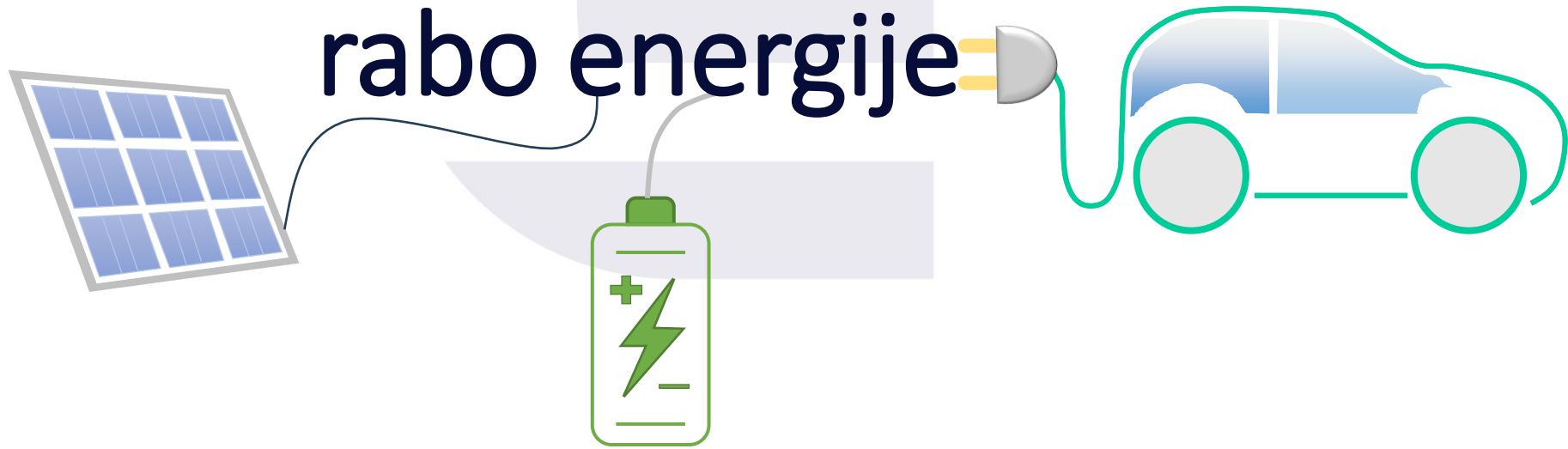


Baterijski hranilniki električne energije kot gradnik sistemov za zanesljivo oskrbo in učinkovito rabo energije



dr. Miran Rošar

Vsebina:

1 UVOD

2 BATERIJE IN BHEE

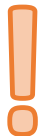
3 DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE,
RAZPRŠENI VIRI IN BHEE

4 BHEE - PRIMER SKUPNOSTI LUČE

5 MOŽNOSTI UPORABE BHEE IN ZAKLJUČKI



- Zakaj baterijski hranilniki?
- Kako izkoristiti sinergijo hranjenja električne energije v BHEE neposredno iz naprav za proizvodnjo iz OVE?
- Kaj se dogaja med obratovanjem distribucijskega omrežja, kadar je prisoten znaten delež razpršenih virov?
- Na kaj lahko vplivamo z BHEE?
- Kaj predstavlja prilagajanje trenutnim razmeram v priključnih omrežjih s pomočjo prožnosti, ki jo ponujajo BHEE?
- Uporaba baterijskih hranilnikov za potencialne systemske storitve v nizkonapetostnih omrežjih?



Da lahko odgovorimo → potrebno poznati lastnosti sistemov in njihovih gradnikov (elementov).
Osvetlili jih bomo skozi obravnavo baterijskih sklopov (sistemov), priključnega omrežja ter praktičnega primera vaške skupnosti Luče z integriranim sistemskim BHEE ter lokalnimi BHEE in HEMS.

Električna moč?

- Električna moč (P), pove kako hitro porabljamo ali pretvarjamo energijo
- Enota: Watt (W)
- Obrazec: $P = w / t$
- Primer:

Sušilec za lase z močjo **2000 W** porabi 2000 J energije na sekundo.

V 15 min, porabi $15/60 \cdot 2000 = 500$ Wh ali **0,5 kWh**

Električna energija?

- Električna energija (E) je skupna količina energije, porabljena v določenem času
- Enota: kilovatna ura (kWh) ali džul (J)
- Obrazec: $w = P \cdot t$
- Primer:

Pečica z močjo **3000 W** porabi 3000 J energije na sekundo.

V 1 h, porabi 3000 Wh ali 3 kWh, v 15 min pa $15/60 \cdot 3000 = 750$ Wh ali **0,75 kWh**

Analogija z avtom:

$$p = \frac{dw}{dt} \quad \text{Moč} \leftrightarrow \text{hitrost} \quad v = \frac{ds}{dt}$$
$$w = \int p dt \quad \text{Energija} \leftrightarrow \text{prevožena razdalja} \quad s = \int v dt$$

Torej:

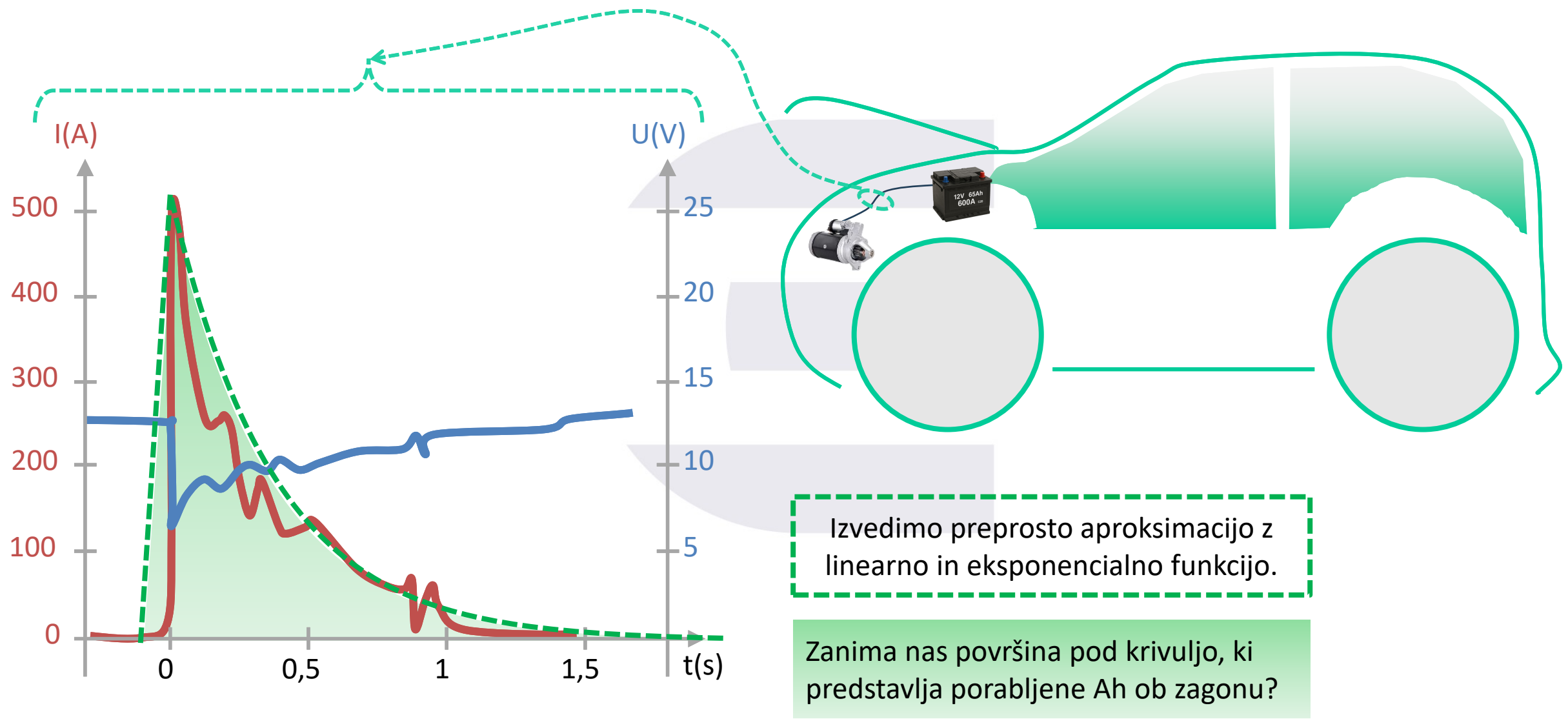


moč določa, kako hitro gre!

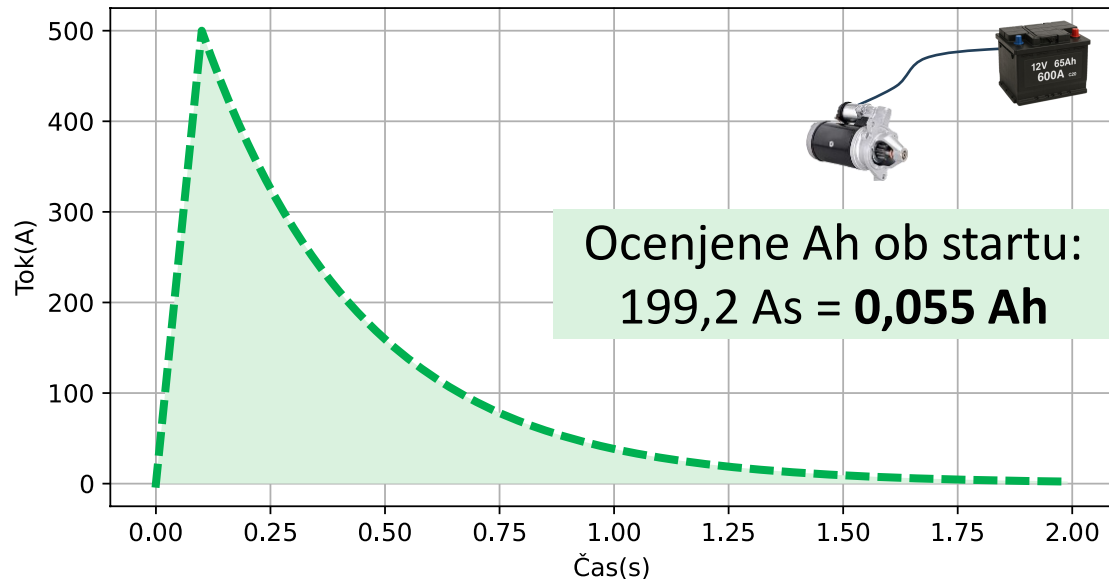
energija pa kako daleč!



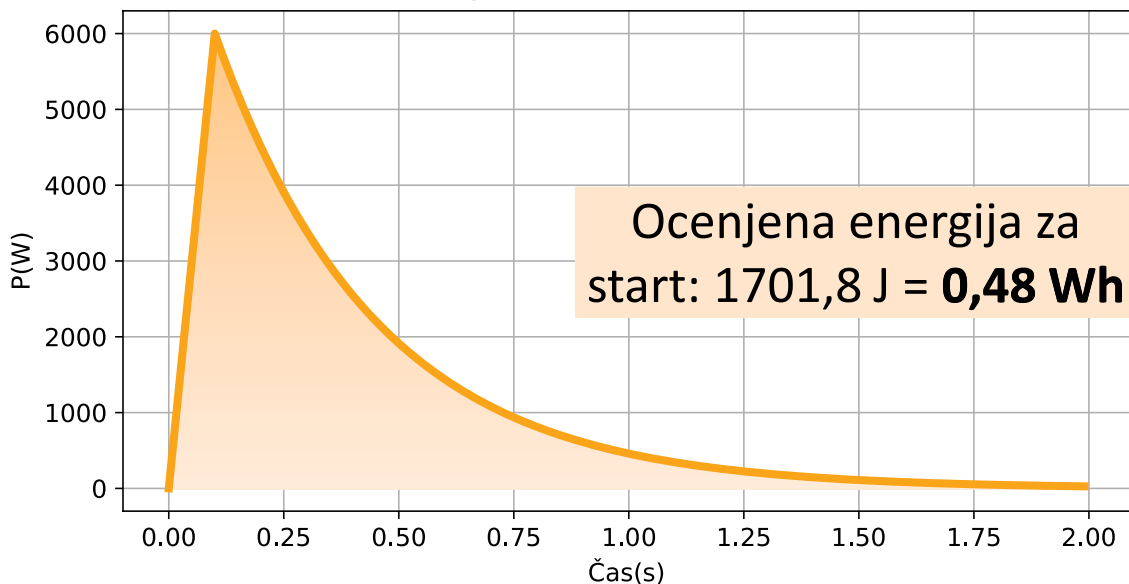
Primer zagona avtomobila



Primer zagona avtomobila



$P=U \cdot I$; privzemimo $U=12 \text{ V}$



Izvedimo preprosto aproksimacijo z linearno in eksponencialno funkcijo.

Zanima nas površina pod krivuljo, ki predstavlja porabljene Ah?



Pb baterija:
 $12\text{V} \cdot 65\text{Ah} = 780 \text{ Wh}$

Zanima nas površina pod krivuljo, ki predstavlja porabljene Wh?

Električna moč?

Električna energija?

Kaj pa moč?

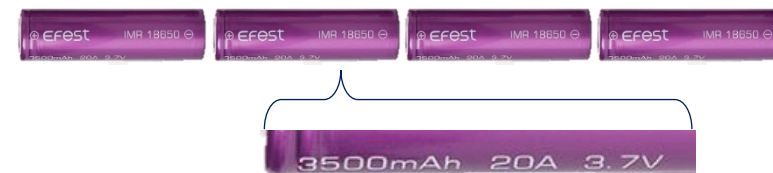
Pb: $12\text{V} \cdot 600\text{A} = 7,2\text{kW}$

Li-Ion:
 $4 \cdot 3,7\text{V} \cdot 20\text{A} = 296\text{W}$

Li-Ion; dovolj el. energije za zagon?

>

<<



Li-Ion baterija:
 $4 \cdot 3,7\text{V} \cdot 3,5\text{Ah} \approx 52 \text{ Wh}$

Moč **EV**: med 50 in 100 kW,
umirjena vožnja 20-30 kW
Poraba el. energije:
10-25 kWh/100km

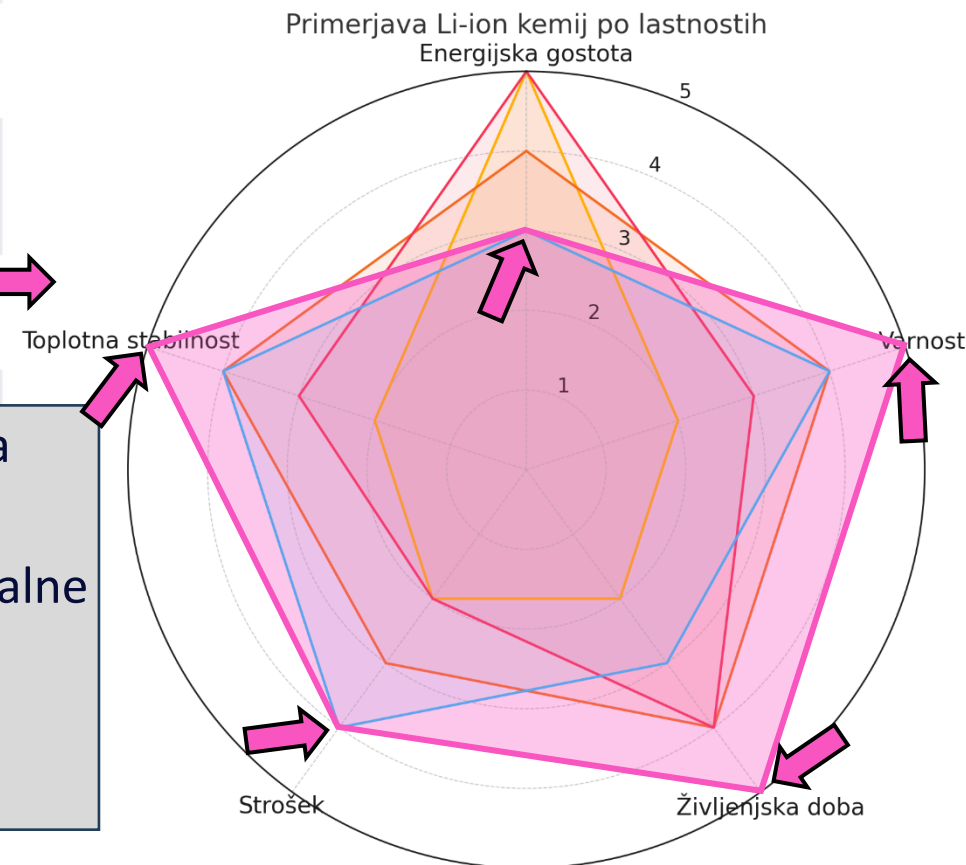
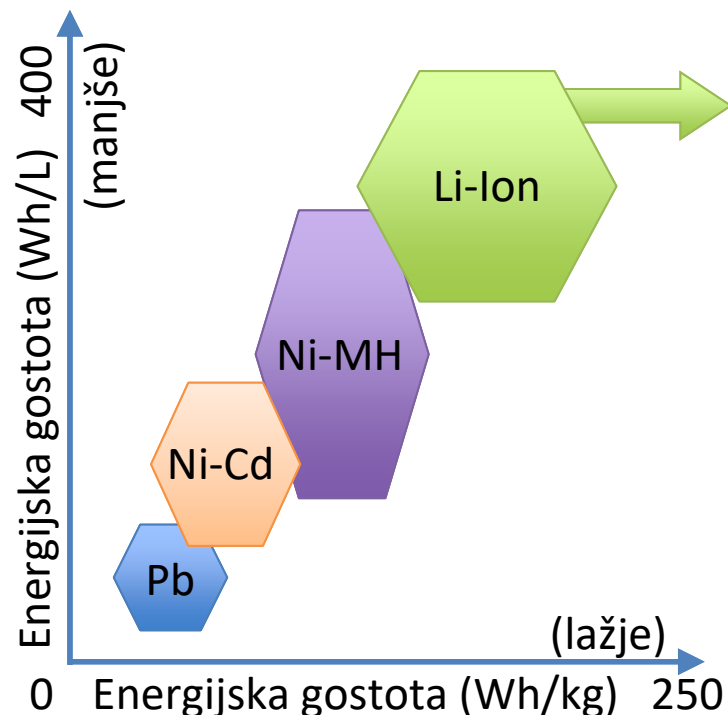
Zakaj so Li-ion baterije tako razširjene?

