

električna vozila

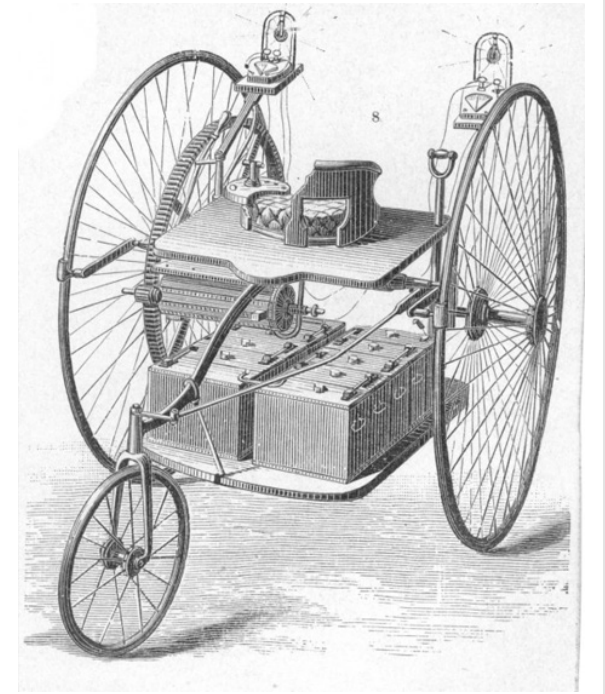
sve se mijenja, ali i ostaje isto

Hrvoje Pandžić

FER, 4. svibnja 2015.

Počeci EV

- 1828. Mađarski izumitelj Ányos Jedlik izumljuje jedan od prvih elektromotora te konstruira model automobila koji bi se napajao pomoću njegovog izuma
- 1835. Prof. Sibrandus Stratingh iz Groningena i njegov pomoćnik Christopher Becker konstruiraju malo električno vozilo napajano pomoću primarnih baterija
- 1881. William Ayrton i John Perry konstruiraju prvo električno vozilo pomoću kojeg reklamiraju svoje izume



Počeci EV

- Već 1896. predložen koncept izmjene baterija EV
- Vozilo (furgon) kupovalo se bez baterije
- Vlasnik bi plaćao uslugu na mjesečnoj razini te dodatno po prijeđenoj milji
- Funkcioniralo u razdoblju 1910-1924.

Pad i ponovni uspon EV

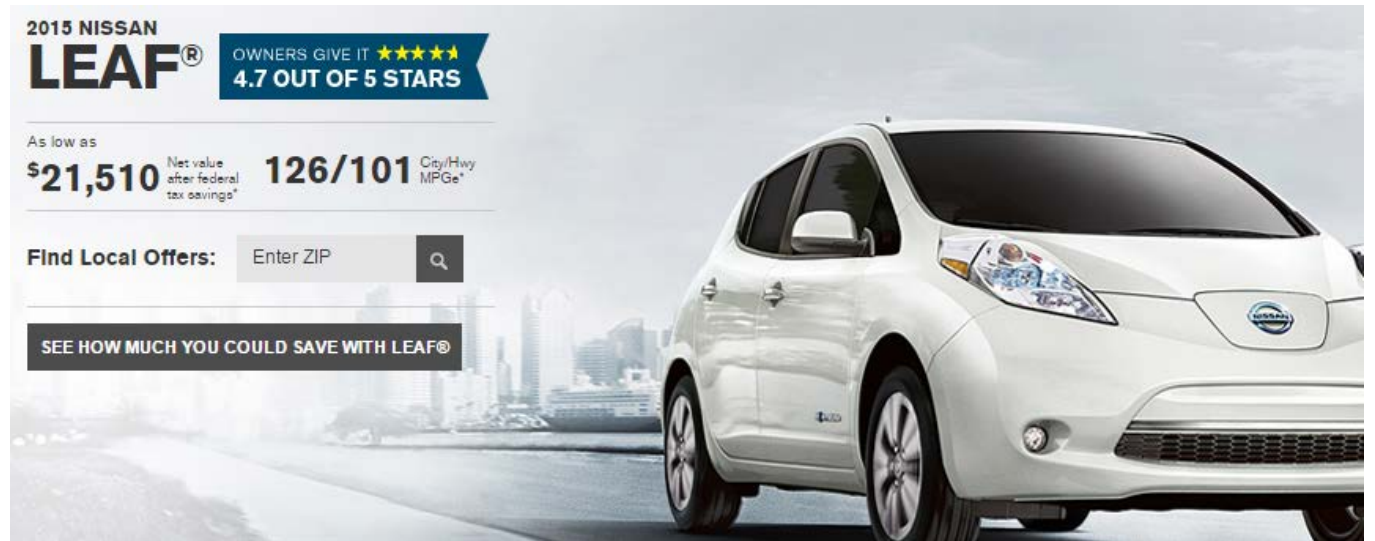
- Moderne, brze ceste, razvoj elektrostartera (anlasera), problemi s udaljenostima, dugim vremenom punjenja doveli su do kraha industrije EV
- Godinama kasnije, naftna kriza tijekom 1970-ih i 1980-tih potiču novi interes za EV
- Tijekom 1990-ih i 2000-ih, prihvaćanjem ekološke odgovornosti taj se interes znatno povećao

