

# Optimizacijski model za planiranje i pogon naprednih distribucijskih mreža sa spremnicima energije

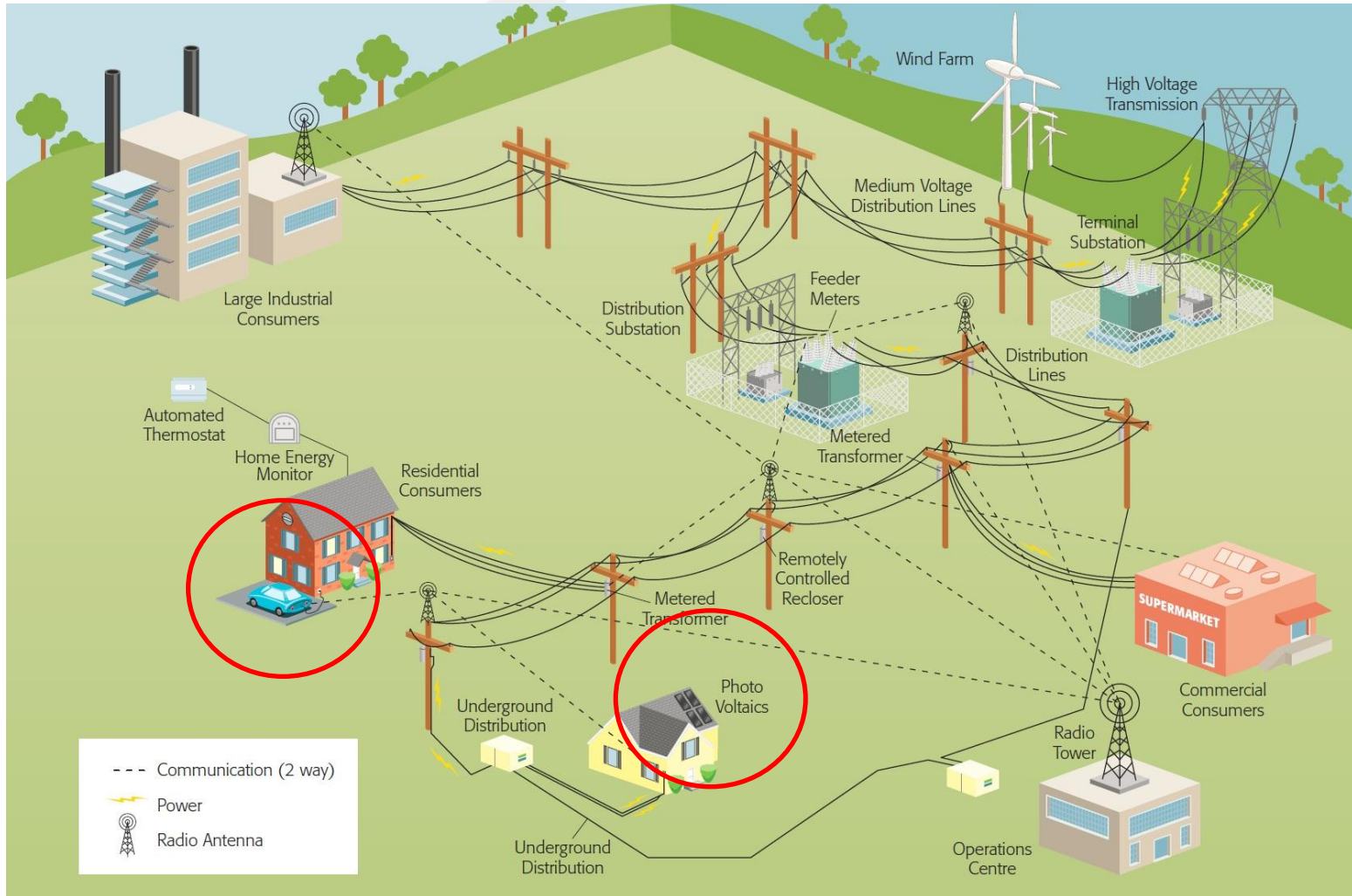
---

Matija Zidar

FER

Svibanj 2016.