- Lahko shranijo več kot štirikrat več energije kot svinčene baterije,
- Imajo gostoto energije 150 do 250 Wh/kg, svinčene baterije le okrog 30 do 50 Wh/kg ,
- Lahko uporabimo cca 85 % energije, za svinčene baterije le okrog 50 % (vpliv na življenjsko dobo baterije),
- Lahko opravijo 3000 do 5000 ciklov (celo do 6000 ali več), življenjska doba tudi preko 10 let.

Vrste in lastnosti Li-ion kemij:

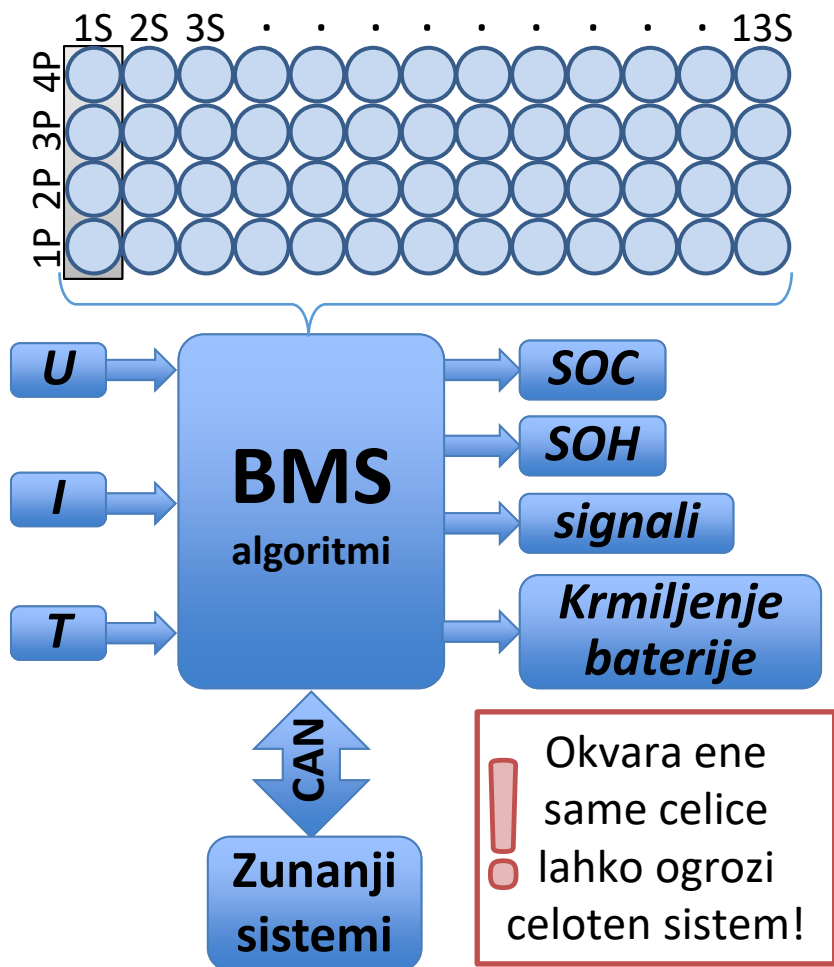
- LCO (Lithium Cobalt Oxide)
- NMC (Nickel Manganese Cobalt)
- NCA (Nickel Cobalt Aluminum)
- LFP (Lithium Iron Phosphate)
- LMO (Lithium Manganese Oxide)

- Različne kemije – prilagojene za **varnost**, zmogljivost ali ceno,
- Primerne za velike tokove – idealne za zagon, orodja, EV, BHEE,...,
- Padanje cen – zaradi množične proizvodnje in uporabe.



Zakaj potrebujejo BMS?

Predvsem zato, da Li-Ion baterije obratujejo varno in zanesljivo!



BATERIJE IN BHEE

- **Nadzor napetosti in toka za zaščito pri polnjenju ter praznjenju**
Li-ion ima zelo ozko **varno** napetostno območje (običajno 3.0–4.2 V). Napetost **nad 4.2 V**, celica se lahko pregreje, nabrekne ali **celo eksplodira**. Če pade **pod 2.5–3.0 V**, se trajno poškoduje.
BMS poskrbi, da napetost vsake celice ostaja znotraj varnih (dopustnih) meja.
- **Nadzor temperature**
Visoka temperatura znatno pospeši staranje, lahko pa povzroči tudi toplotni pobeg (**thermal runaway**). BMS neprestano spremlja temperaturo in po potrebi omeji tok ali izklopi baterijo.
- **Omejevanje toka**
Pri previsokem toku (npr. kratki stik ali pa prevelika obremenitev) BMS takoj prekine tokokrog baterije.
- **Izenačevanje napolnjenosti celic (balansiranje)**
V serijsko povezanih celicah se vsaka celica med polnjenjem, zaradi majhnih neenakosti notranje strukture celic, polni nekoliko drugače. BMS poskrbi, da se napetosti celic izenačujejo, s tem se občutno poveča življenjska doba in zviša varnost obratovanja.
- **Merjenje kapacitete, stanja napolnjenosti in kondicije (SOC, SOH)**
BMS izračunava, koliko energije je še na voljo in koliko časa lahko sistem še deluje.

V EV, UPS in FN, BMS komunicira s kontrolerji, polnilci ali zunanjimi sistemi ter skrbi za varno delovanje celotnega sistema.

Zakaj potrebujejo BMS?

Predvsem zato, da Li-Ion baterije obratujejo varno in zanesljivo!



Obratovanje izven področja SOA:

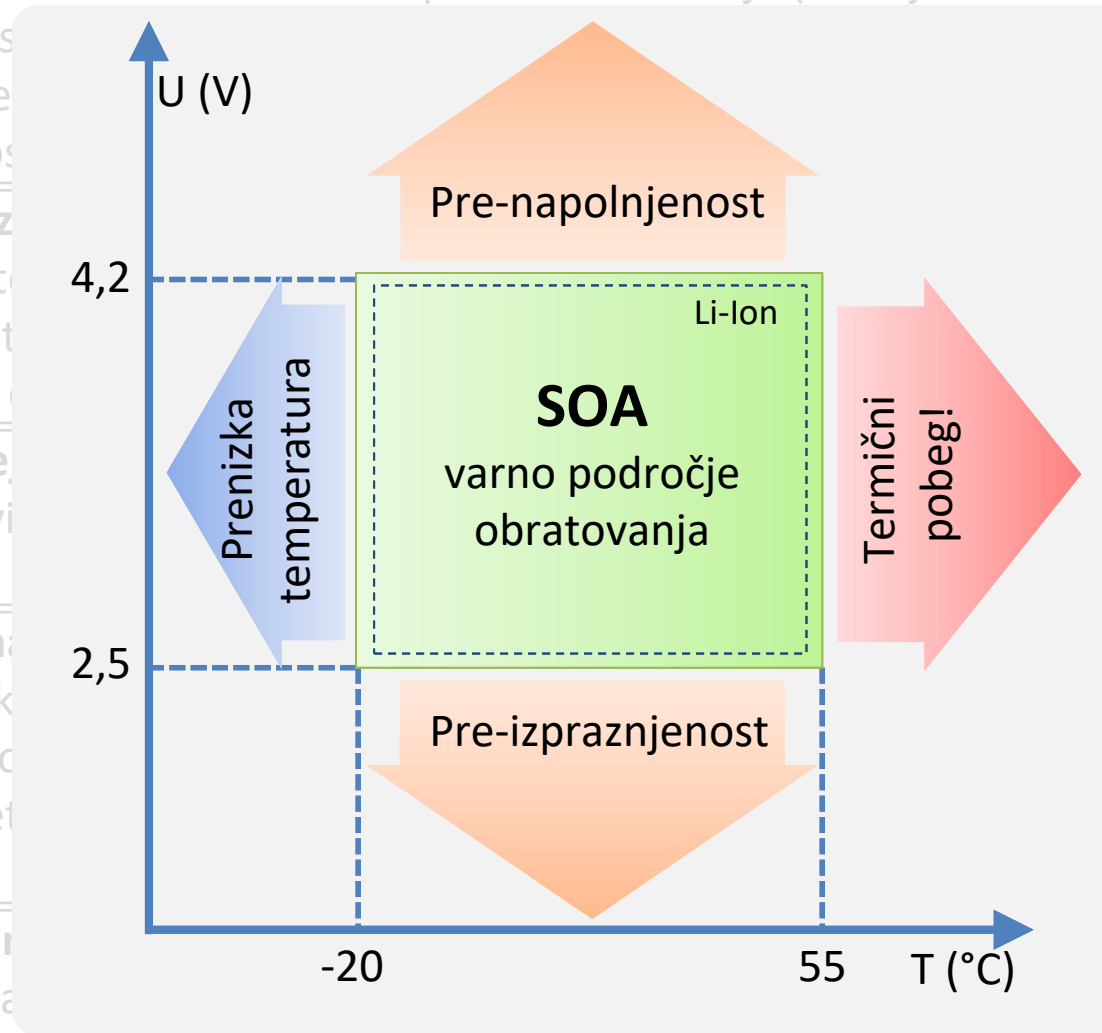
- Povečano tveganje termičnega pobega (**thermal runaway**) – požar ali eksplozija,
- Trajne poškodbe baterijskega sistema,
- Povzroča hitro staranje celice, ali neenakomerno staranje (posebej pri večceličnih paketih),
- Manjša kapaciteto in tokovno zmogljivost baterije,...

- Nadzor napetosti in toka za zaščito pri polnjenju ter praznjenju
- Li-ion ima zelo ozko varno napetostno območje (običajno 3.0–4.2 V).

Napetostni nadzor je ključnega pomena za preprečitev eksplozije. Če pade napetost pod spodnjo mejo, BMS poskuša preprečiti nadaljnje praznjenje.

- Nadzor temperature

Visoka temperatura povzroča termični pobeg (thermal runaway), ki je nevarna za celoten sistem. BMS mora biti sposoben zaznati temperaturne spremembe in ustrezno reagirati.



ustnih) meja.

adi toplotni
o in po

) BMS takoj

di
poskrbi, da
doba in tudi

SOH)
sistem še

ali zunanji sistemi ter skrbi za varno delovanje celotnega sistema.

Napetosti, toki in kapaciteta Li-Ion baterij?

BATERIJE IN BHEE

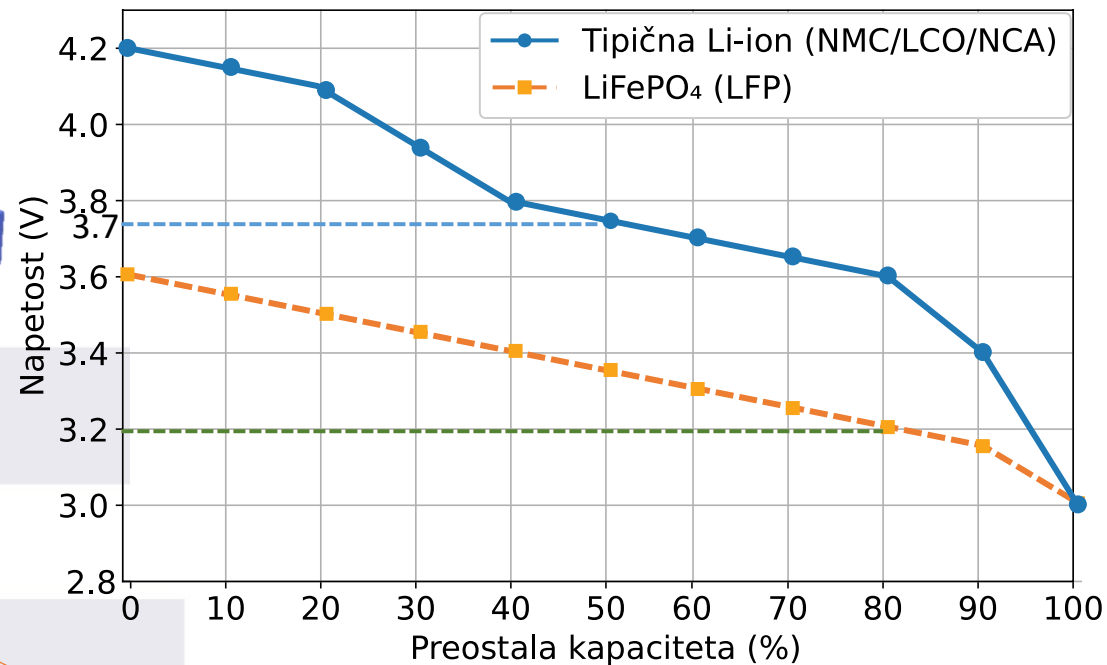
BHEE 12,8Vm 400Ah:
Celica: 3,2V; 200Ah

48V/3,2V $\Rightarrow$ 15S

BHEE 48 Vm 300Ah:

V

V



15S $\Rightarrow 15 \cdot 3,2V = 48 V$

Kapaciteta: $300Ah \cdot 48V = 14,4 kWh$

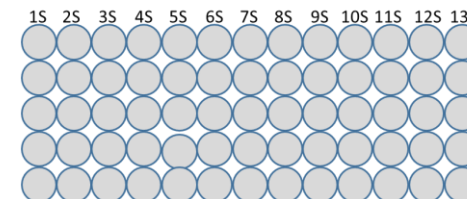
13S $\Rightarrow 13 \cdot 3,7V = 48 V$

5P $\Rightarrow 5 \cdot 3500mAh = 17,5 Ah$

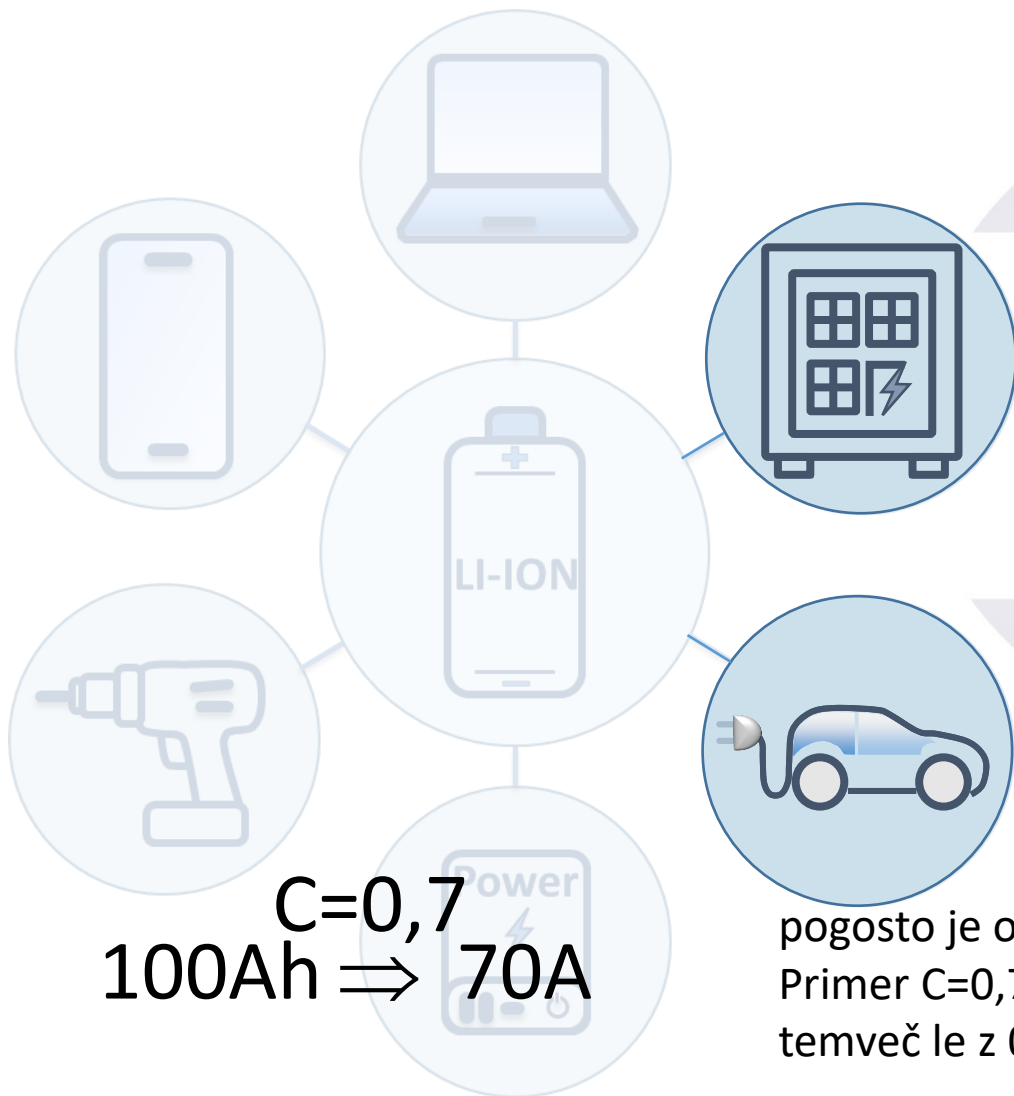
Kapaciteta: $\Rightarrow 17,5Ah \cdot 48V = 840 Wh$

Primer E-kolo $\Rightarrow 48 V$

5P 13S



Napetosti, toki in kapaciteta Li-Ion baterijskih sistemov?