Pad i ponovni uspon EV

- Moderne, brze ceste, razvoj elektrostartera (anlasera), problemi s udaljenostima, dugim vremenom punjenja doveli su do kraha industrije EV
- Godinama kasnije, naftna kriza tijekom 1970-ih i 1980-tih potiču novi interes za EV
- Tijekom 1990-ih i 2000-ih, prihvaćanjem ekološke odgovornosti taj se interes znatno povećao

Baterijska EV danas

- Upotrebljavaju isključivo kemijsku energiju spremljenu u baterijama s mogućnošću ponovnog punjenja
- Najprodavanije EV je Nissan Leaf s preko 100 000 prodanih primjeraka



2015 NISSAN
LEAF[®] OWNERS GIVE IT ★★★★★
4.7 OUT OF 5 STARS

As low as
\$21,510 Net value after federal tax savings* **126/101** City/Hwy MPGe**

Find Local Offers:

SEE HOW MUCH YOU COULD SAVE WITH LEAF[®]

The advertisement features a white Nissan Leaf parked on a city street with a skyline in the background. The text is overlaid on the left side of the image.

Baterijska EV danas

- Hrvatska industrija izbacila je dva EV:
 - Loox tvrtke Dok-Ing
 - Concept_One tvrtke Rimac Automobili



Punjenje baterija

- Najzastupljenija baterijska tehnologija Li-Ion
- Cijena nove baterije je oko 80 tisuća kn (500-600 USD/kWh)
- Kućnim punjačima (Level I) snage 1.6 kW treba 15 h da napune 24 kWh bateriju
- Kućnim punjačima (Level II) snage 3.3 kW treba oko 7 h da napune 24 kWh bateriju – cijena oko 5 tisuća kn

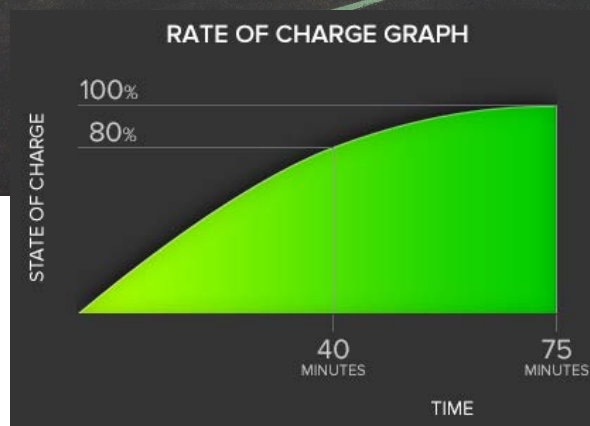
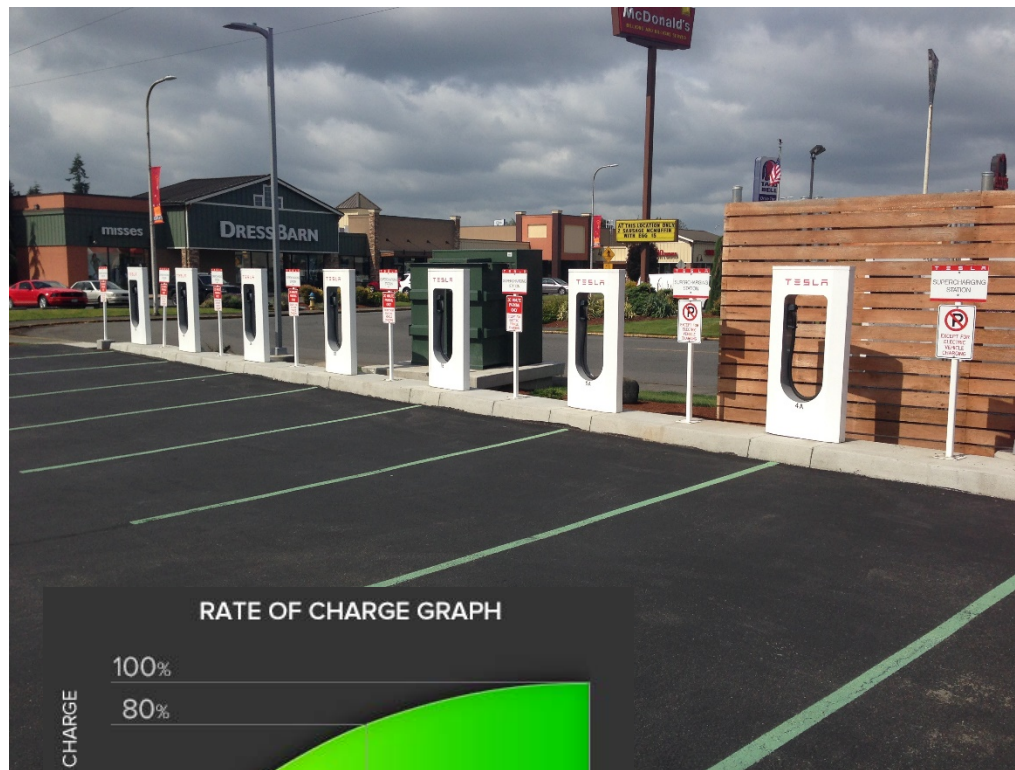
Baterijska EV danas