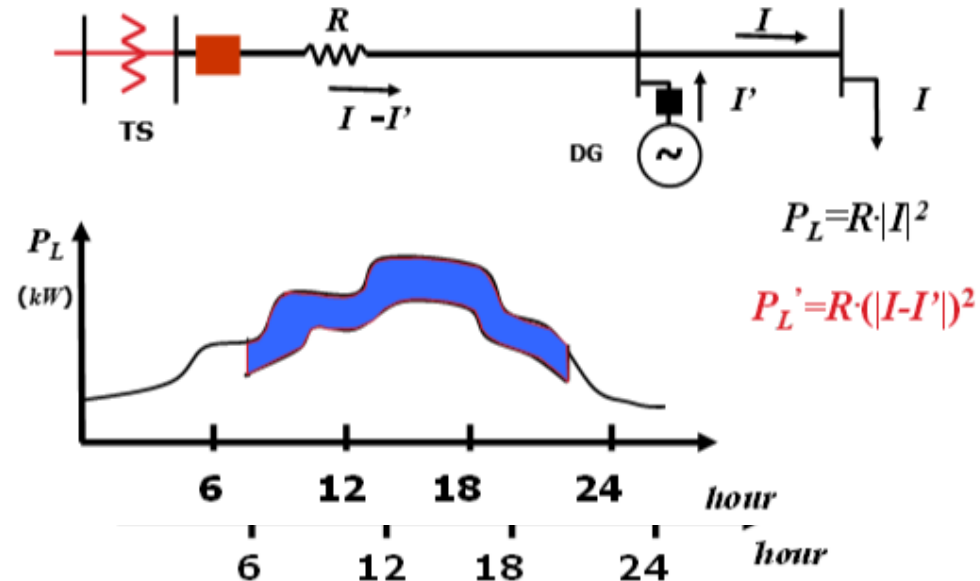
# Elektroenergetski sustav



# Utjecaj FN i EV na mrežu

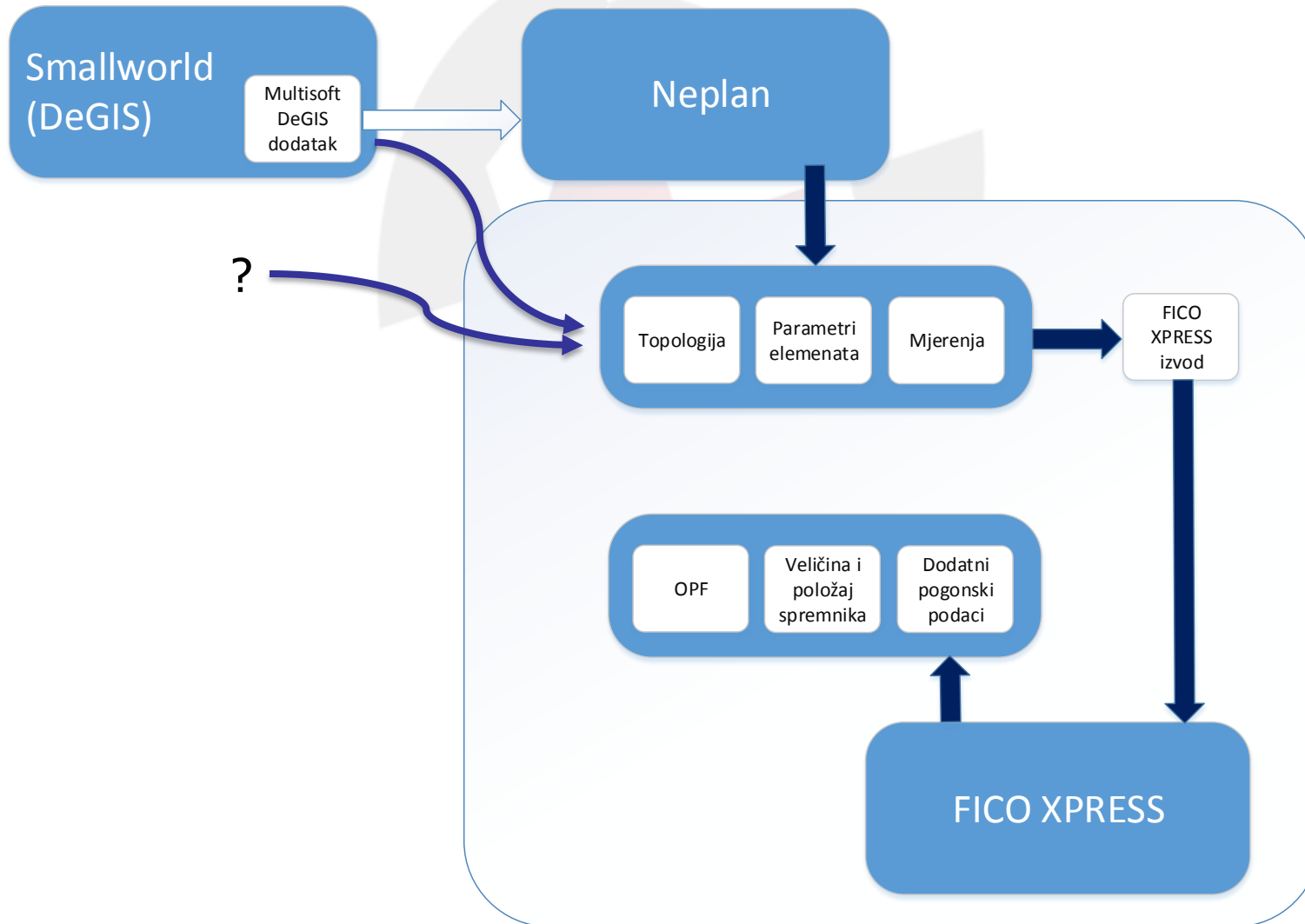
- Utjecaj FN i EV na mrežu

- Naponski profil
- Opterećenje elemenata
- Gubici
- Rad ostalih proizvođača
- Ulaganje u mrežu



Neupravljive jedinice

# Pogon i planiranje ADM



# Aplikacija

- Centralno mjesto za analizu i optimiranje mreže
- Iz ulaznih podataka
  - Izdvajanje podataka o jednom izvodu
  - Priprema ulaznih podataka za optimiranje u Xpress-u
  - Pokre...
  - Analiz...

The screenshot shows a software application window titled "Form1" with a light gray background and a green border. At the top center, there is a button labeled "Predefined Files". Below this, there are four input fields, each with a button to its left: "Nodes..." with the path "C:\cvorista.csv", "Lines..." with "C:\linije.csv", "Loads..." with "C:\tereti\_cvorista.csv", and "Measurements..." with "C:\mjerenja\_tereti.csv".

On the left side, there is a "Find Feeders" button next to a list box containing the following items: J04 Segrad, J04 Selnik, J04 Sigetec, J05 Basariček, J05 Lukovec (highlighted in blue), J05 Šljunčare Hrastovljan, J07 Belupo, J09 Subotica, J09 Vinogra, and J10 Kuzminec. To the right of this list is a "Select starting node:" label above a list box containing "Rasinja-NN2". Below this list box is an "Extract Feeder" button.

At the bottom left, there is an "Xpress data..." button next to an input field containing "C:\vlazneXpress.bt".

On the right side, there are five input fields with labels: "Unom:" with value "20", "Nodes:" with "25", "Edges:" with "24", "Time intervals:" with "672", and "Time interval (min):" with "15". Below these is an "ESS sites:" label with a value of "1".