BATERIJE IN BHEE

Nizkonapetostne baterije (kot npr. 48 V):

- so standard v manjših električnih vozilih, solarnih sistemih in UPS aplikacijah,
- so precej varnejše za rokovanje in lažje dostopne za masovno uporabo (vendar, pozor imamo opravka z VELIKIMI TOKI),
- njihova napetost je dovolj visoka za porabnike z nižjimi močmi,
- Velika slabost nastopa pri večjih močeh saj zahteva zelo velike toke, kar pa viša izgube in potrebo po debelejših prerezi kablov.

$$P = \uparrow U \cdot I \downarrow \Rightarrow \downarrow P_i = R \cdot I^2$$

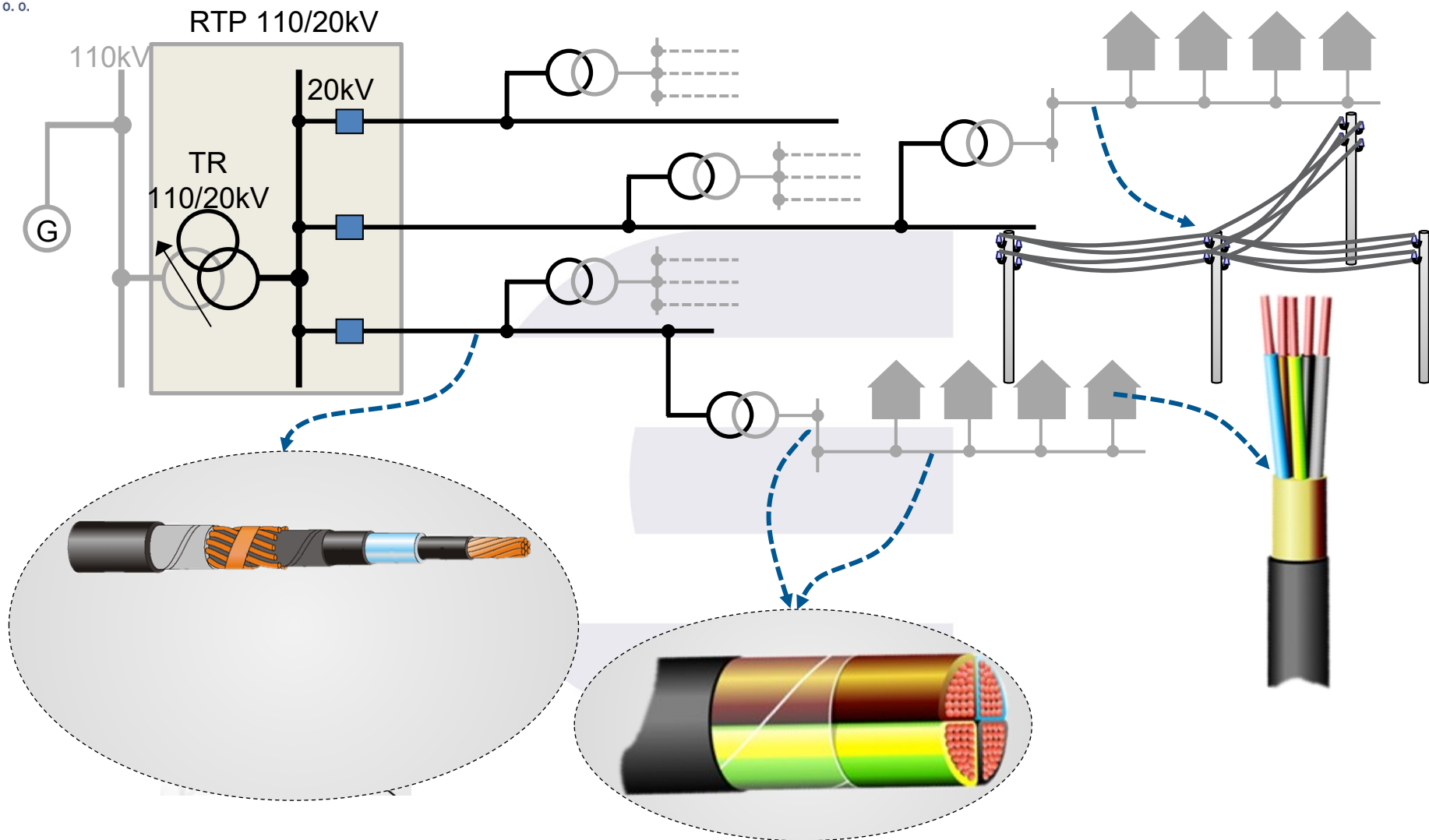
Visokonapetostne baterije (nad 60 V, pogosto 300–800 V)

- se uporabljajo v sodobnih električnih vozilih in industriji (večje enote BHEE) saj so učinkovitejše,
- omogočajo večje moči z manjšimi toki, s tem pa tudi zmanjšanje izgub, rabimo tanjše prereze kablov,
- višja napetost pomeni tudi boljši izkoristek pri sistemih in omogoča hitrejšo polnjenje, kar je pomembno za mobilnost in zmogljive sisteme.

Polnilno-praznilni faktor

pogosto je označen kot **C** faktor (*charge/discharge capacity factor*).

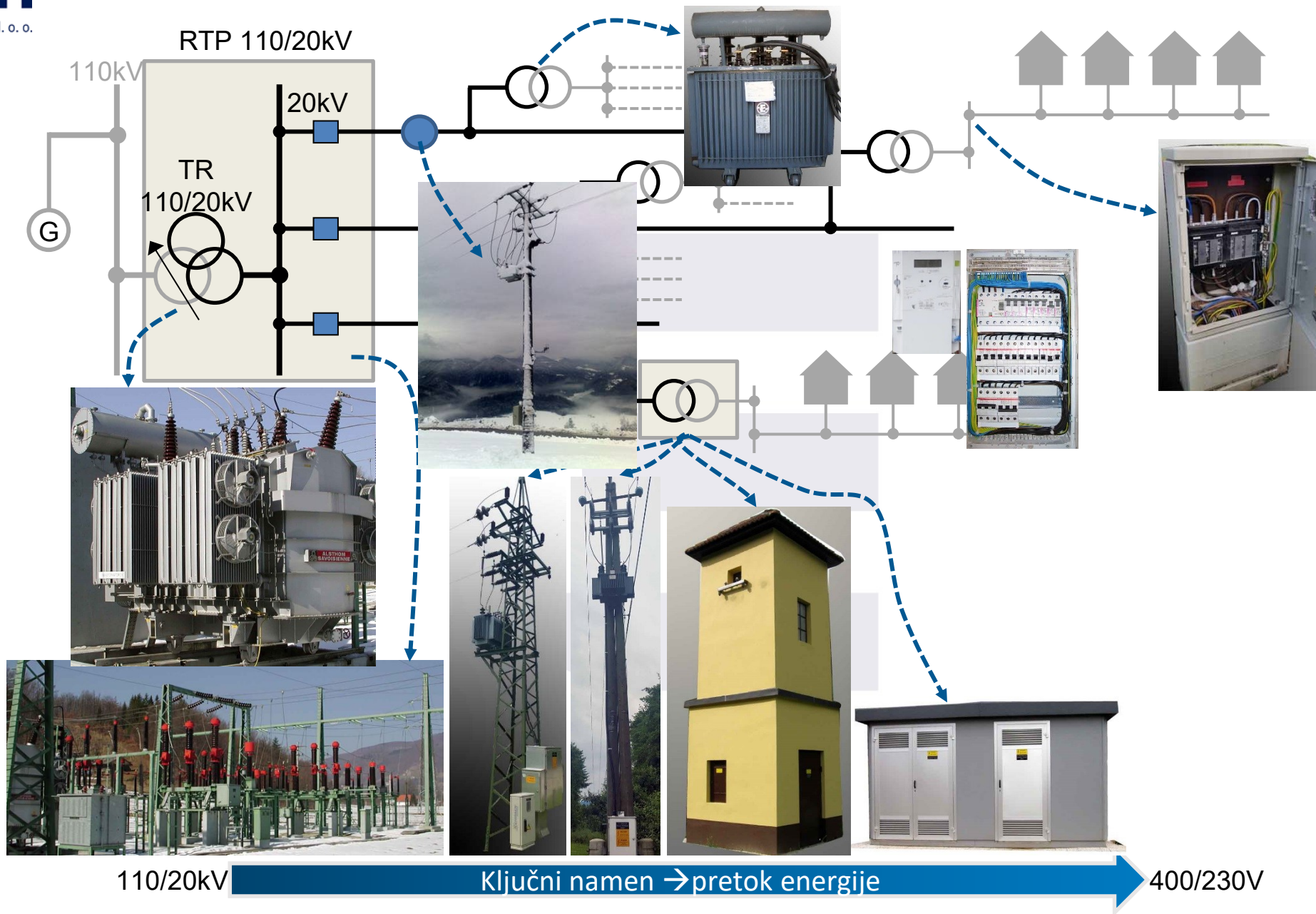
Primer $C=0,7$ pomeni, da se baterija ne polni ali prazni s svojo maksimalno kapaciteto, temveč le z 0,7-kratnikom svoje nazivne kapacitete (SOA-varnost!).

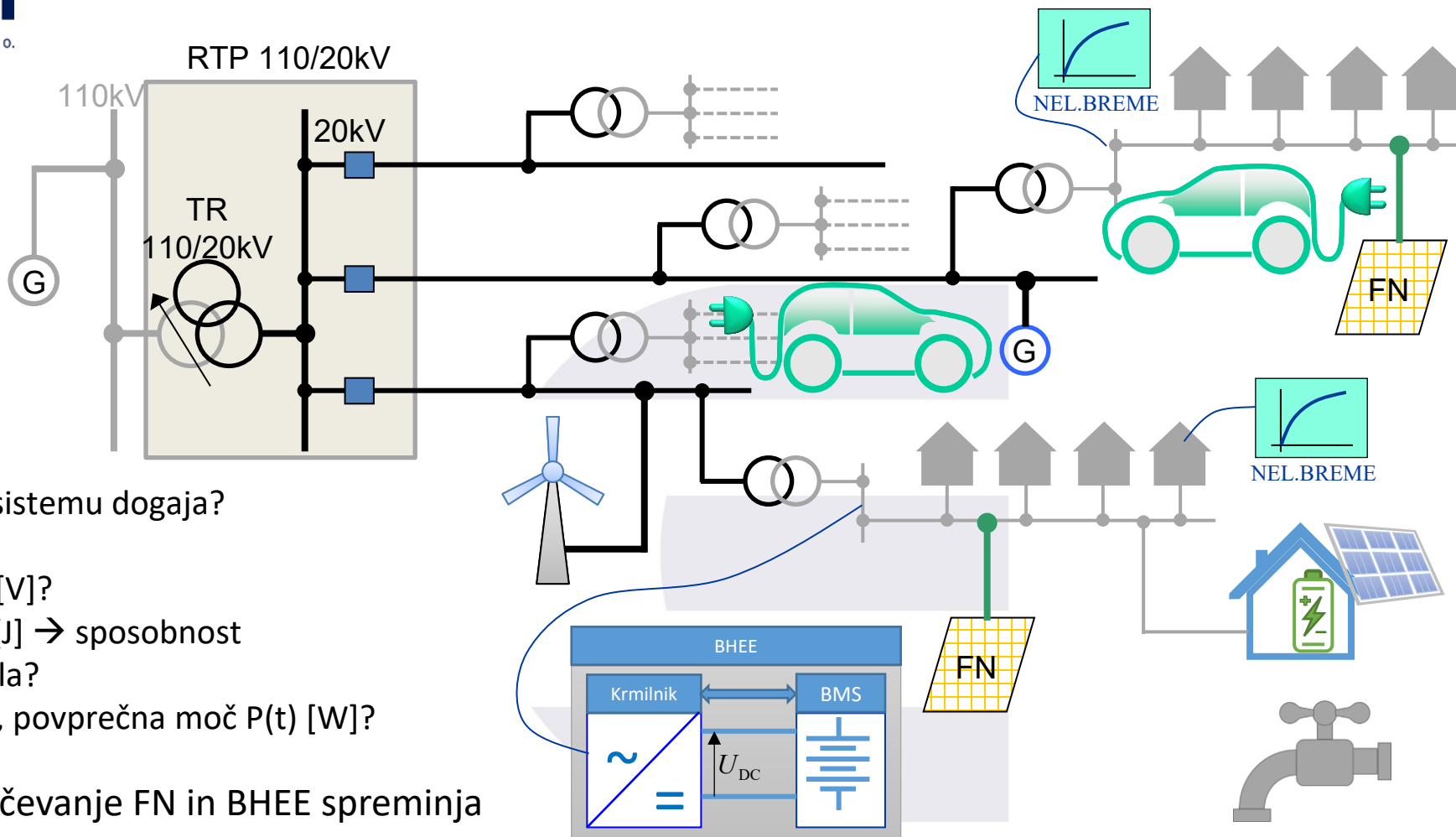


110/20kV

Napetost

400/230V





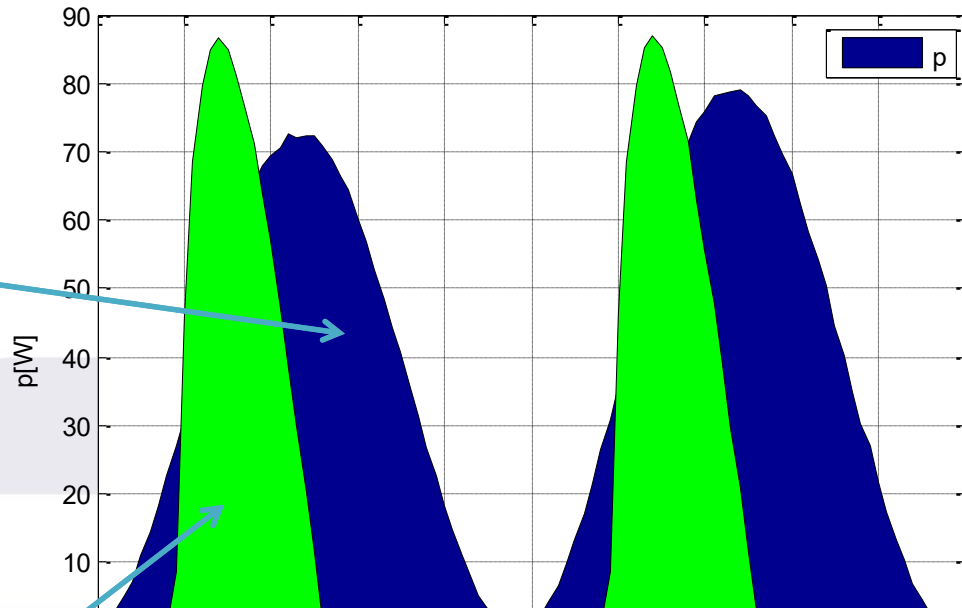
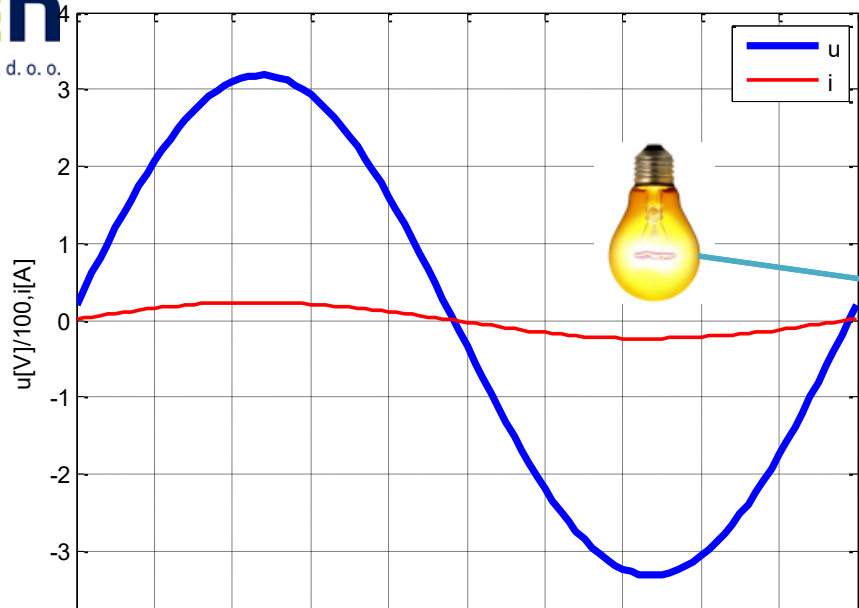
Kaj se v takšnem sistemu dogaja?

- Toki (I) [A]?
- Napetosti (U) [V]?
- Energija $W(t)$ [J] → sposobnost opravljanja dela?
- Moč $p=dW/dt$, povprečna moč $P(t)$ [W]?