- Tesla Motors je jedina tvrtka koja ulaže i u infrastrukturu
- 338 stanica za brzo punjenje



Može i brže

- Model S može se puniti snagom do 120 kW



Može i brže

- Model S može se puniti snagom do 120 kW



Preostali problemi

- Dugo vrijeme punjenja, čak i Level 2 punjačima
- Punjenje superbrzim punjačima neodrživo je na razini elektroenergetskog sustava, a i dalje je sporije od benzinske pumpe
- Još uvijek je situacija znatno lošija u odnosu na vozila pogonjena motorom s unutarnjim sagorijevanjem – potrebna ulaganja u infrastrukturu

(Konačni) dio
rješenja?

- Stanica za izmjenu baterija električnih vozila (*Battery Swapping Station - BSS*) gdje se ispražnjene baterije mogu zamijeniti istovjetnim napunjenim baterijama



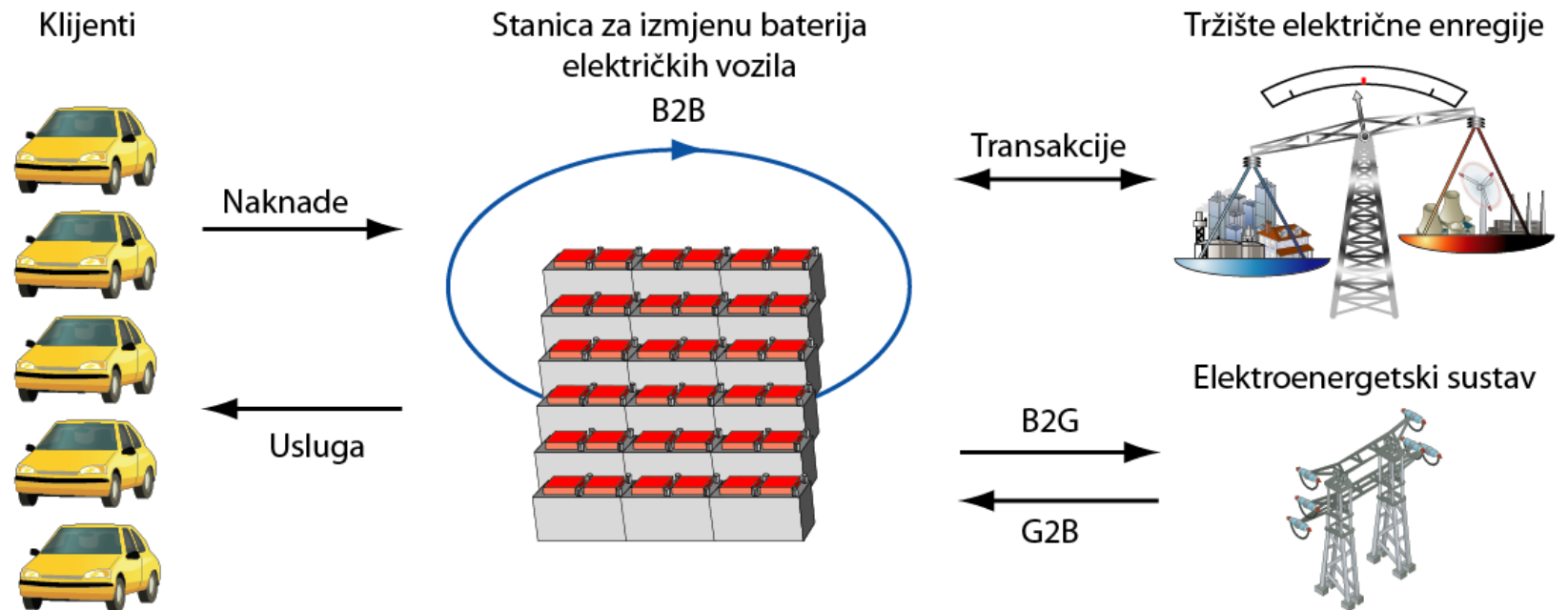
(Konačni) dio rješenja?