At the bottom right, there are two buttons: "Create Xpress files" and "Start optimisation".

ojedini

# Aplikacija

---

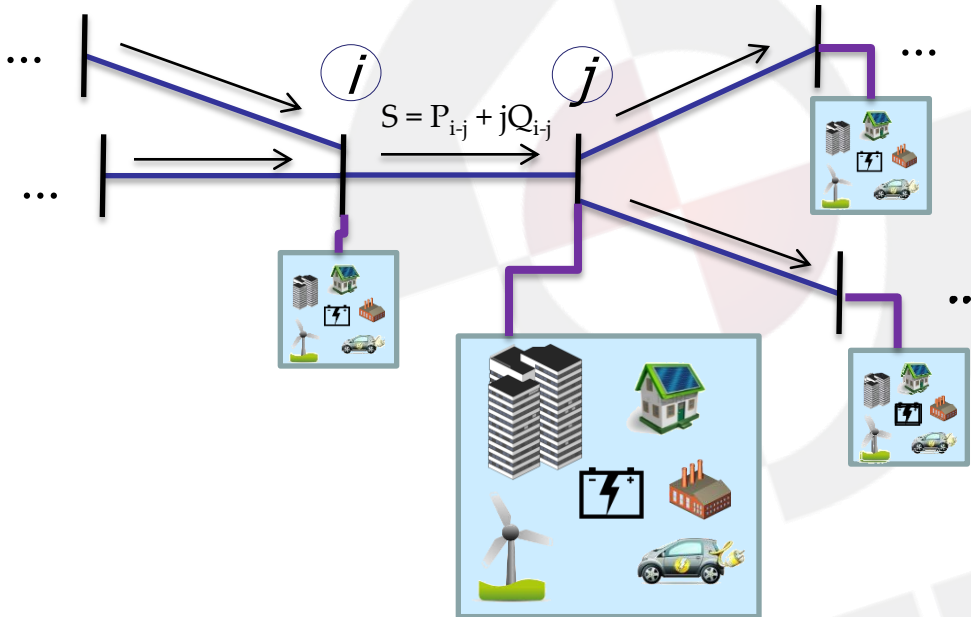
- Rezultat optimiranja:
  - Smještaj i veličina spremnika energije u mreži
  - Naponski tok
  - Tok opterećenja vodova
  - Dodatne analize
    - Prekoračenja strujnih i naponskih ograničenja
    - Gubici

# Smještaj i veličina spremnika energije

---

- Algoritam za istodobno određivanje smještaja i veličine
  - Aproksimiran na konveksni oblik
    - Tokovi snaga su nelinearan problem
    - Ograničenja stošca drugog reda (*eng. Second order cone programming*)
    - Jamčeni optimum
  - Mješovito cjelobrojno programiranje
    - Pretražuje lokacije spremnika
    - Spremnik mora biti u postrojenju
      - Transformatorska stanica ili postrojenje
      - Moguće upravljanje dozvolama/lokacijama
      - „konstrukcijska“ čvorišta (npr. kabelske spojnice) nisu dopuštena

# I. Kirchoffov zakon

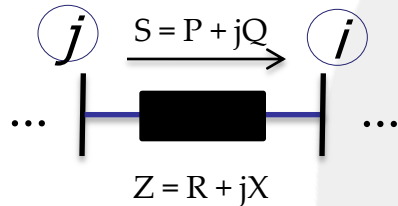


$$P_{i-j}(t) = P_{load}(j,t) - P_{DG}(j,t) - P_{ESS}(j,t) + i_{i-j}(t)R_{i-j} + \sum_{j=m} P_{m-n} - \sum_{j=n} P_{m-n} \quad P_{i-j}(t) \in (-\infty, +\infty)$$

$$Q_{i-j}(t) = Q_{load}(j,t) - Q_{DG}(j,t) - Q_{ESS}(j,t) + i_{i-j}(t)X_{i-j} - v_i(t)Bsh_{i-j} + \sum_{j=m} Q_{m-n} - \sum_{j=n} Q_{m-n} \quad Q_{i-j}(t) \in (-\infty, +\infty)$$



