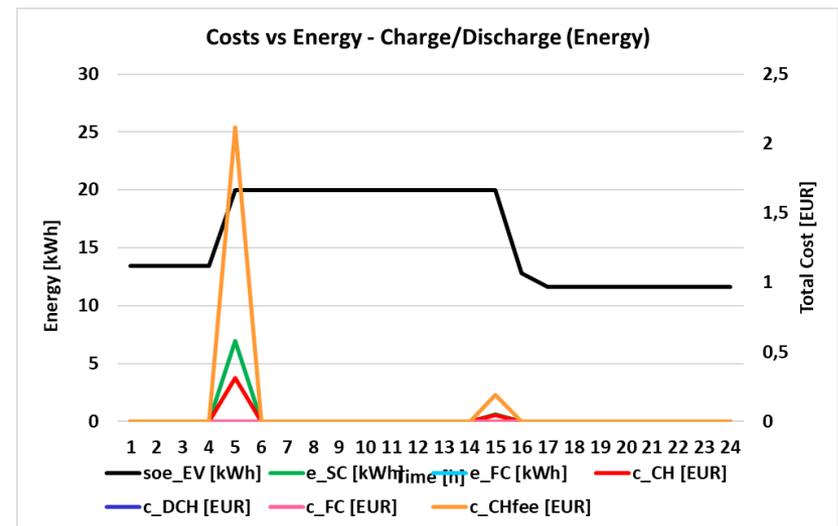
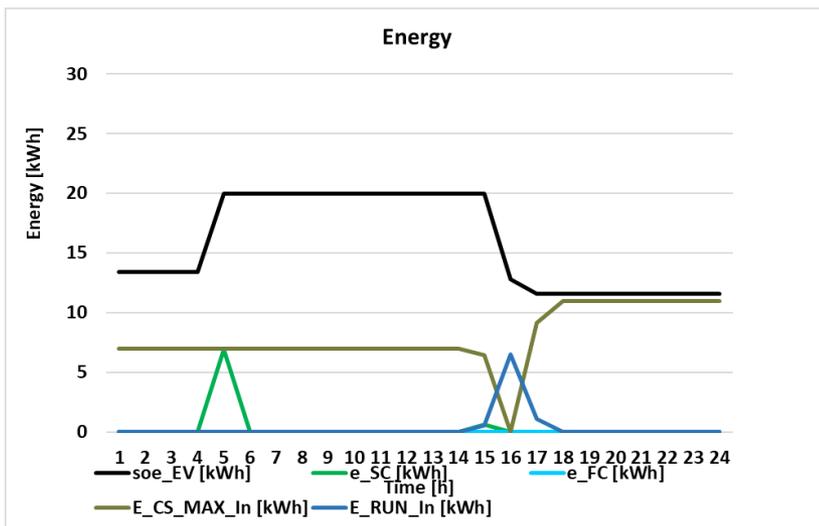
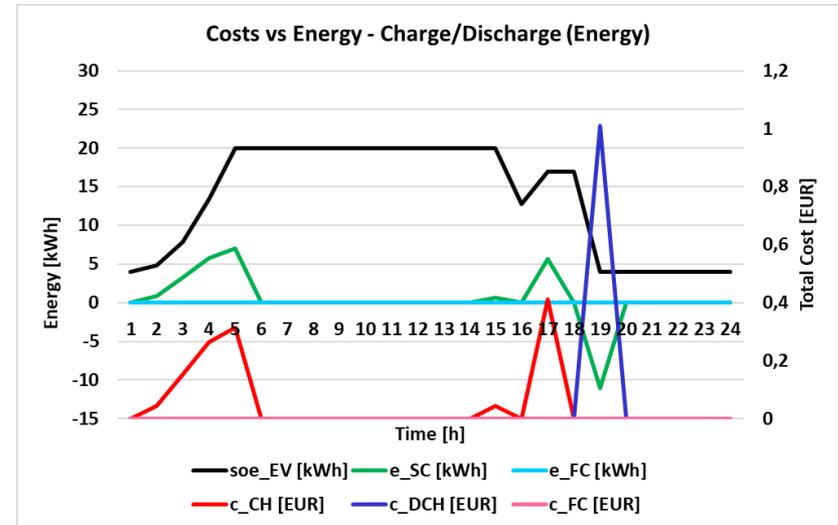
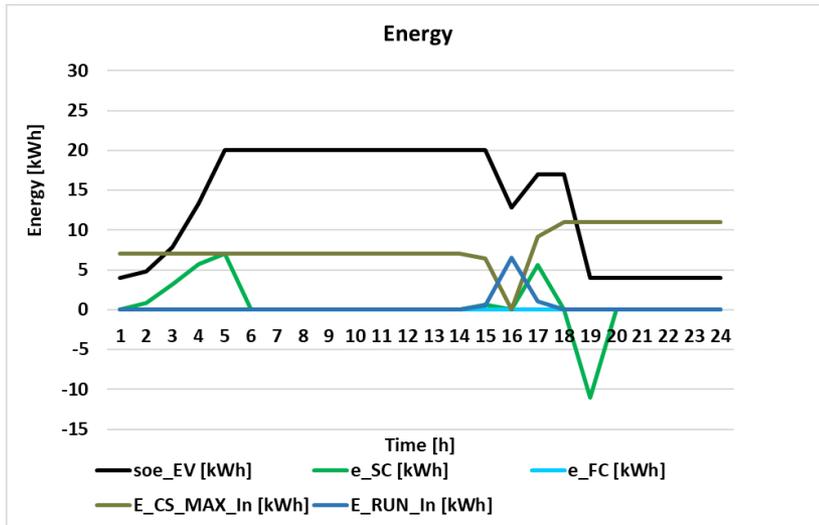
# Rezultati V2G s mrežarinom – jedan EV