- U slučaju dovoljno velikog broja, nema dugog čekanja niti *range anxiety* – stvarna zamjena za benzinsku postaju
- Problem degradacije baterija – baterije u vlasništvu stanica i kao takve ih korisnik zakupljuje/iznajmljuje
- Na ovaj način korisnik ne skrbi o troškovima održavanja i vijeka trajanja baterija, već je to problem stanice za izmjenu baterija električnih vozila
- Nadalje, korisnika ne mora zabrinjavati životni vijek baterije niti način na koji se baterija puni (brzo punjenje nasuprot sporom punjenju, što utječe na životni vijek baterije)
- Navedeni troškovi moraju biti uzeti u obzir kada stanica naplaćuju korisnicima fiksnu naknadu za korištenje usluge zamjene baterija

Model stanice za izmjenu baterija EV

- Stanice za izmjenu baterija električnih vozila novi su sudionik na tržištu električne energije
- Mogućnosti spremanja energije u stanici planiraju se prema vremenski promjenjivim cijenama električne energije, primjerice određivanje cijena u realnom vremenu (*real-time pricing* - RTP)
- Stanica maksimizira svoju dobit iskorištavajući periode niskih cijena za kupnju električne energije za punjenje baterija u *Grid-to-Battery* modu rada (G2B) te prodavajući električnu energiju tijekom perioda visokih cijena pražnjenjem baterija u *Battery-to-Grid* modu rada (B2G)
- Dodatno, stanica može raditi u *Battery-to-Battery* (B2B) modu s ciljem punjenja određenih baterija energijom spremljenom u ostalim baterijama

Model stanice za izmjenu baterija EV

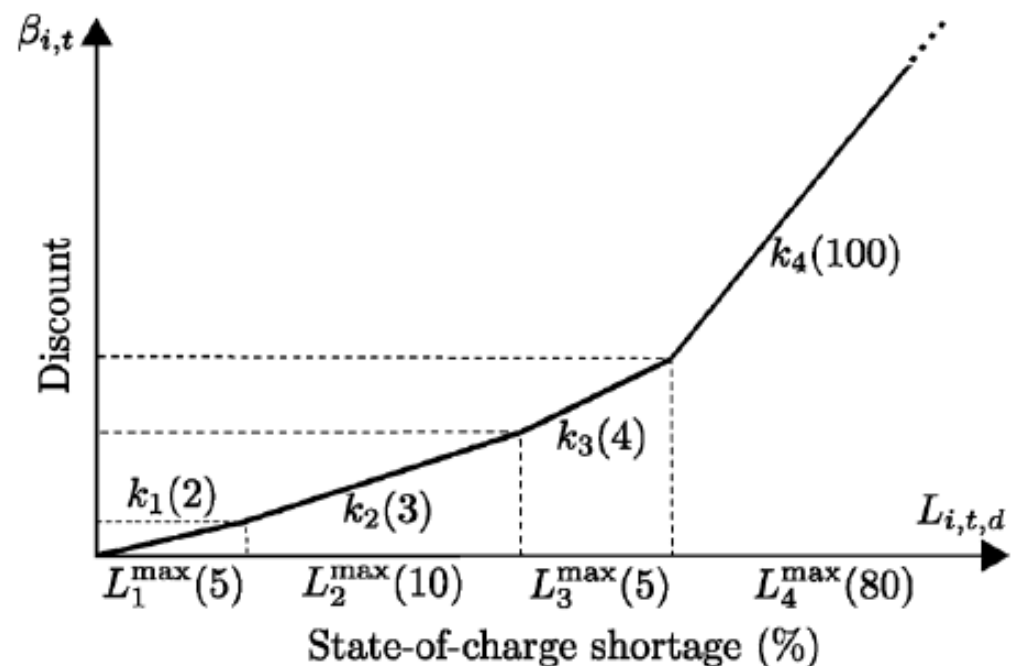


Model za dan unaprijed

- Na dan unaprijed odluke o kupnji i prodaji električne energije donose na temelju:
 - napunjenosti baterija na skladištu
 - očekivanih cijena na tržištu
 - očekivanih dolazaka vozača na zamjenu
- Rezultat modela za dan unaprijed su satne ponude za kupnju i prodaju

Model za dan unaprijed

- Na dan unaprijed odluke o kupnji i prodaji električne energije donose na temelju:
 - napunjenosti baterija na skladištu
 - očekivanih cijena na tržištu
 - očekivanih dolazaka vozača na zamjenu
- Rezultat modela za dan unaprijed su satne ponude za kupnju i prodaju
- Baterije se mijenjaju po fiksnom iznosu
- Što ako stanica nema potpuno napunjene baterije za izmjenu?