# Distflow jednadžbe



$$\underline{U_j^2(t)} = \underline{U_i^2(t)} - 2(P_{i-j}(t)R_{i-j} + Q_{i-j}(t)X_{i-j})$$

$$\underline{I_{i-j}^2(t)} \geq \frac{1}{\underline{U_i^2(t)}} (\underline{P_{i-j}^2(t)} + \underline{Q_{i-j}^2(t)})$$

} Nelinearno

$$i_{i-j}(t) = I_{i-j}^2(t)$$

$$v_i(t) = U_i^2(t)$$

$$U_i^2(t) \approx 1$$



$$v_j(t) = v_i(t) - 2(P_{i-j}(t)R_{i-j} + Q_{i-j}(t)X_{i-j})$$

$$i_{i-j}(t) \geq P_{i-j}^2(t) + Q_{i-j}^2(t)$$

Linearno ograničenje

Stožac drugog reda



*Optimal Allocation of Dispersed Energy Storage Systems in Active Distribution Networks for Energy Balance and Grid Support*, Nick M., Cherkaoui R., Paolone M., IEEE Transactions on Power Systems, September 2014

# Model spremnika energije

$$P_{ESS}(i, t) \in (-\infty, +\infty)$$

$$Q_{ESS}(i, t) \in (-\infty, +\infty)$$

$$\delta(i) = 0 \mid i \in N \setminus Y$$

$$\sum_{i \in Y} \delta_i \leq N_{ESS}$$

$$P_{ESS \min} \delta(i) \leq P_{ESS}(i, t) \leq P_{ESS \max} \delta(i)$$

$$W_{\min}(i) \delta(i) \leq W(i, t) \leq W_{\max}(i) \delta(i)$$

Egzistencija

$N$  ... sva čvorišta

$Y$  ... postrojenja

$\delta(i)$  ... binarne varijable

$$W_{ESS}(i, t+1) = W_{ESS}(i, t) + (\eta_{\text{charge}} P_{ESS, ch} - \eta_{\text{discharge}} P_{ESS, dsch}) \tau$$