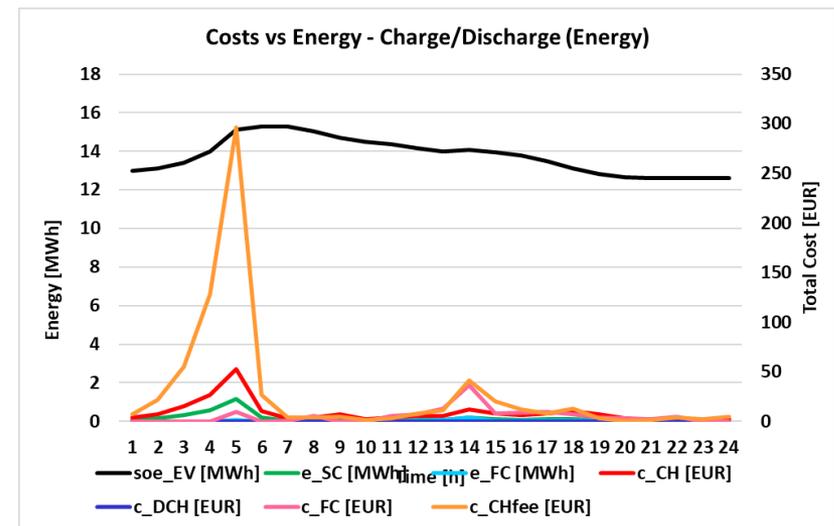
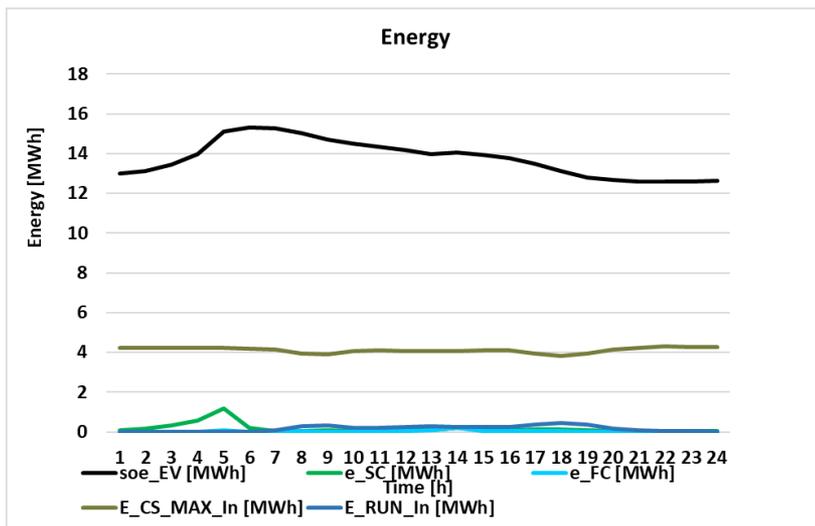
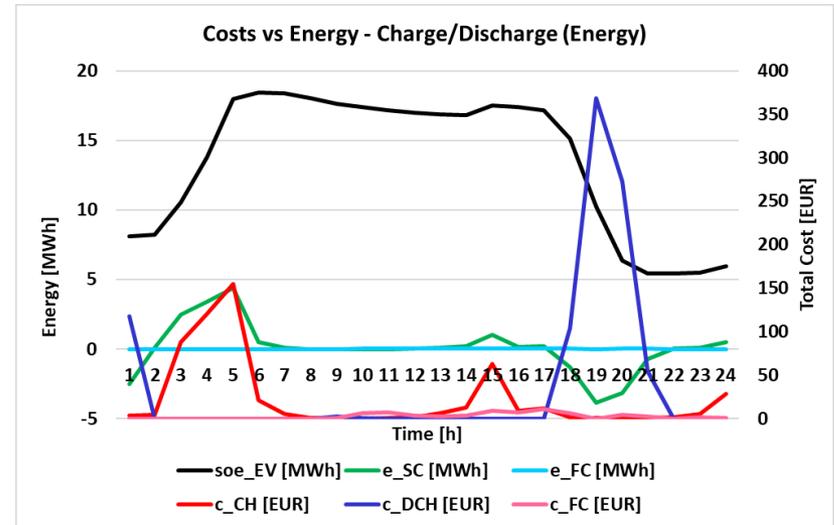
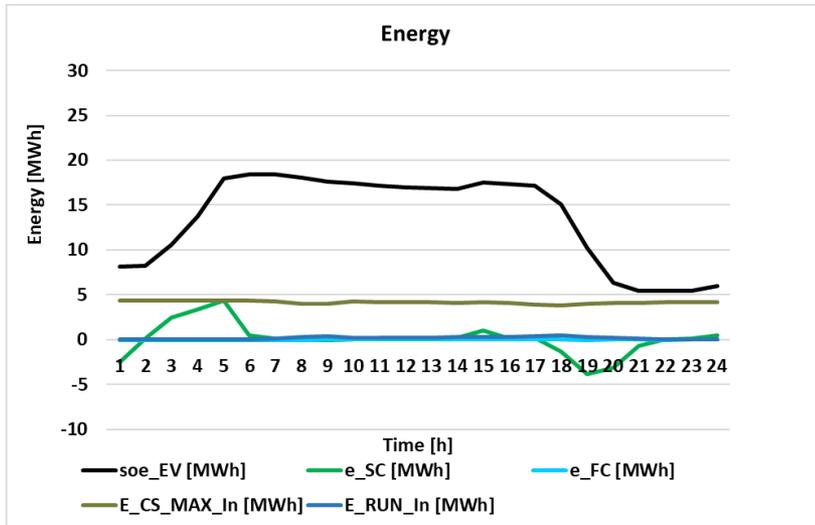
# Rezultati V2G s mrežarinom – flota EV



# Rezultati V2G s CPO fee – jedan EV



# Rezultati V2G s CPO fee – flota EV



# Poveznica EVBA i BSS

- Stanice za zamjenu baterija
  - Nema standardizacije veličine, oblika te lokacije baterije u EV
  - Zahtjeva velike investicijske troškove
  - Zabranjeno punjenje baterija na ostalim punjačima, pogotovo stanicama za brzo punjenje
- EVBA budući da raspolaže velikim brojem podataka o kretanjima vozila može znati gdje su isplative lokacije i za koje tipove vozila za gradnju BSS
- Praćenje EV, EVBA poznaje stanje njihovih baterija pri čemu može jamčiti BSS-u kontroliranu degradaciju
- EVBA može biti i vlasnik baterija pri čemu može spojiti poslove BSS i održavanja baterija

Hvala na pažnji!

[Web-page: evbass.fer.hr](http://evbass.fer.hr)

[E-mail: ivan.pavic@fer.hr](mailto:ivan.pavic@fer.hr)