Model za dan unaprijed

- Funkcija cilja:

$$\begin{aligned} \text{maximize} \quad & BSR \sum_{(t \in T)} \sum_{(i \in I)} x_{i,t} - \sum_{(t \in T)} \lambda_t^{\text{DA}} \left(em_t^{\text{buy}} - em_t^{\text{sell}} \right) \\ & - VoCD \sum_{(t \in T)} \sum_{(g \in G)} bat_{g,t}^{\text{short}} - BSR \sum_{(t \in T)} \sum_{(i \in I)} \beta_{i,t} \quad (1) \end{aligned}$$

- Ograničenja

$$\begin{aligned} soc_{i,t} = & \left(soc_{i,t-1} + bat_{i,t}^{\text{chg}} \eta^{\text{chg}} - \frac{bat_{i,t}^{\text{dsg}}}{\eta^{\text{dsg}}} \right) \cdot (1 - x_{i,t}) \\ & + SOC_{i,t}^{\text{init}} \cdot x_{i,t} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (2) \end{aligned}$$

$$soc_{i,t-1} + soc_{i,t}^{\text{short}} \geq BC_g^{\text{max}} \cdot S_{i,g} \cdot x_{i,t} \quad \forall i \in I, g \in G, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{(i \in I)} S_{i,g} \cdot x_{i,t} + bat_{g,t}^{\text{short}} = N_{g,t} \quad \forall g \in G, t \in T \quad (4)$$

$$em_t^{\text{buy}} - em_t^{\text{sell}} = \sum_{(i \in I)} \left(bat_{i,t}^{\text{chg}} - bat_{i,t}^{\text{dsg}} \right) \quad \forall t \in T \quad (5)$$

Model za dan unaprijed

- Ograničenja

$$0 \leq bat_{i,t}^{chg} \leq (1 - x_{i,t}) P_i^{\max} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (6)$$

$$0 \leq bat_{i,t}^{dsg} \leq (1 - x_{i,t}) P_i^{\max} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{(g \in G)} BC_g^{\min} \cdot S_{i,g} \leq soc_{i,t} \leq \sum_{(g \in G)} BC_g^{\max} \cdot S_{i,g} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{(g \in G)} BC_g^{\min} \cdot S_{i,g} \leq soc_{i,t}^{short} \leq \sum_{(g \in G)} BC_g^{\max} \cdot S_{i,g} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (9)$$

$$bat_{i,t}^{dsg} \leq P_i^{\max} \cdot a_{i,t} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (10)$$

$$bat_{i,t}^{chg} \leq P_i^{\max} (1 - a_{i,t}) \quad \forall i \in I, t \in T \quad (11)$$

$$em_t^{sell} \leq M \cdot c_t \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$em_t^{buy} \leq M (1 - c_t) \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$soc_{i,t=|T|} = SOC_{i,t=0}^{init} \quad \forall i \in I \quad (14)$$

Model za dan unaprijed

- Ograničenja

$$\frac{soc_{i,t}^{short}}{\sum_{(g \in G)} S_{i,g} \cdot BC_g} = \sum_{(d \in D)} L_{i,t,d} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (15)$$

$$\beta_{i,t} = \sum_{(d \in D)} k_d \cdot L_{i,t,d} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (16)$$