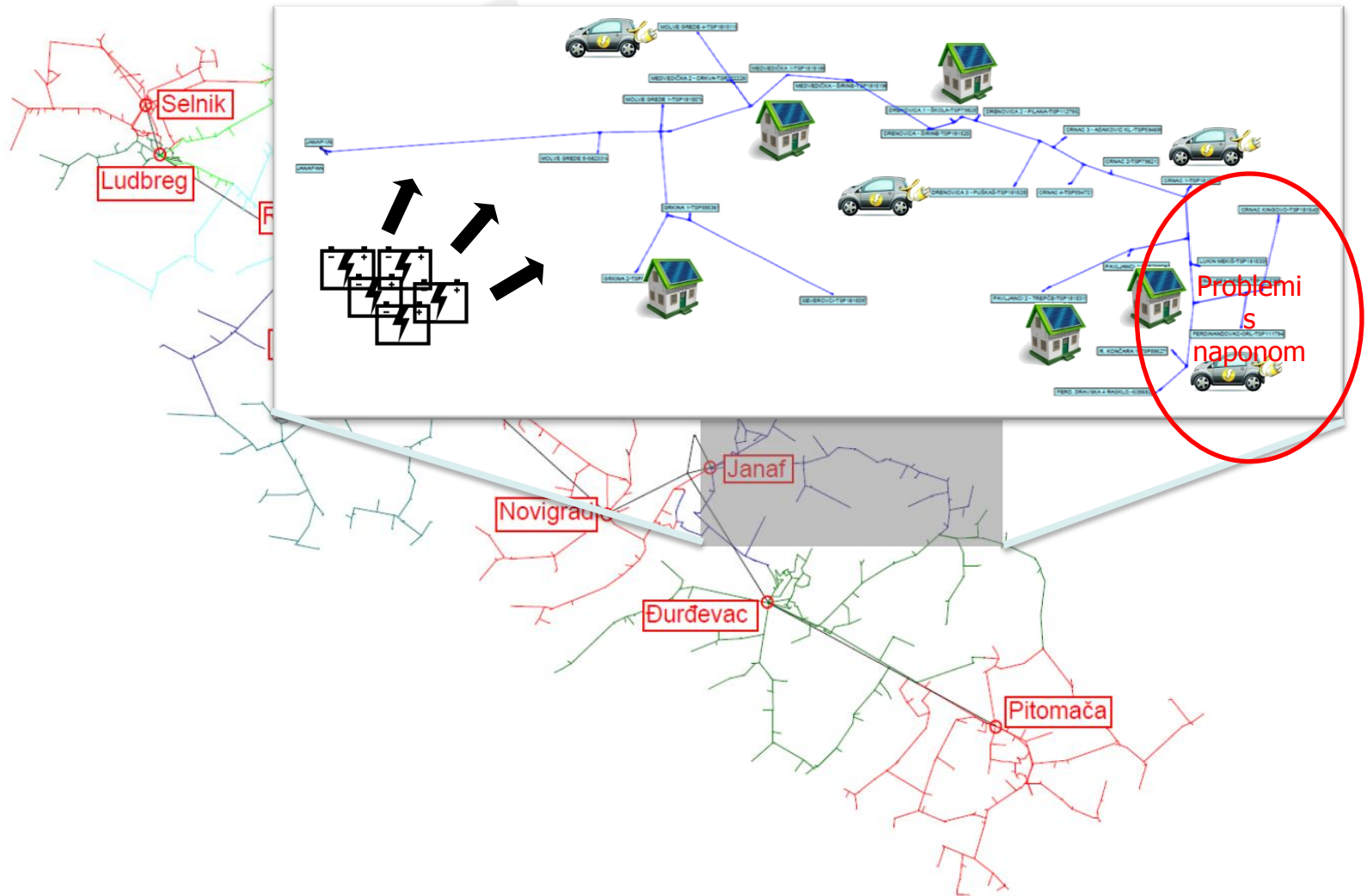
$$P_{ESS}(i, t) = P_{ESS, ch}(i, t) - P_{ESS, dsch}(i, t) \mid P_{ESS, ch}(i, t) \geq 0, P_{ESS, dsch}(i, t) \geq 0$$

$$P_{ESS \max}(i) = \max \{P_{ESS, ch}(i, t), P_{ESS, dsch}(i, t)\}, \forall i \in N, \forall t \in T$$

$$W_{ESS}(i) = 1.25 (\max \{W_{ESS}(i, t)\} - \min \{W_{ESS}(i, t)\}), \forall i \in N, \forall t \in T$$

Veličina i snaga spremnika nisu predodređeni

# Primjer

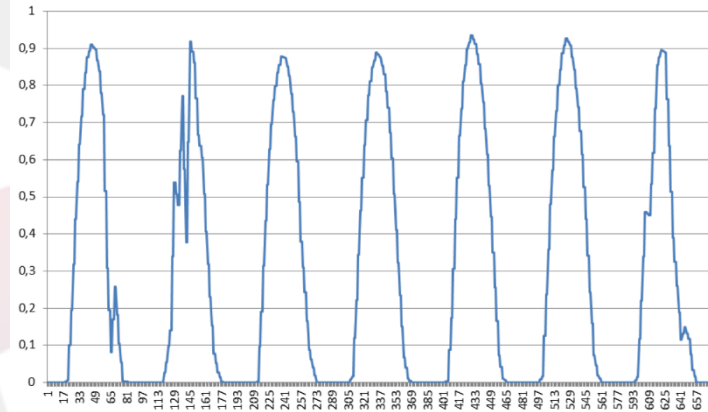


# Primjer – promatrani scenariji

- Na postojeće stanje dodano:

- Fotonaponske elektrane

- 30 kW po čvorištu
- normalizirano na 100%:

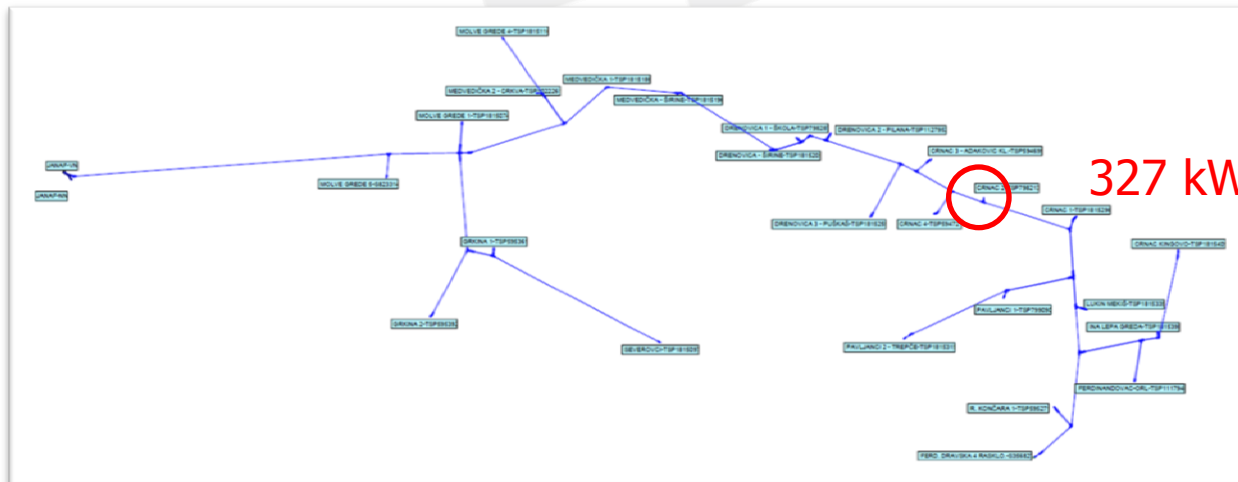


# Rezultati

- Minimizacija troška vođenja mreže (ODS)
  - Minimalni gubici u vodovima
  - Održavanje sigurnog pogona
- Održavanje mreže u dopuštenim granicama