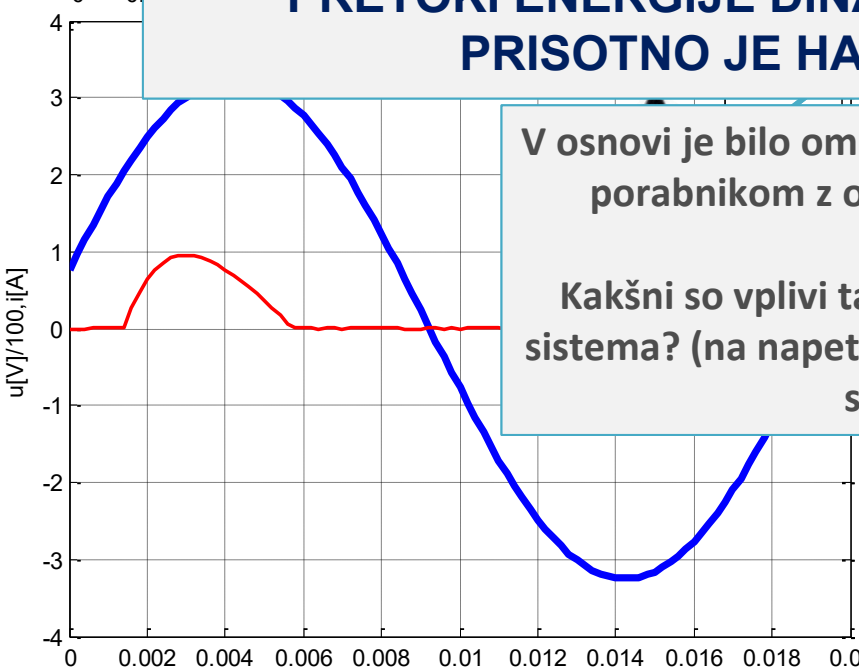
Masovno vključevanje FN in BHEE spreminja tokovne in napetostne razmere.

pretok energije

DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE, RAZPRŠENI VIRI IN BHEE

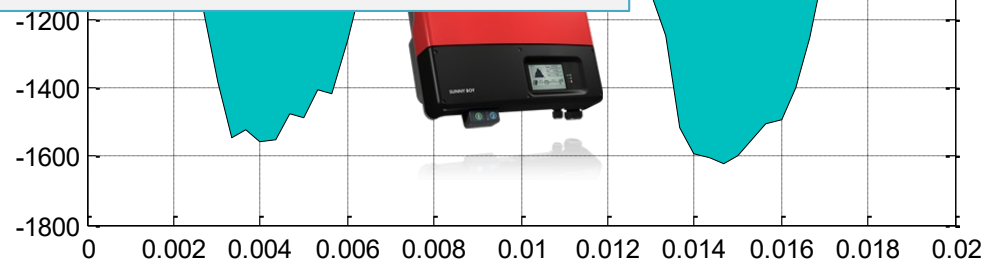


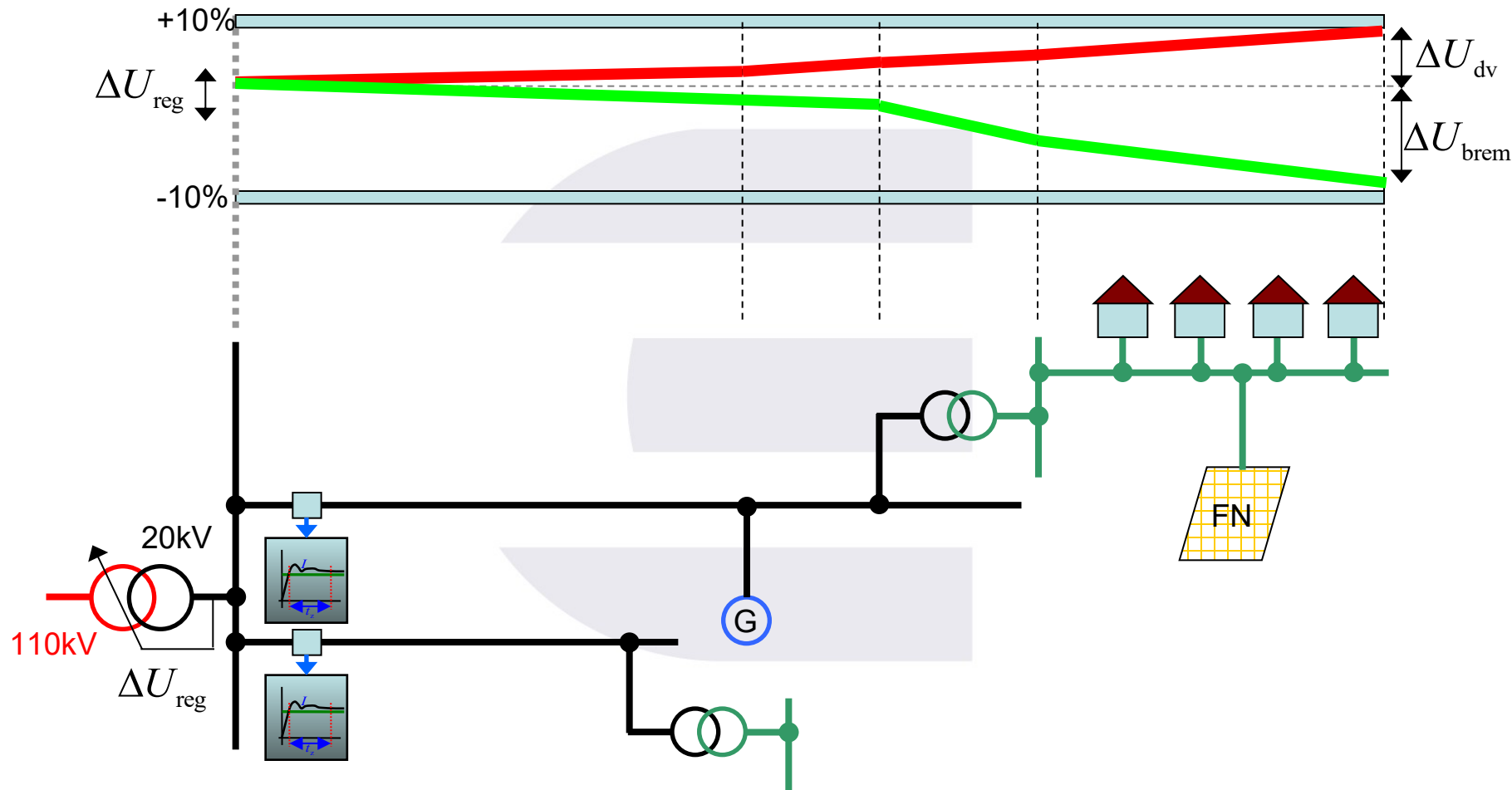
PRETOKI ENERGIJE DINAMIČNO SPREMINJAJO SMER in PRISOTNO JE HARMONSKO POPAČENJE!



V osnovi je bilo omrežje koncipirano za pretok energije k porabnikom z osnovno harmonsko komponento.

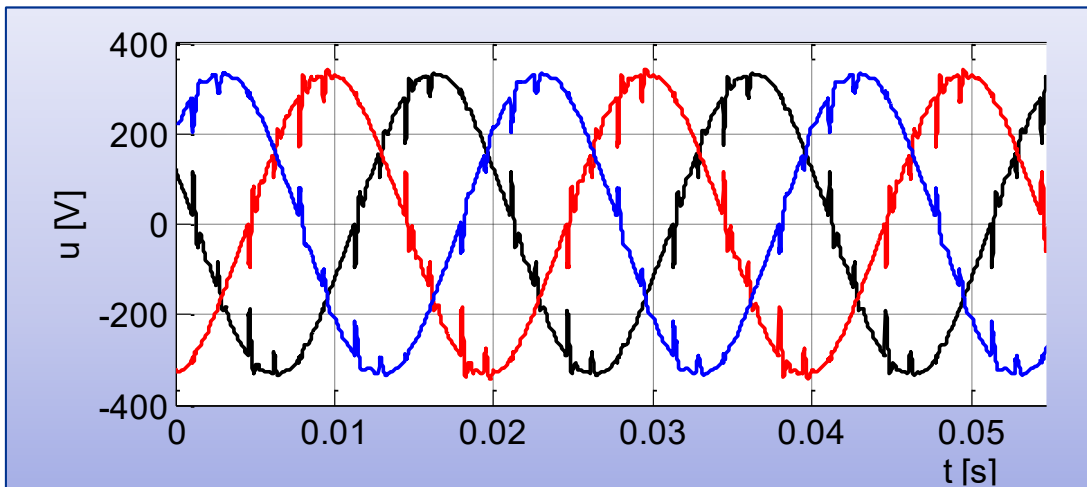
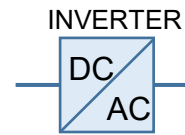
Kakšni so vplivi tako spremenjenega distribucijskega sistema? (na napetostni profil, na delovanje priključenih sistemov, naprav,...)



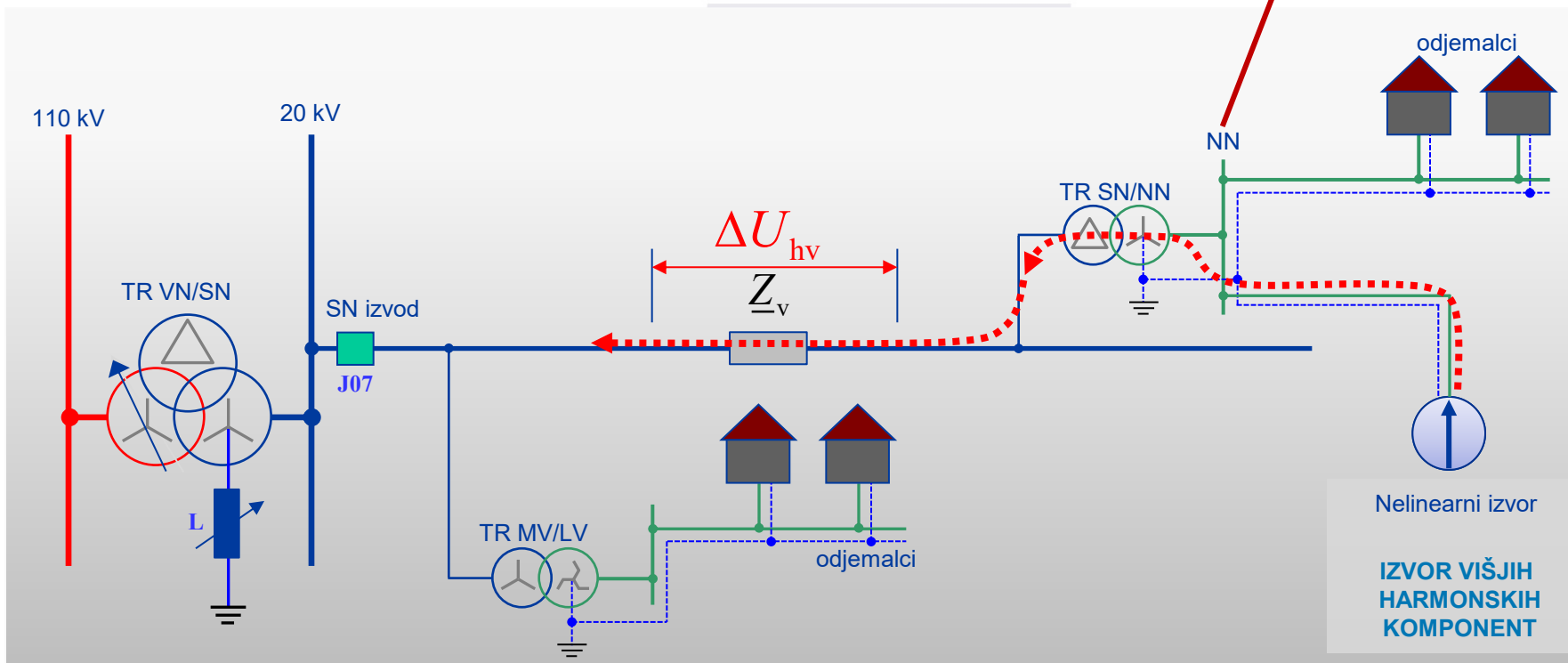


DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE, RAZPRŠENI VIRI IN BHEE

Izzivi obratovanja nelinearnih bremen



POSLEDICA JE POPAČENJE
NAPETOSTI NA NN
ZBIRALKAH!

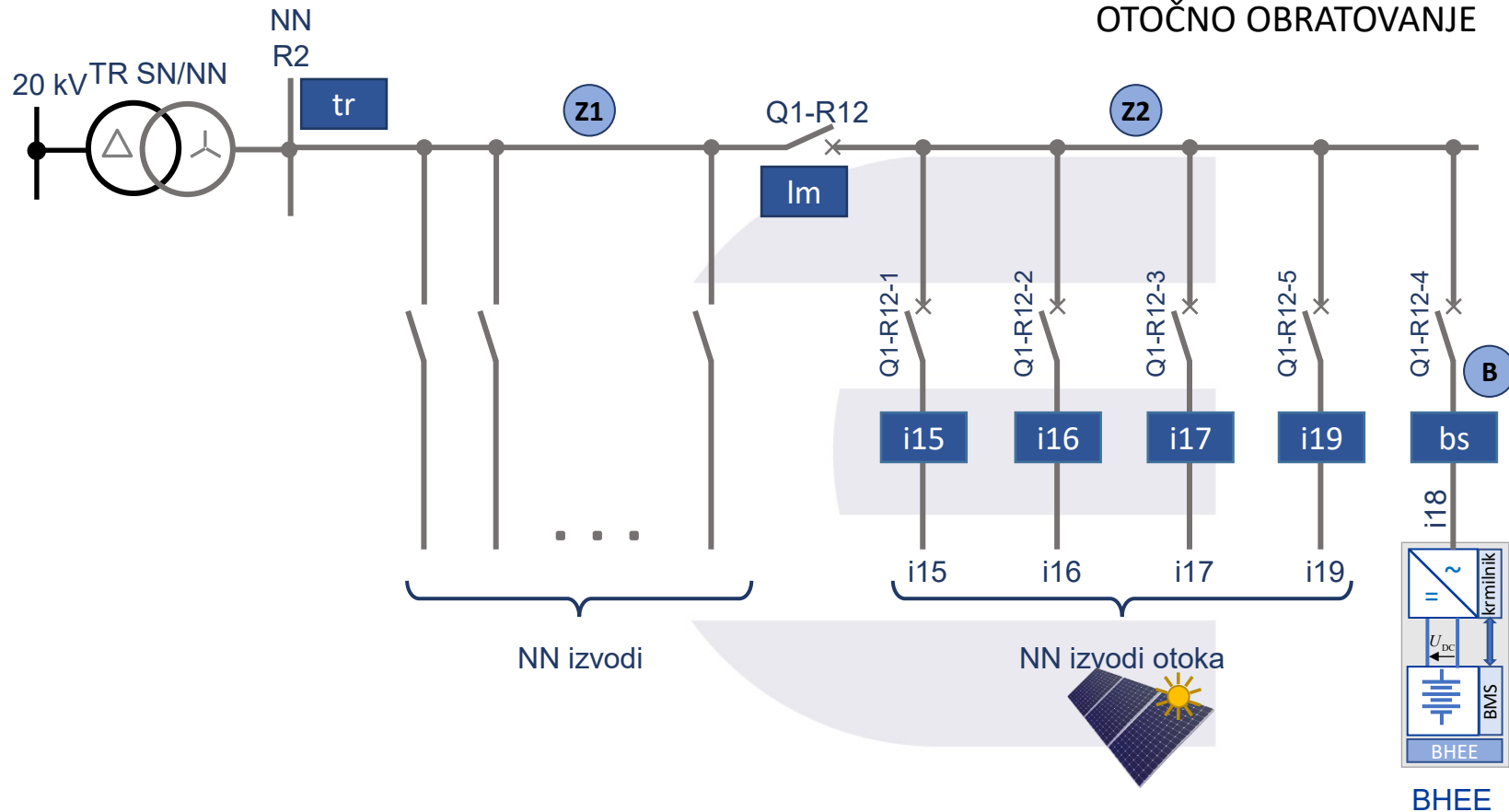


BHEE - PRIMER SKUPNOSTI LUČE

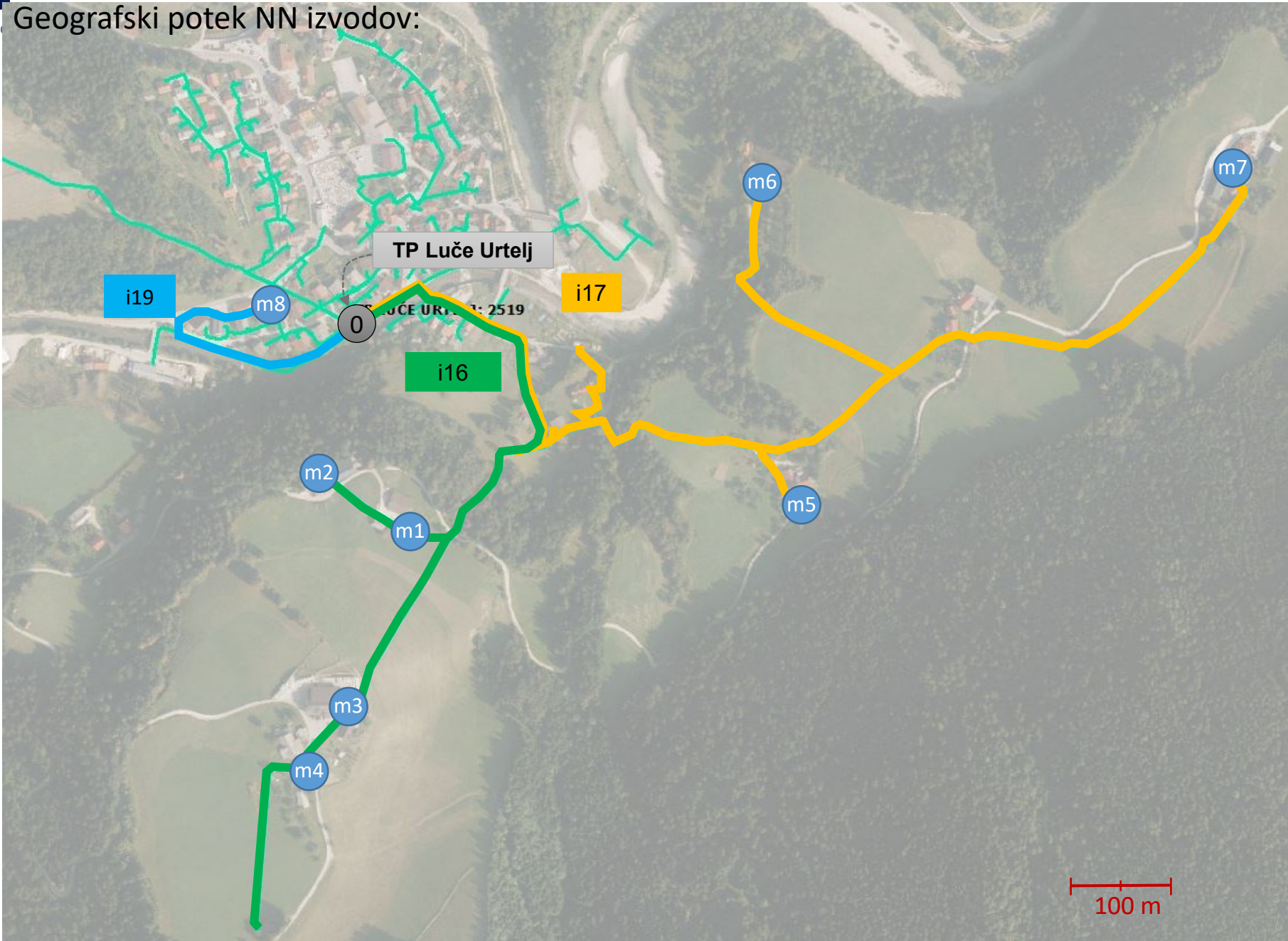


BHEE

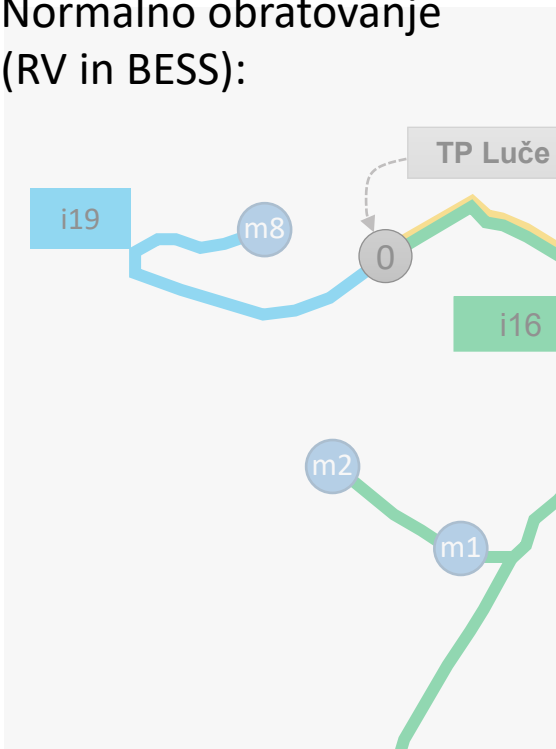
Enočrtna shema priključitve:



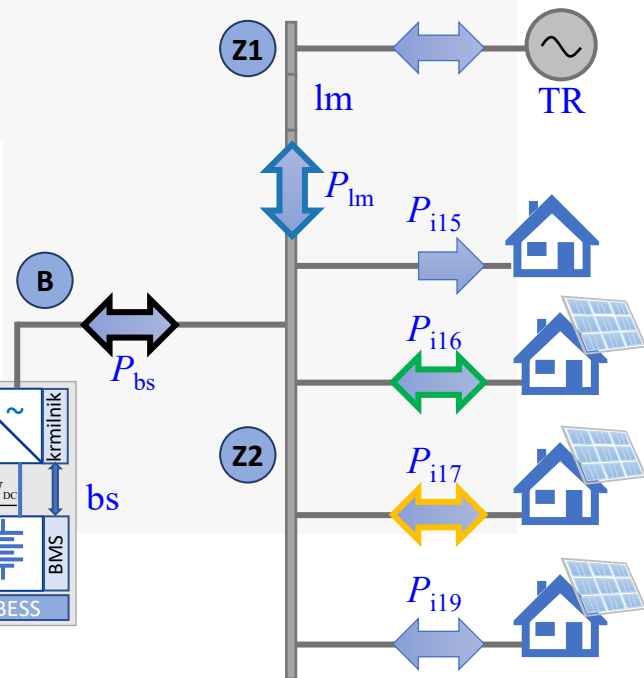
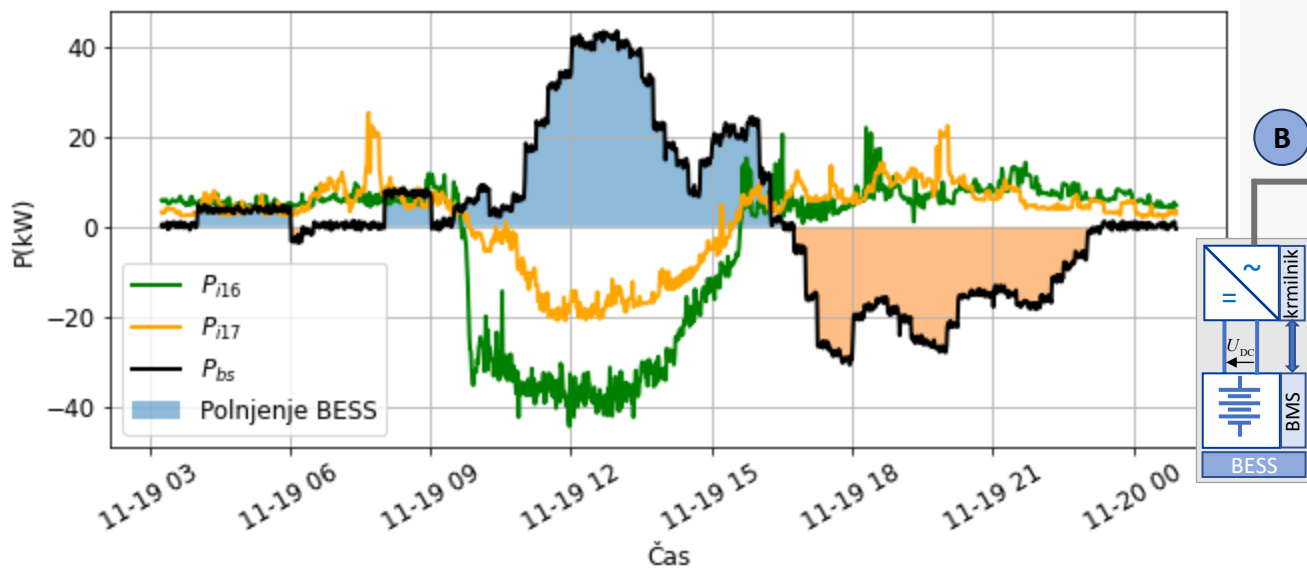
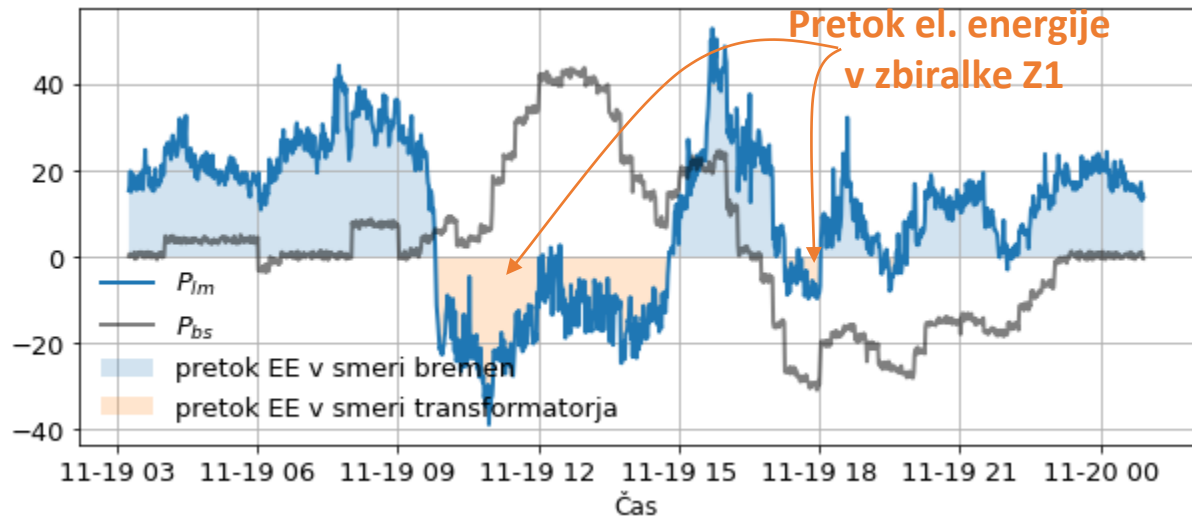
Geografski potek NN izvodov:



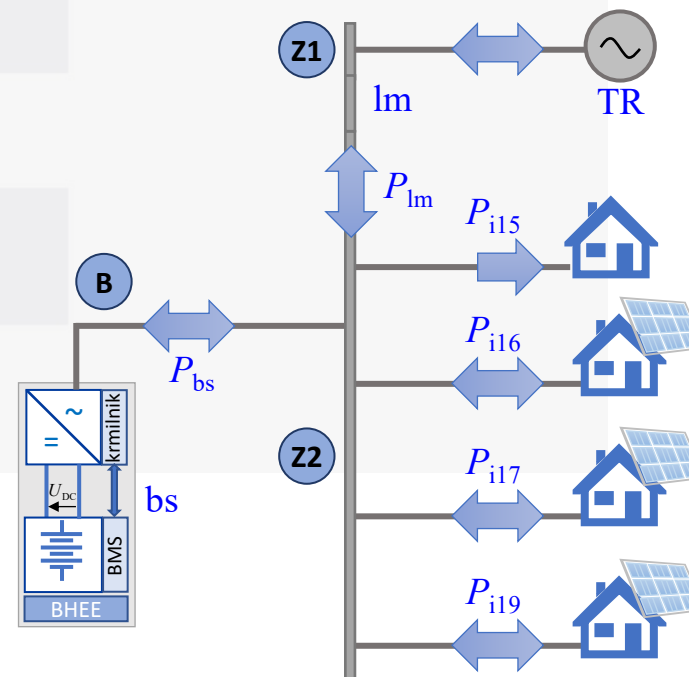
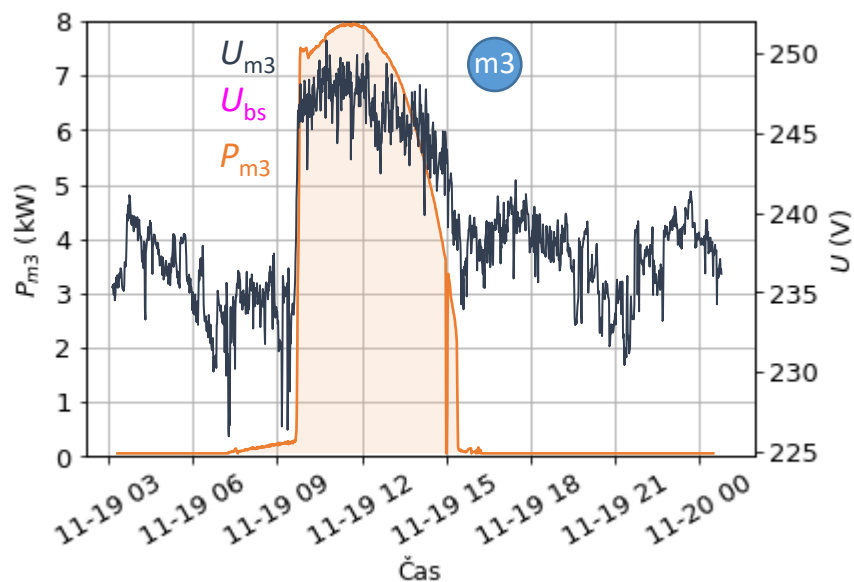
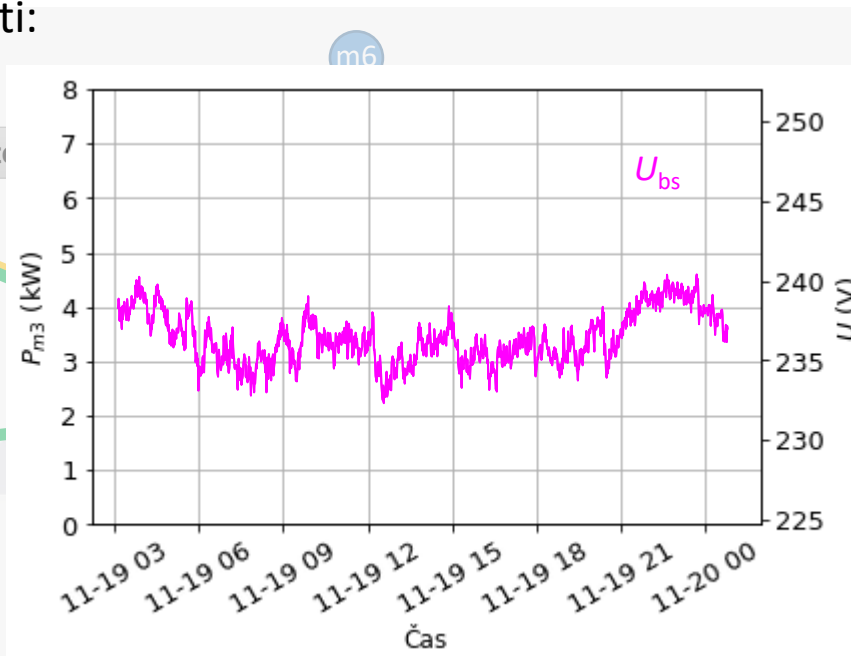
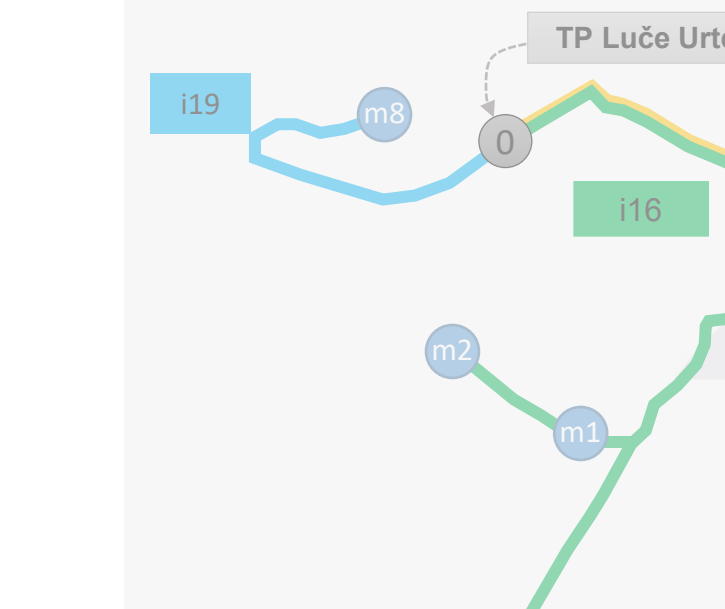
Normalno obratovanje
(RV in BESS):



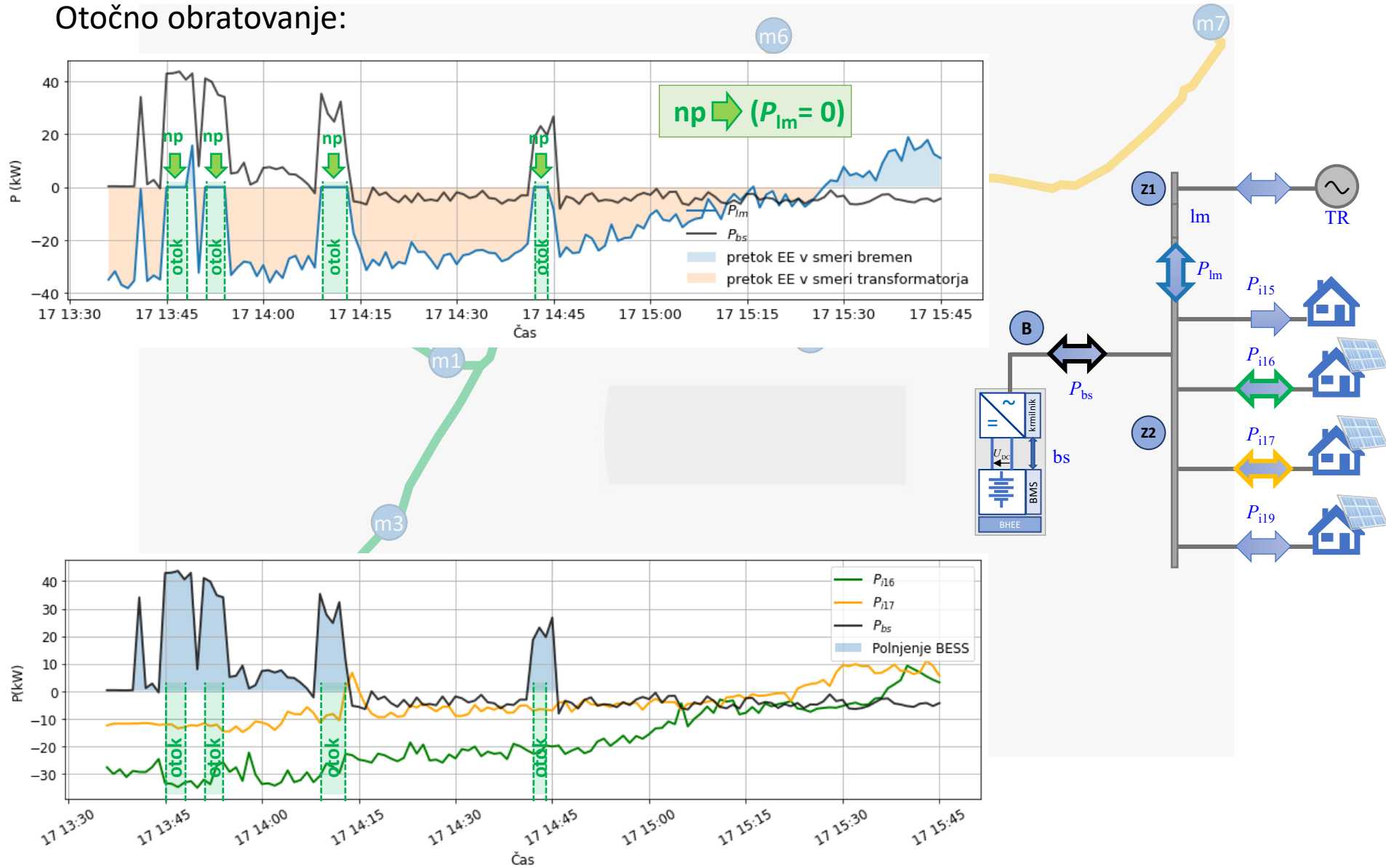
BHEE - PRIMER SKUPNOSTI LUČE



Normalno obratovanje, napetosti:

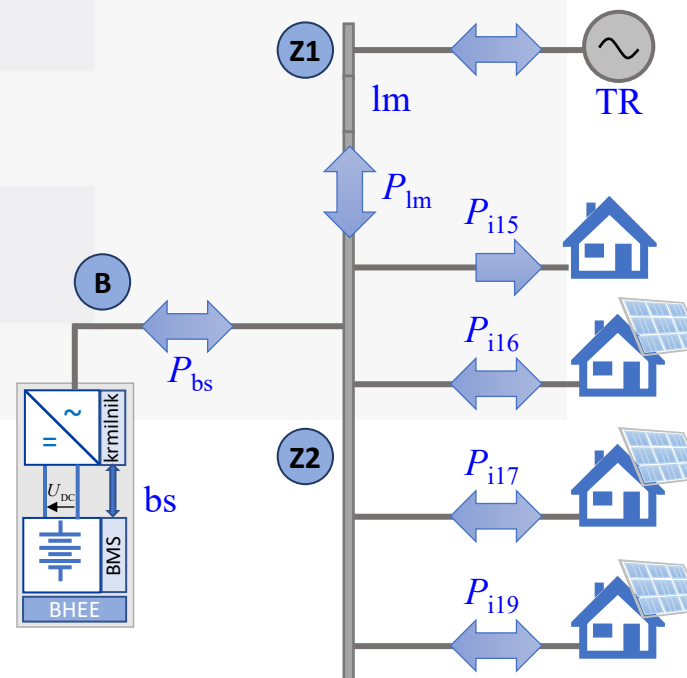
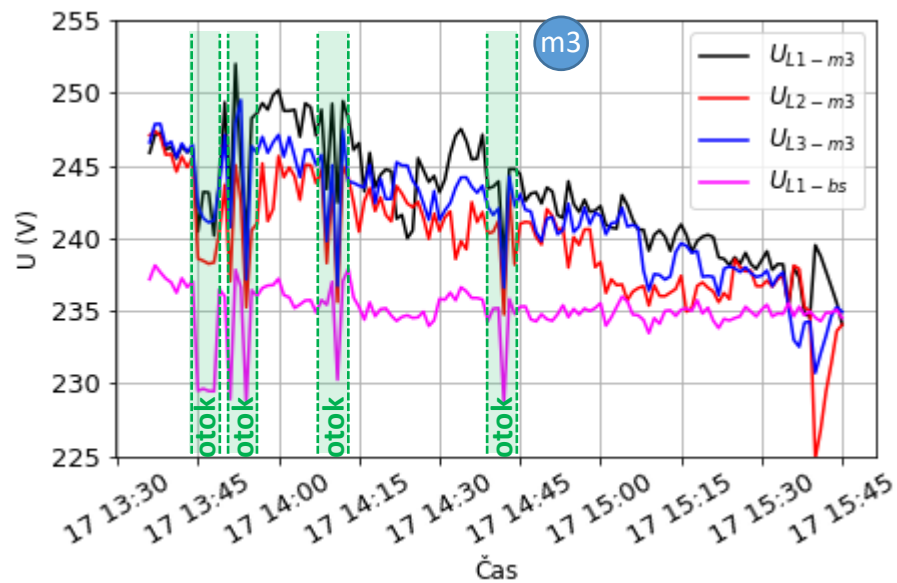
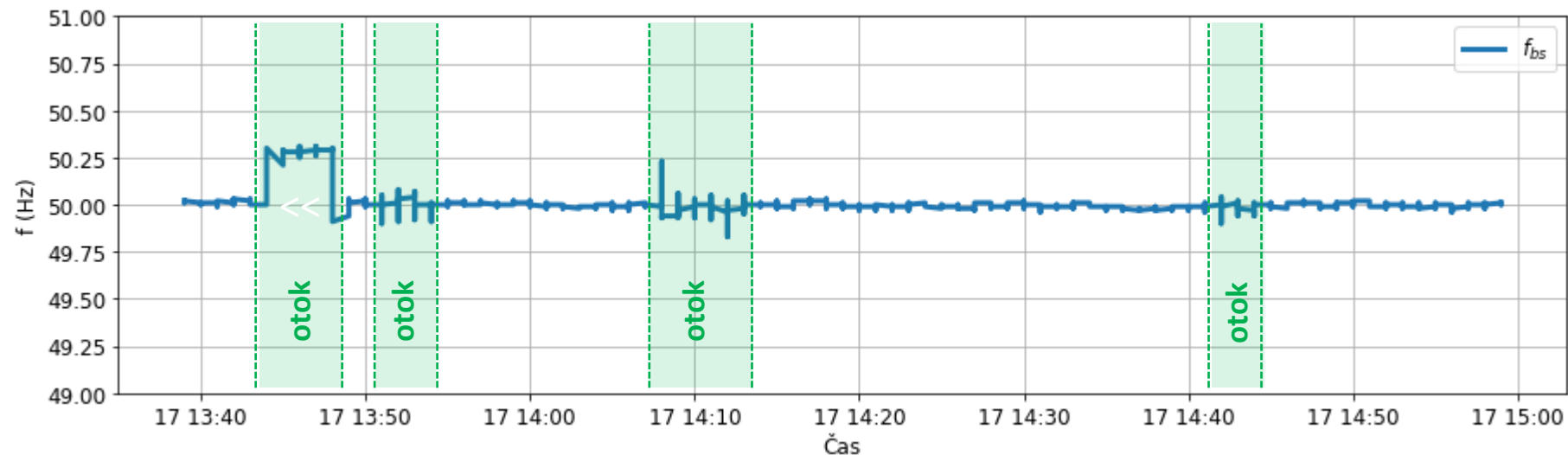


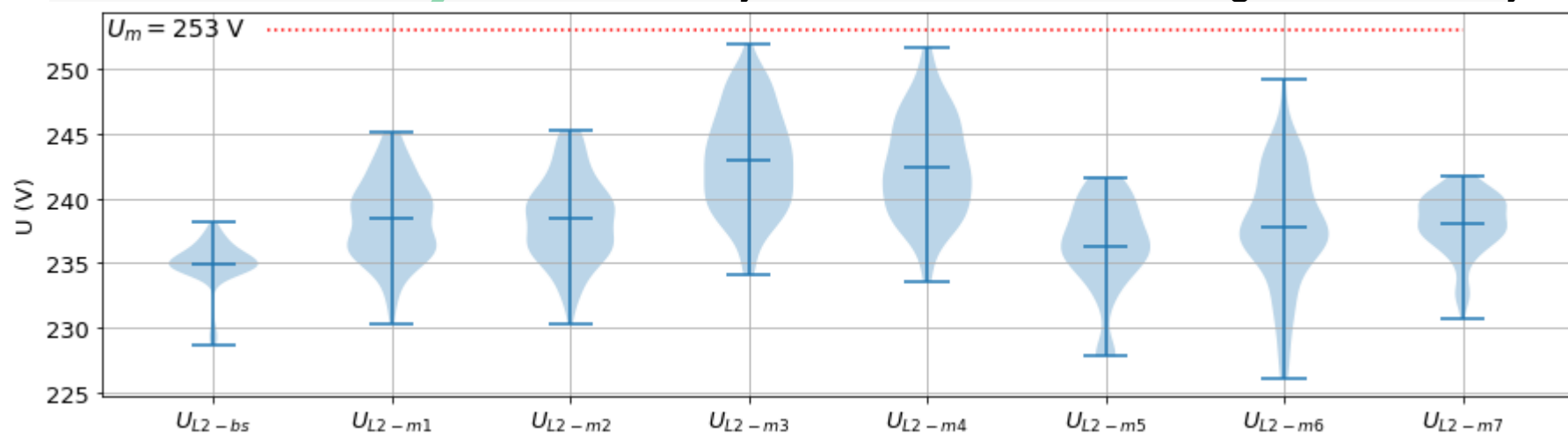
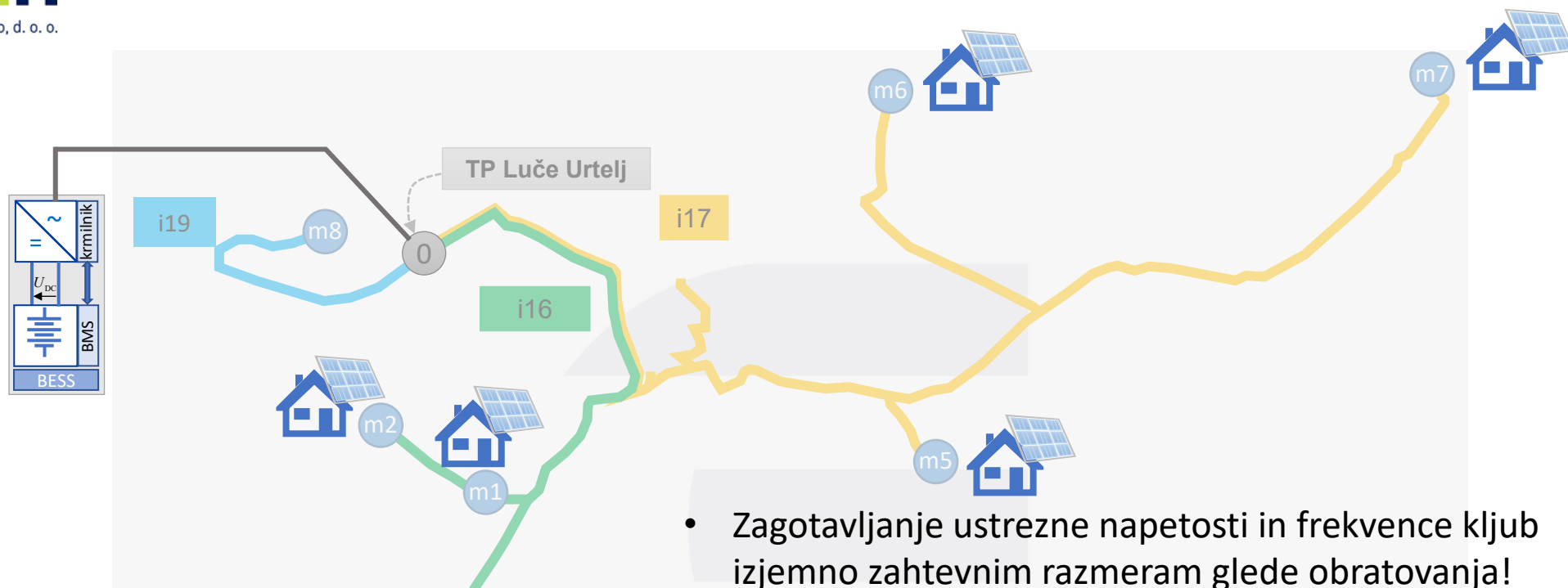
Otočno obratovanje:

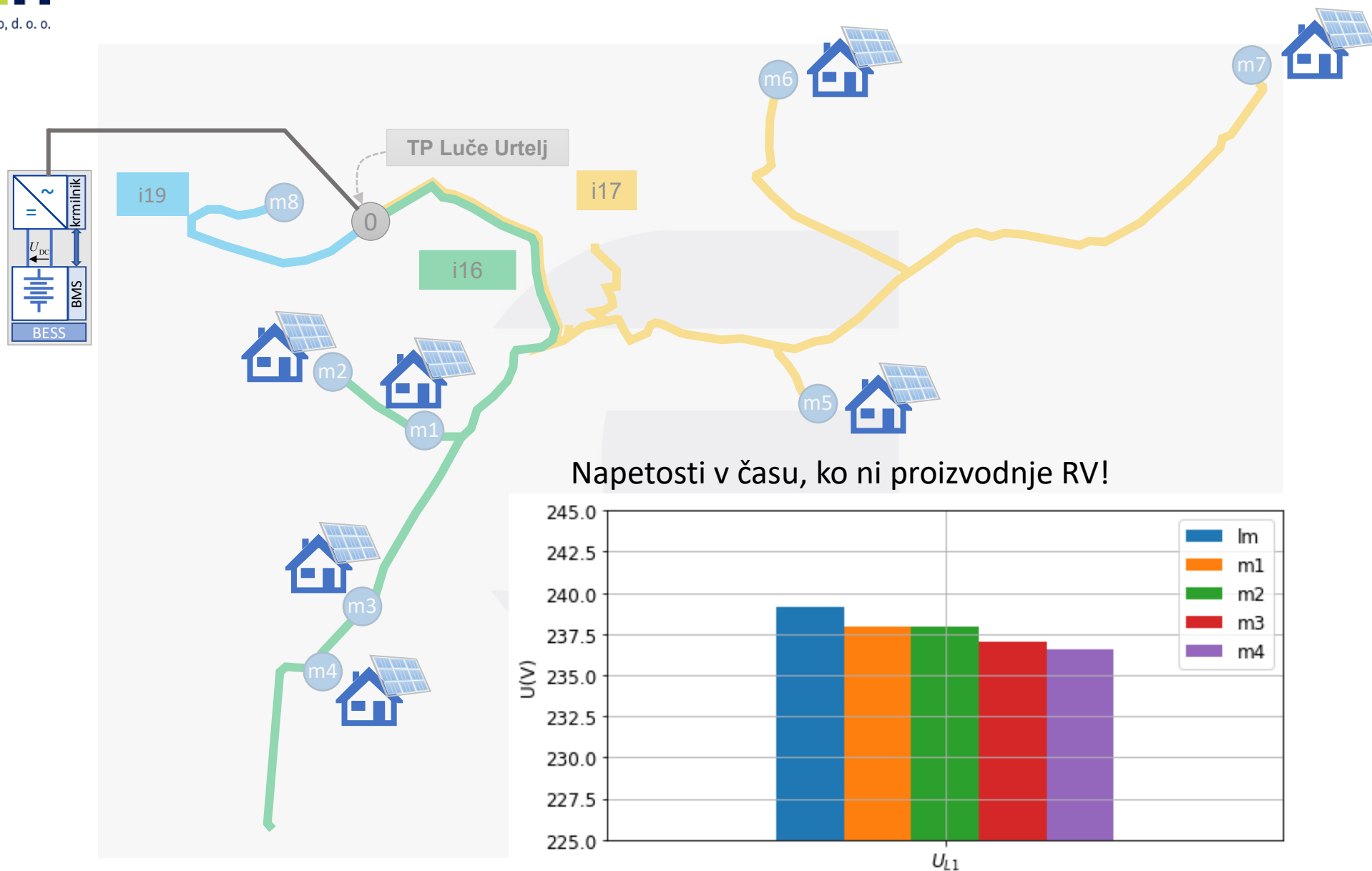


Otočno obratovanje, frekvenca in napetosti:

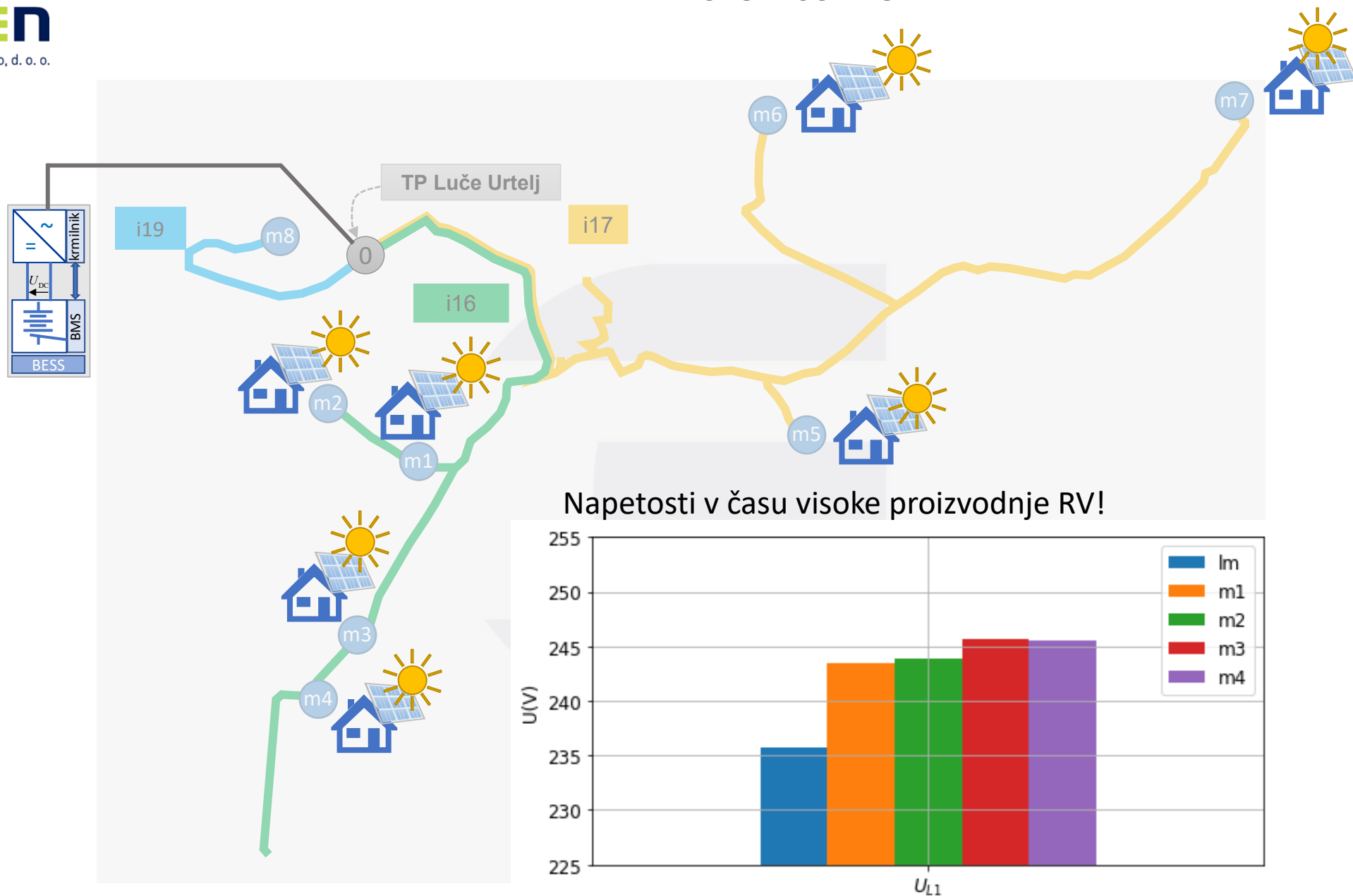
m7

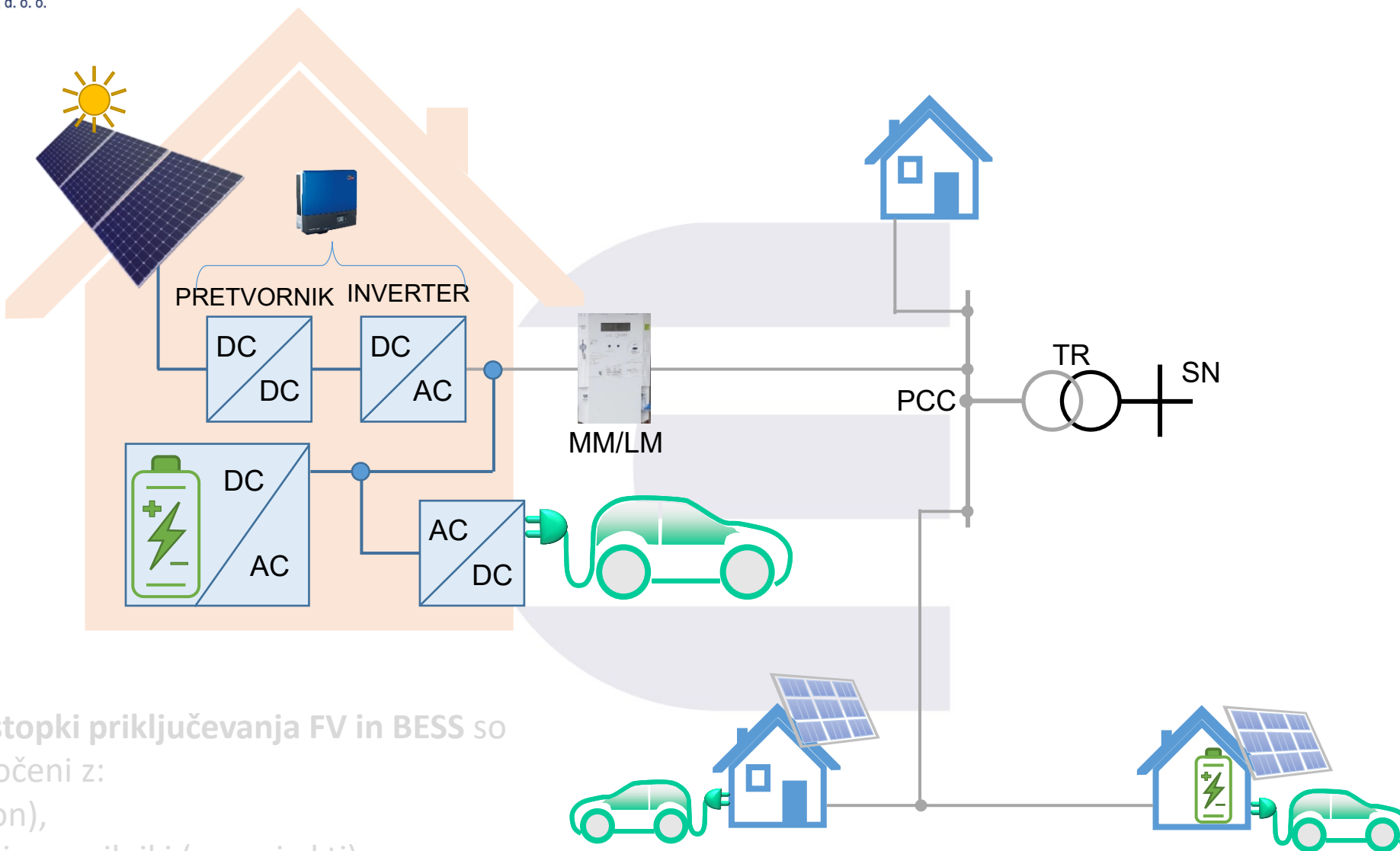






BHEE - PRIMER SKUPNOSTI LUČE





Scheme in postopki priključevanja FV in BESS so formalno določeni z:

Zakaj vgraditi ali dograditi BHEE?

- Povečanje samooskrbe → večja izraba lastne sončne energije,
- Shranjevanje presežkov → uporaba energije zvečer, ponoči, ali zgodaj zjutraj (ko FN ne deluje),
- Zmanjšanje konične moči → optimizacija priključne moči (omrežninski akt, časovni bloki),
- Rezervno napajanje (UPS ali **otočno obratovanje?**) → zaščita pred izpadi elektrike,
- Hitrejša donosnost naložbe – optimizacija izkoriščenosti FV sistema (maksimiramo lastno porabo proizvedene EE).

Povratna napetost lahko ogrozi varnost vzdrževalnih oseb!

Načrtovanje, dimenzioniranje BHEE (manjši sistemi za gospodinjstvo uporabo):

- Poraba električne energije (računi za EE), ← Daljše časovne obdobje, sezonsko st., ... !
- Spisek in lastnosti (moči) bremen, ← Nujno potrebno, če želimo zagotoviti delovanje ob izpadu dis. omrežja!
- Način obratovanja bremen (pogostost vklopov, trajanje, ipd..). ← Priporočljive meritve!
- Napetost sistema BHEE, ← Višja napetost ⇔ manjši tok ⇒ manjše izgube!
- Čas zahtevane avtonomije BHEE, ← Upoštevati razpoložljivost DO oziroma nujnost napajanja ⇒ STROŠKI↑
- Globina praznjenja in višina polnjenja, ← Neposredni vpliv na skupne cikle oz. življenjsko dobo BHEE!
- Vpliv temperature okolice, ← Neposredni vpliv na izkoristek, razpoložljivo kapaciteto in življenjsko dobo BHEE!

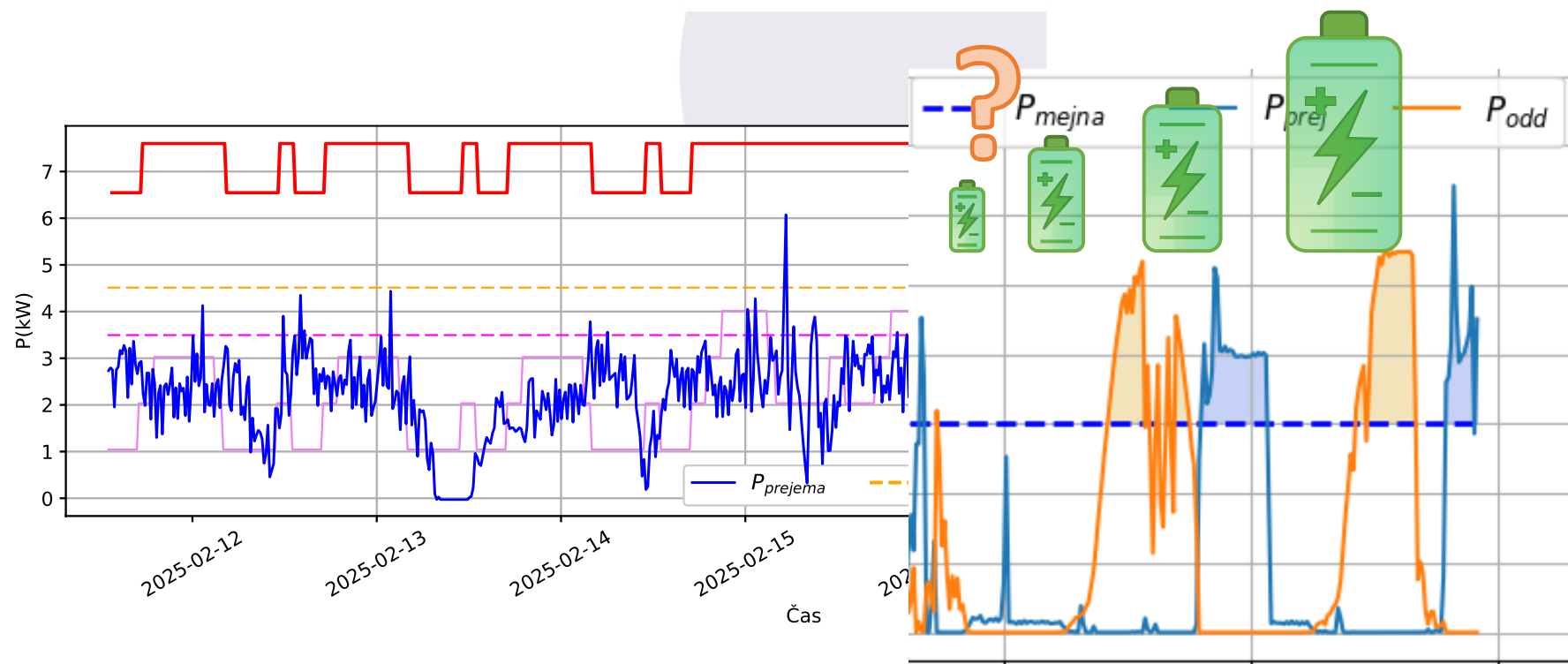
PODATKI O PORABI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Št.števca	Izvor odčitka	Vrsta porabe	Datum od	Datum do	Začetno stanje	Končno stanje	Razlika	kWh
51	Daljinsko odčitavanje	ENERGIJA VT	01.05.2020	31.05.2020	21.023	21.289	266	266
51	Daljinsko odčitavanje	ENERGIJA MT	01.05.2020	31.05.2020	23.658	24.020	362	362
Skupna poraba v obdobju								628

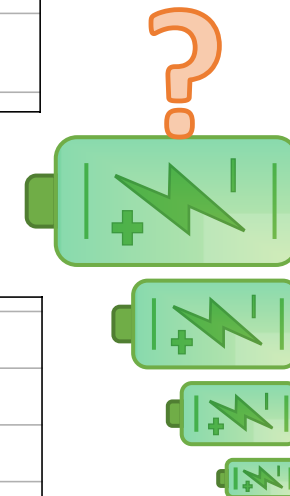
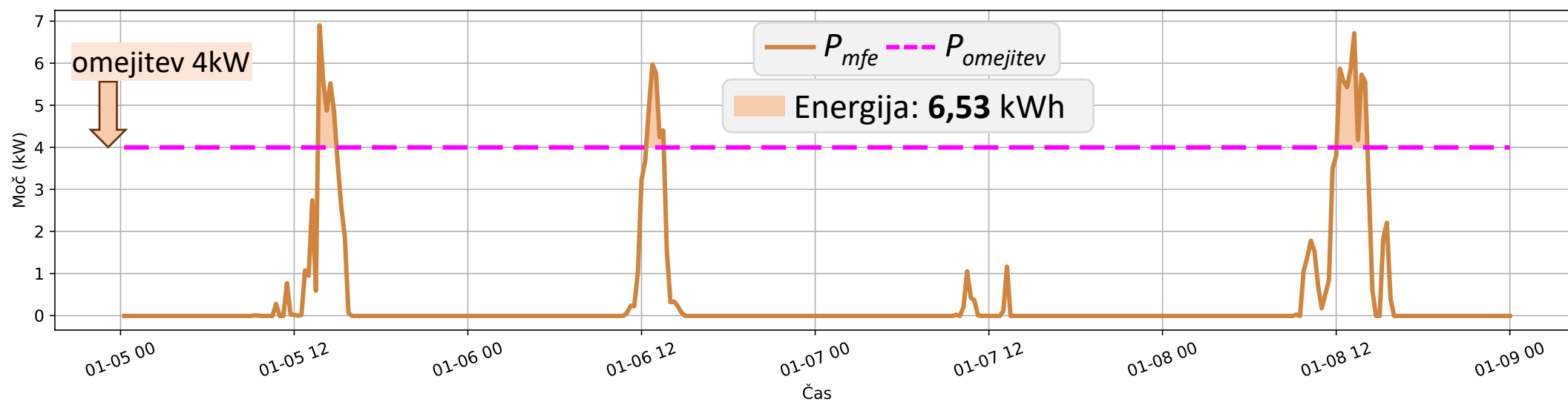
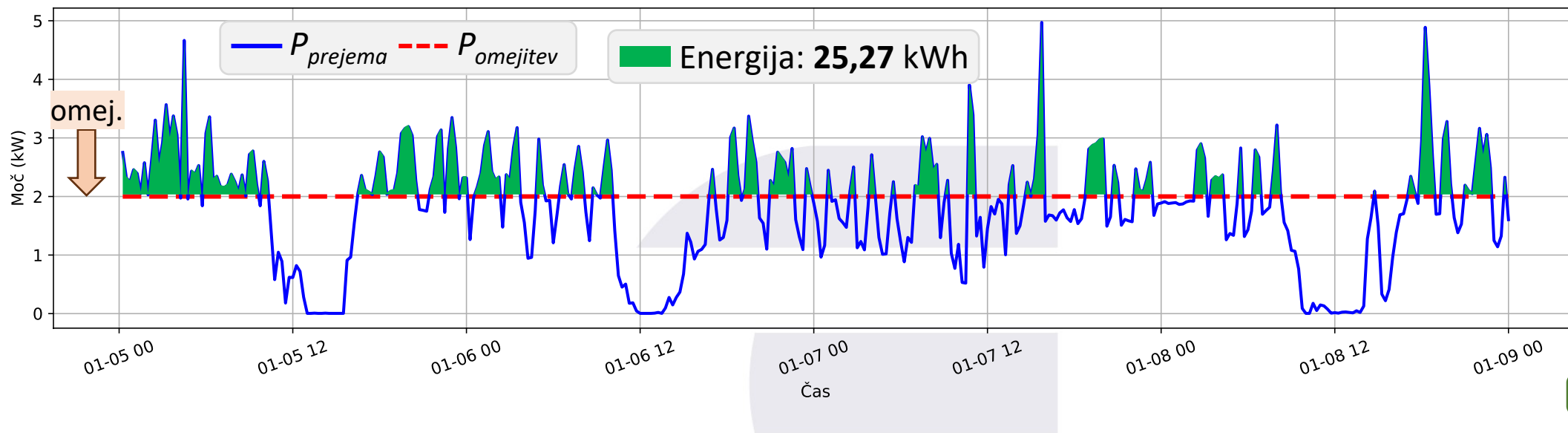
Naprava	Št. naprav	Moč (W)	Uporaba (ur/dan)	Energija (kWh)	Potreben ob izpadu EE	Čas avtonomije (ur)
Indukcija	1	2000	1,5	3	da	1

Odločitev o velikosti in kapaciteti BHEE:

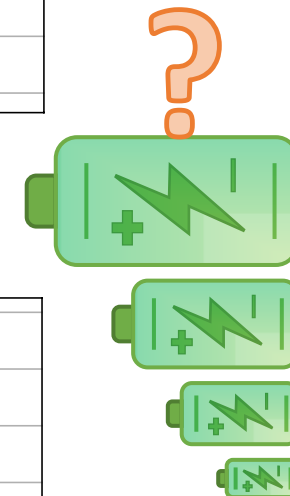
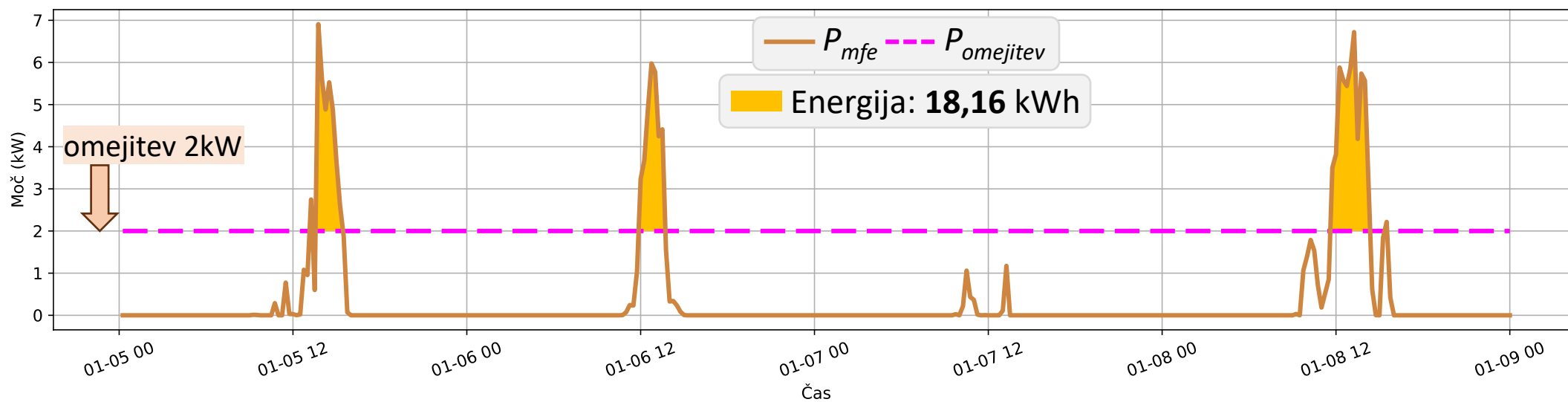
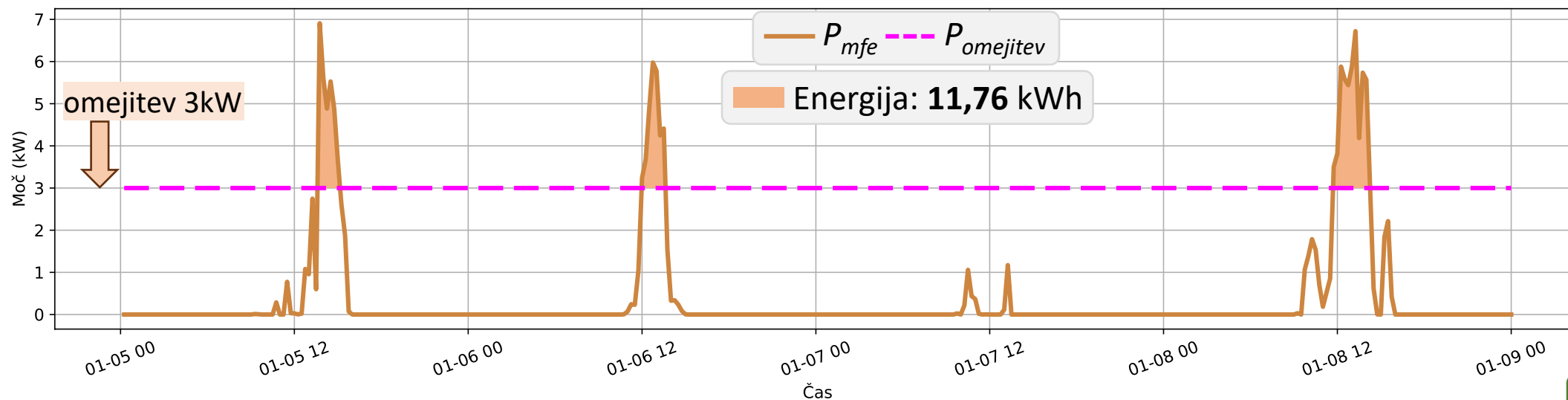
- Kapaciteta baterije (kWh) naj bo prilagojena naši porabi električne energije, predvsem v večernih in nočnih urah.
- Ključna je analiza letnih (večletnih) podatkov o porabi in proizvodnji, še posebej, če imamo sončno elektrarno (števnice, profil porabe → moj elektro (<https://mojelektro.si>)).
- Odgovorimo si ali potrebujemo rezervo za izpade? Če želimo baterijo uporabljati kot zasilni vir (otočno delovanje), bo verjetno potrebna izbira večje kapacitete in bistveno je, da pretvornik omogoča možnost "off-grid" delovanja (grid forming).
- Za določitev priključne moči, analiziramo koliko naprav želimo napajati hkrati. To določa moč inverterja in baterije (kW).