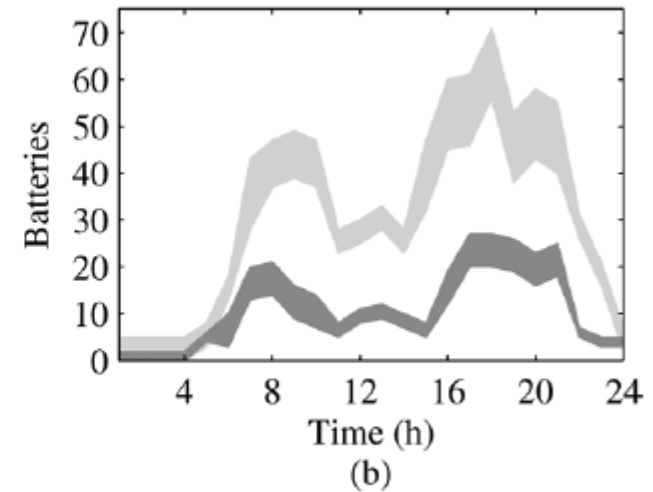
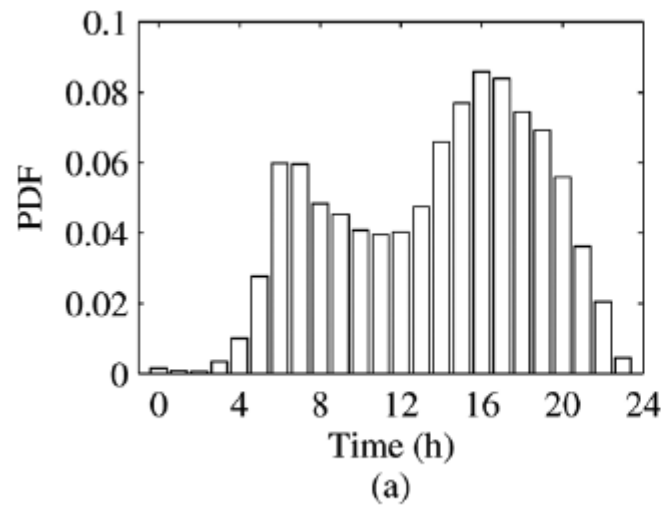
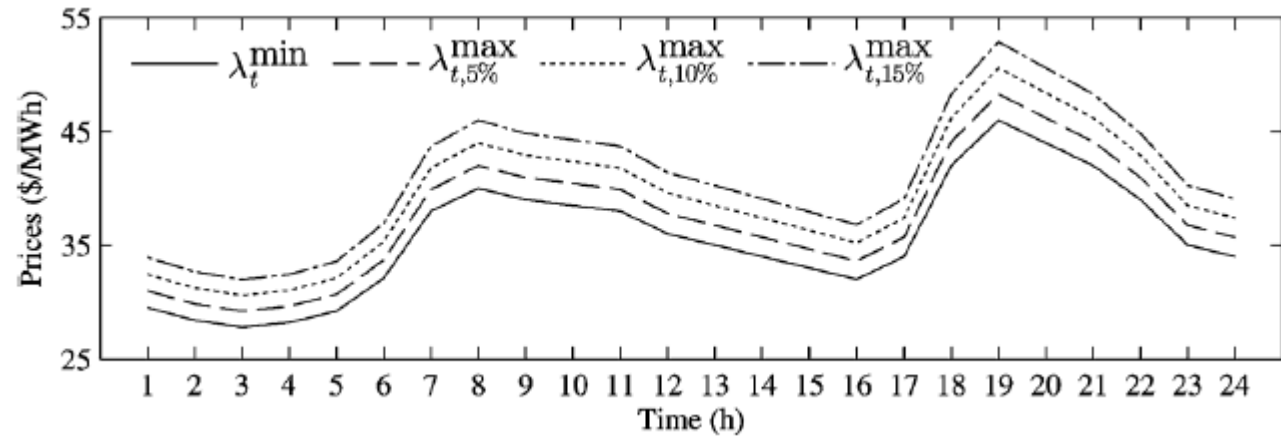
$$0 \leq L_{i,t,d} \leq L_d^{\max} \quad \forall i \in I, t \in T, d \in D. \quad (17)$$

Model za dan unaprijed

- Prethodni model u praksi ne funkcionira jer neki parametri nisu poznati unaprijed, tj. nesigurni su:
 - satna potražnja za baterijama
 - napunjenosti dolaznih baterija
 - cijene na tržištu
- Posljedice loših procjena:
 - u slučaju slabe napunjenosti baterija uslijed veće potražnje od predviđene, stanica će morati davati popust klijentima ili čak uskratiti uslugu nekim klijentima
 - u slučaju prepunjenosti svojih baterija, stanica neće moći puniti baterije u slučaju niske cijene na tržištu
- Također je potrebno uzeti u obzir dugoročne troškove degradacije baterija