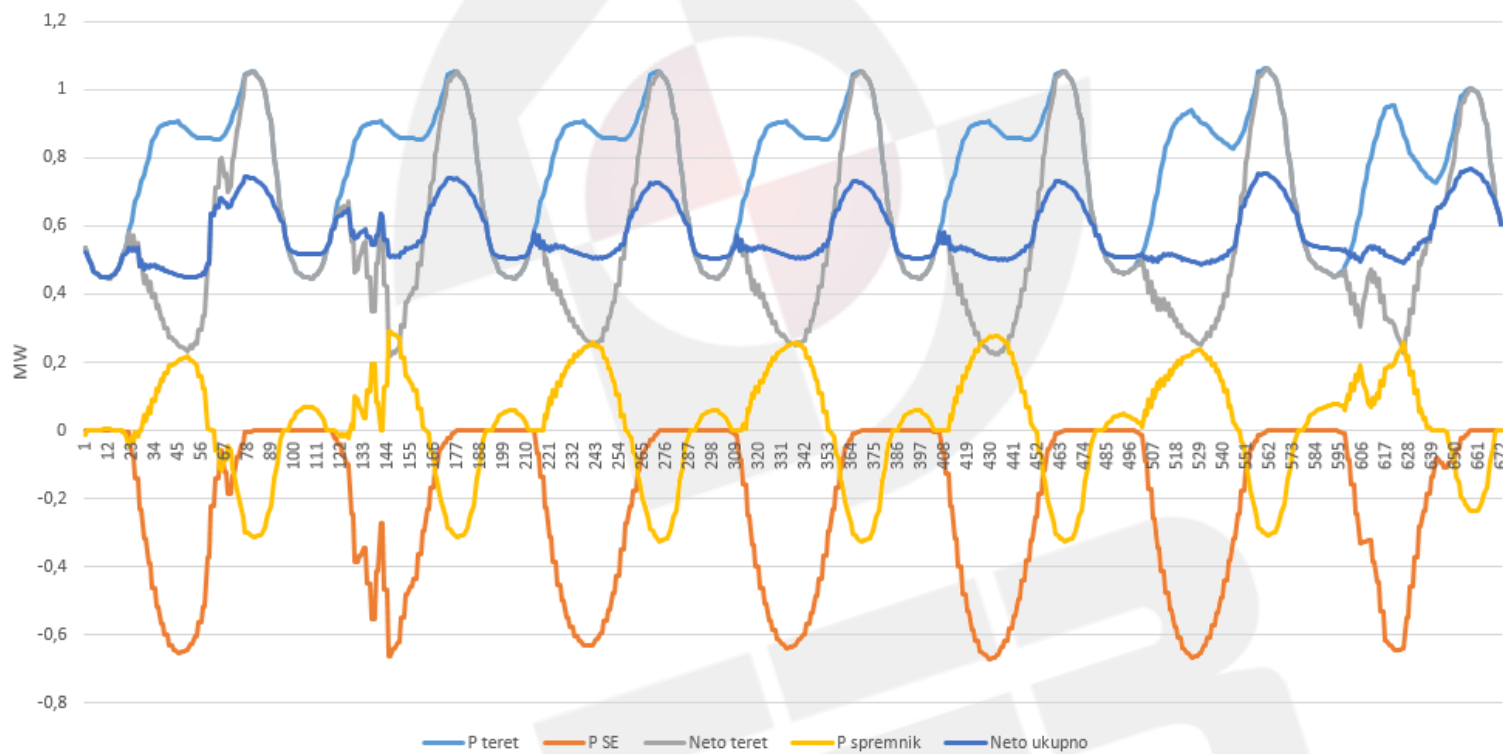
$$0.9^2 \leq v_i(t) \leq 1.1^2$$

$$i_i(t) \leq I_{line\ max}^2$$



327 kW, 2500 kVA

# Scenarij 1 - pregled



# Doprinos spremnika energije

---

- Mogući doprinosi spremnika energije sustavu:
  - Minimizacija gubitaka
  - Održavanje strujno naponskih ograničenja
  - Odgađanje investicije u pojačanje mreže
- Sudjelovanje na tržištu
  - SAMO špekulacija nije isplativa (nedovoljna fluktuacija cijena, preniska cijena EE)
  - Traže se isplativi modeli za doprinos regulaciji i fleksibilnosti sustava (pomoćne usluge?)

# Zaključak

---

- Model proširuje alate za analizu mreža optimiranjem u specijaliziranim alatima
- Univerzalni oblik ulaznih datoteka
  - Mogućnost ručnog kreiranja (podložno greškama)
- Konveksni model za analizu mreže
  - Aproksimacija nelinearnog sustava jednažbi
- Nastavak istraživanja
  - Električna vozila
    - Brze punionice
    - Sporo punjenje u kućanstvima
    - Punjenje izravno ili preko spremnika energije



# Zaključak (2)

---

- Spremnici energije
  - Mogu pomoći pogonu mreže
  - Jedna od konkurentnih tehnologija s dobrom perspektivom
- Profitabilnost baterijskih spremnika energije
  - Trenutačno ne postoji tržište na kojem bi bili profitabilni
  - Mogućnosti:
    - Podrška mreži prilikom integracije DG i EV
    - Tržište pomoćnih usluga