Model za dan unaprijed

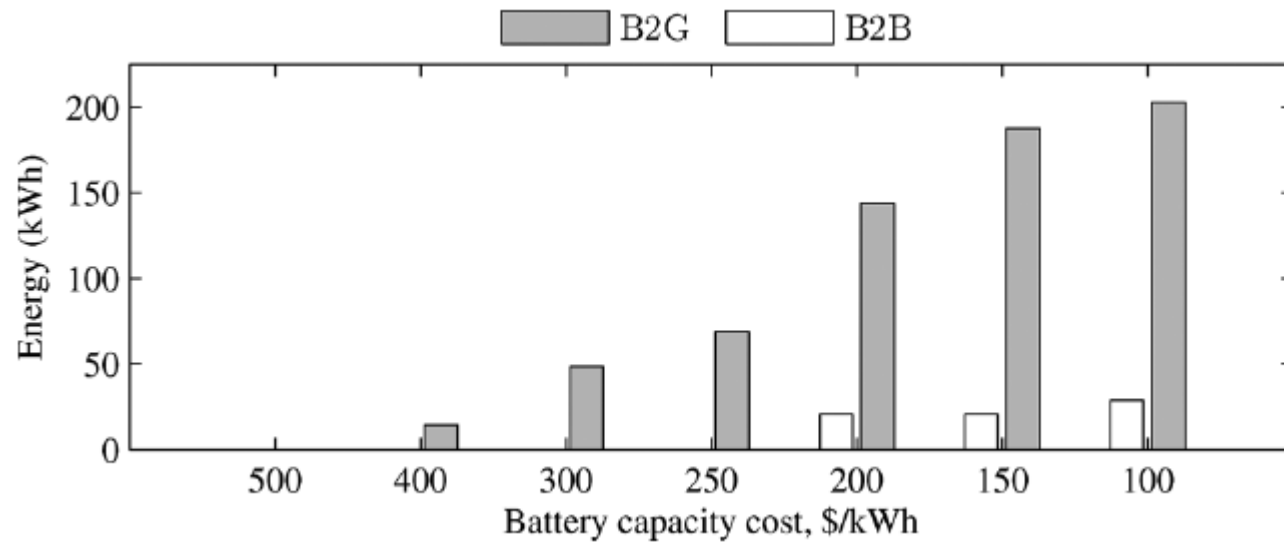
- Korištene *Inventory Robust Optimization* i *Multi-Band Robust Optimization*



Legend: $[N_{g,t}^{\min}, N_{g,t}^{\max}]$ for 24 kWh (light gray) and $[N_{g,t}^{\min}, N_{g,t}^{\max}]$ for 16 kWh (dark gray)

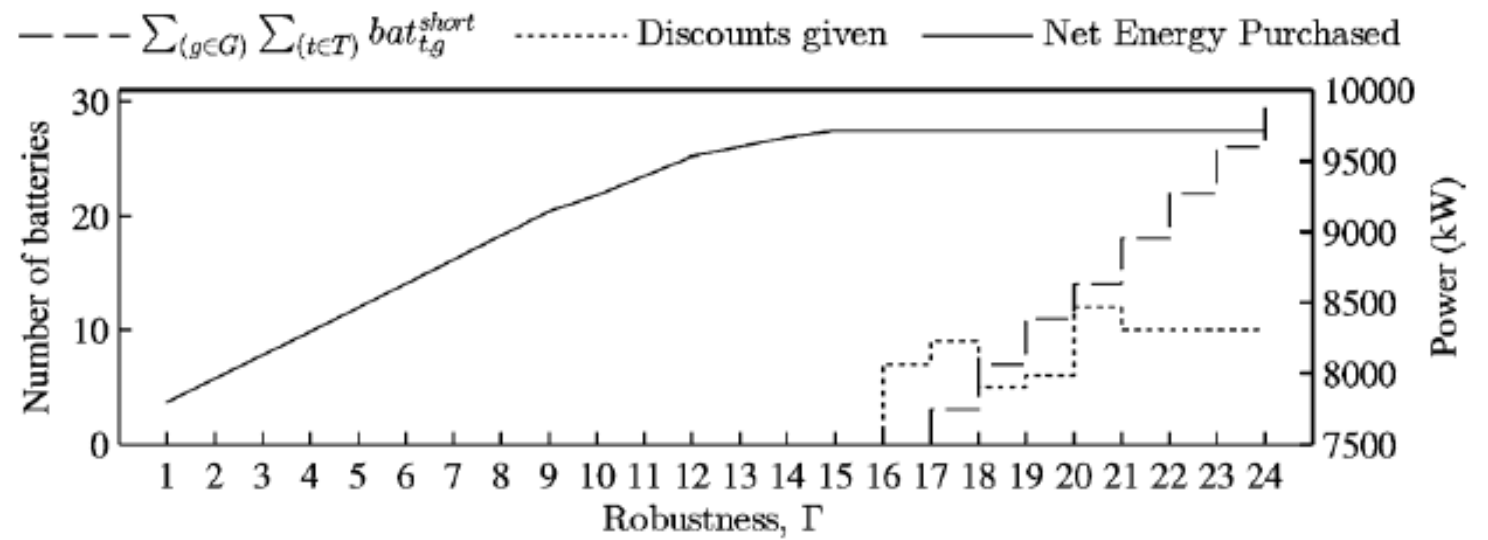
Test Case

- Razmatramo stanicu s 200 baterija kapaciteta 24 kWh
- Zanima nas utjecaj degradacije baterija na pogon stanice – razmatramo cijenu baterija od 500USD/kWh (cijena iz 2012.g) sve do 100 USD/kWh



Test Case

- Funkcija cilja u ovisnosti o robusnosti



Test Case

- Usporedba determinističkog i robusnog rješenja

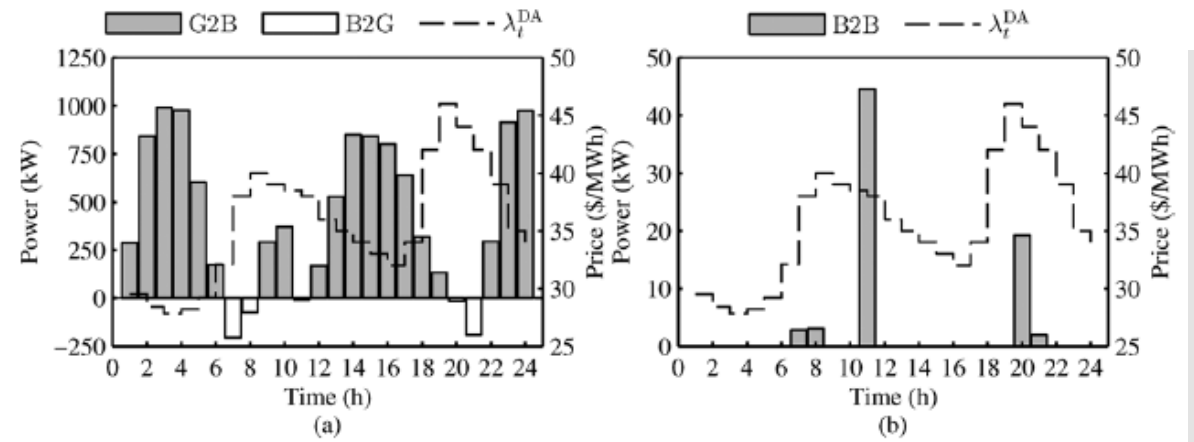


Fig. 10. G2B and B2G (a), and B2B (b) services in the deterministic case.

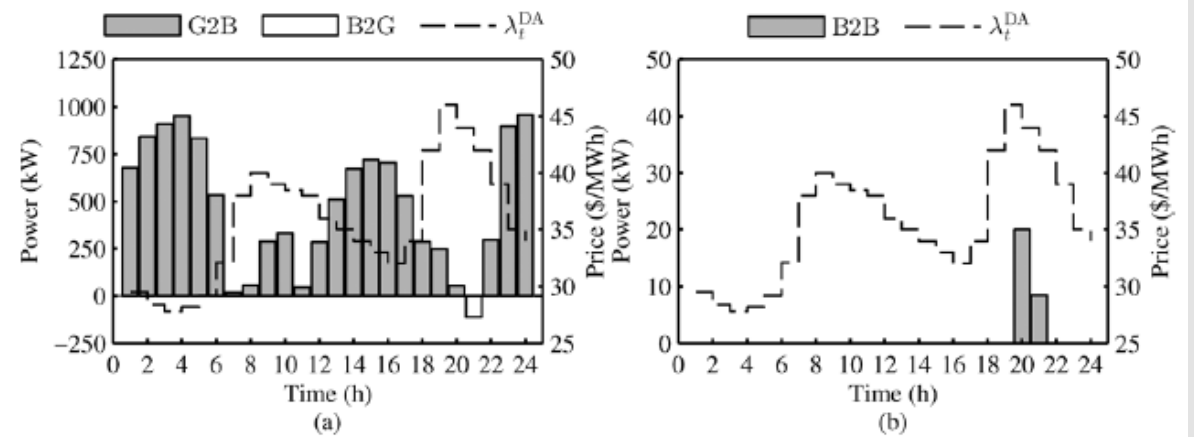


Fig. 11. G2B and B2G (a), and B2B (b) services in the uncertainty case.

Test Case

	Determinističko rješenje	Robusno rješenje
Profit	\$55 648	\$55 609
Cijena energije	\$323.44	\$361.10
Troškovi degradacije baterija	\$28.76	\$30.26

Zaključci

- Uključenje nesigurnosti u model smanjuje korištenje B2G i B2B usluga
- Degradacija baterija također smanjuje korištenje navedenih usluga
- Trenutne cijene baterija, kao i učinci degradacije uslijed cikliranja, i dalje su previsoki da bi se stanici isplatili B2G i B2B načini rada

Gotovo

hrvoje.pandzic@fer.hr