Primer: kapaciteta BHEE:



Primer: kapaciteta BHEE:

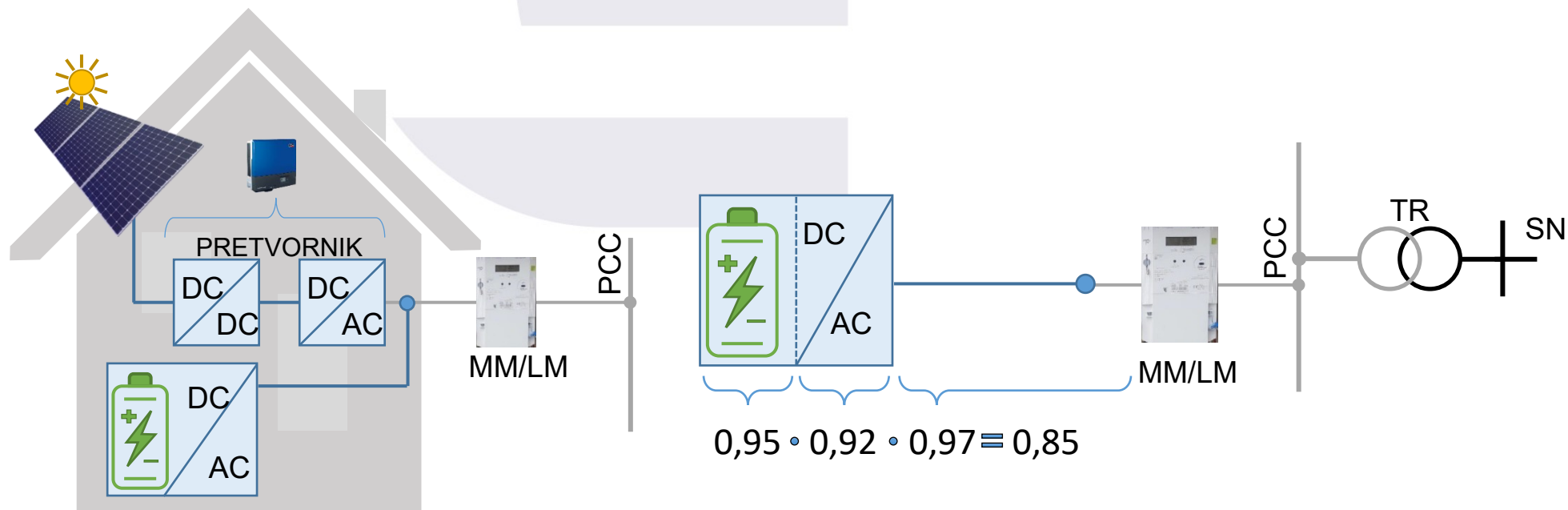
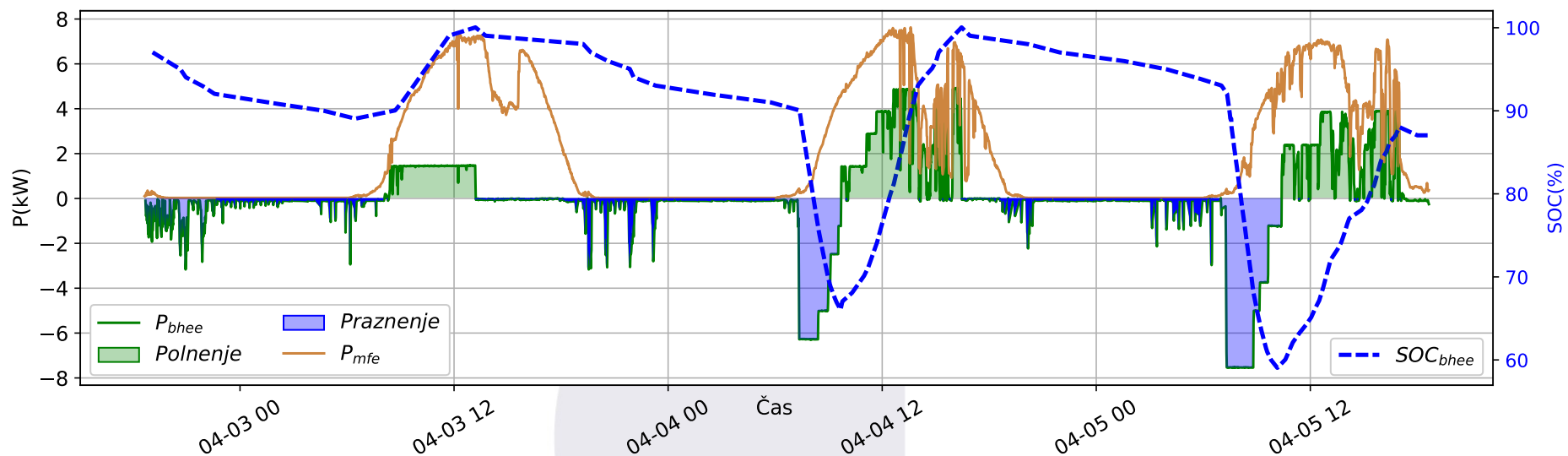


Primer: realni hišni BHEE:

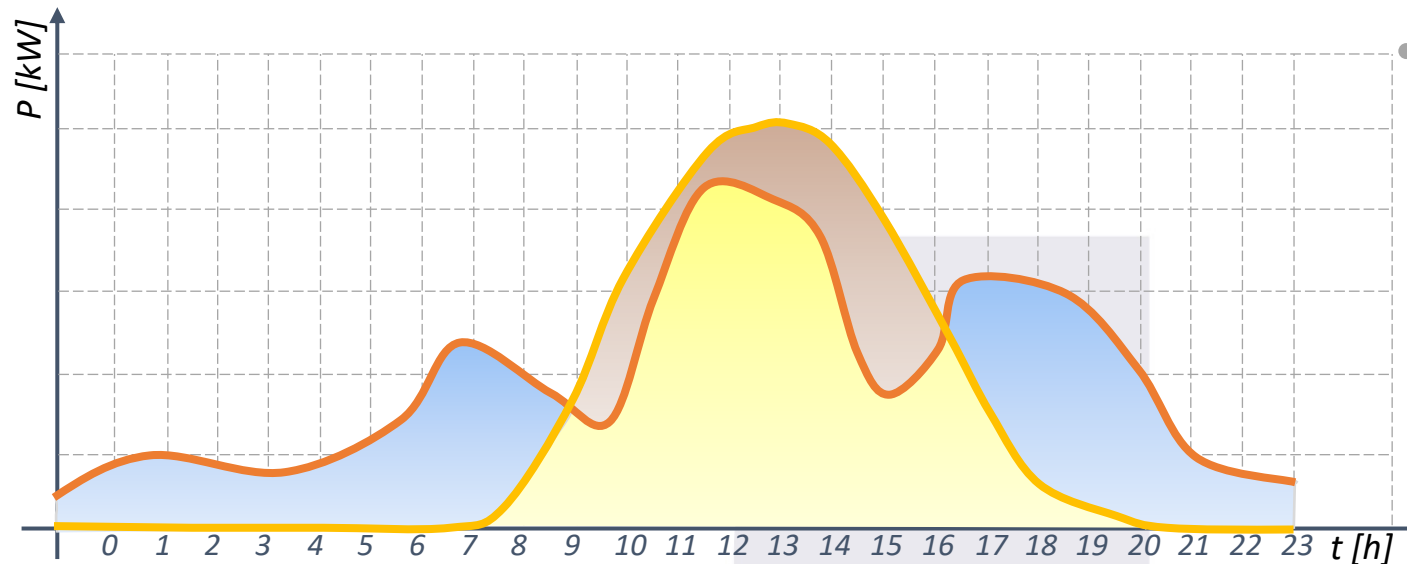
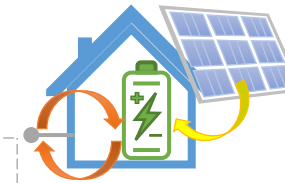
Časovni bloki in sezone:

Ura	Višja sezona	Nižja sezona	Višja sezona	Nižja sezona
dneva	delovni dan	delovni dan	dela prosti dan	dela prosti dan
0	3	4	4	5
1	3	4	4	5
2	3	4	4	5
3	3	4	4	5
4	3	4	4	5
5	3	4	4	5
6	2	3	3	4
7	1	2	2	3
8	1	2	2	3
9	1	2	2	3
10	1	2	2	3
11	1	2	2	3
12	1	2	2	3
13	1	2	2	3
14	2	3	3	4
15	2	3	3	4
16	1	2	2	3
17	1	2	2	3
18	1	2	2	3
19	1	2	2	3
20	2	3	3	4
21	2	3	3	4
22	3	4	4	5
23	3	4	4	5

Višja sezona: nov., dec., jan., feb.

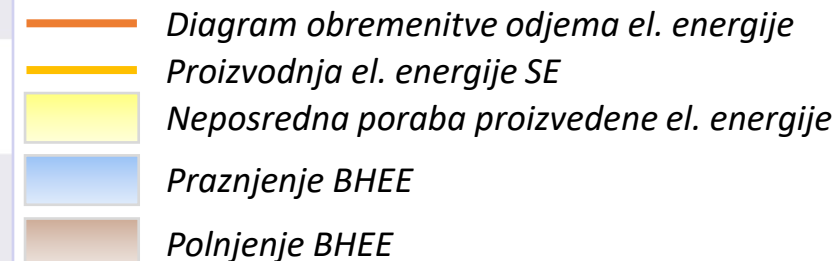


Povišanje porabe lastne proizvedene el. energije („self consumption“)

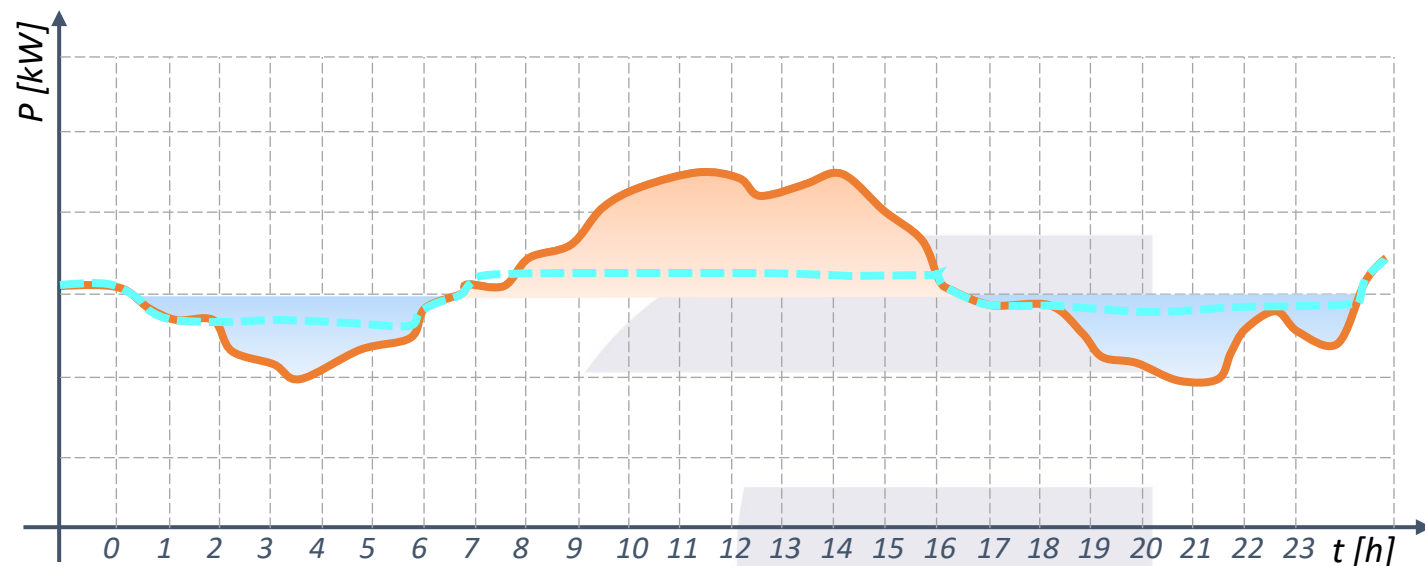


Na kaj vplivamo :

- Zaščitimo se lahko pred prihodnjimi povišanji stroškov električne energije,
- Izboljšamo izkoristek uporabe električne energije, ki jo proizvedemo iz RV,
- Izkoriščamo potencial prožnosti, ki ga lahko ponujamo agregatorjem ali sistemu,
- Neposredno vplivamo na povečanje integracije RV v distribucijska omrežja (večji delež RV),
- Sodelovanje pri izboljšanju stabilnosti distribucijskega omrežja.



Zamik obremenitve („load shifting, load balancing“)

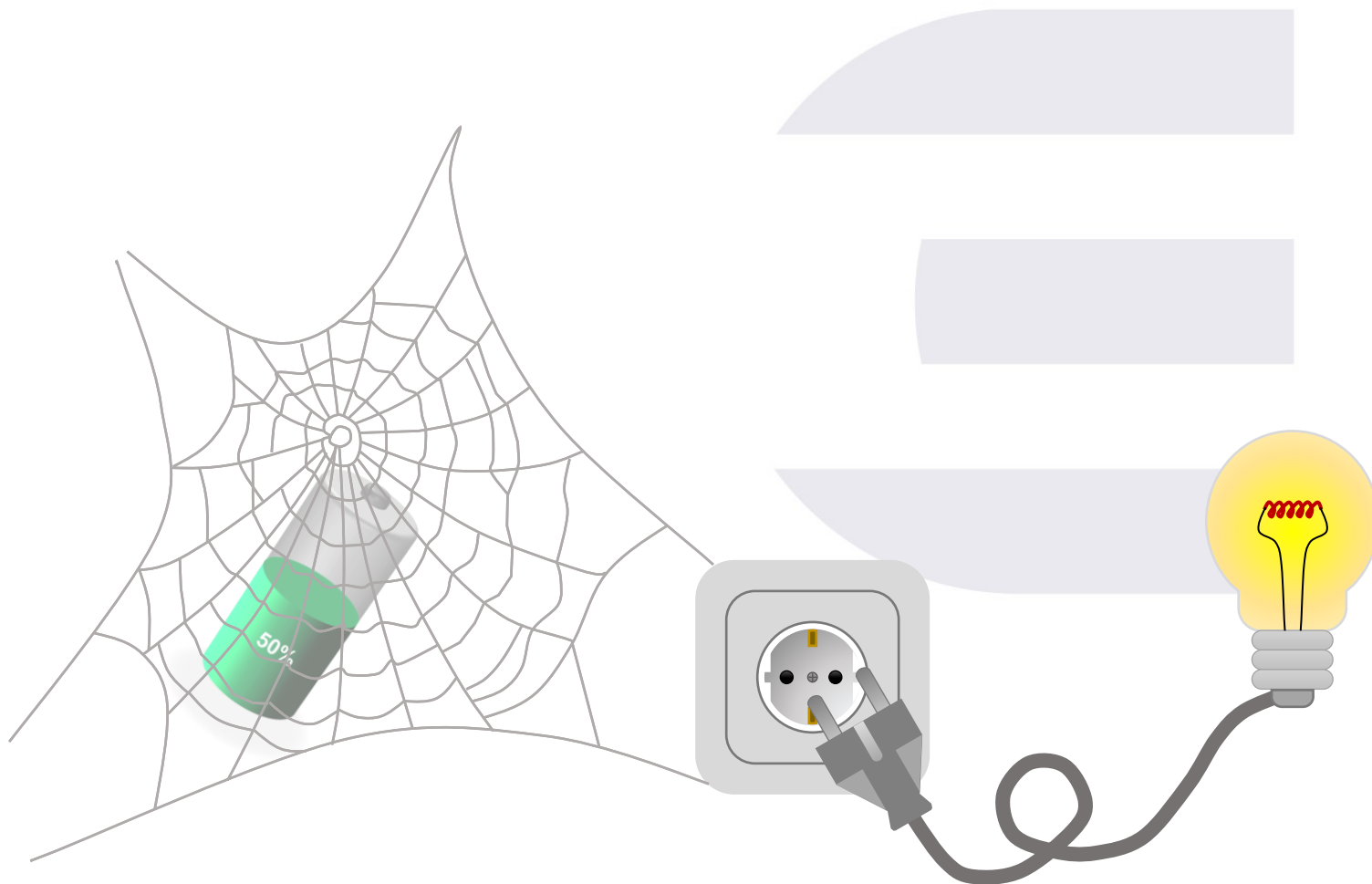


Na kaj vplivamo z zamikom obremenitve:

- Postanemo lahko relativno neodvisni od obdobja „zelo visokih“ cen, ter neposredno vplivamo na manjše stroške nakupa električne energije,
- Zaščitimo se lahko pred prihodnjimi povišanji stroškov električne energije,
- Izboljšamo izkoristek uporabe električne energije, ki jo proizvedemo iz RV,
- Vzpostavimo potencial prožnosti, ki ga lahko ponujamo agregatorjem ali sistemu.

Hvala za pozornost!

➤ Vprašanja?



➤ Varnost!

<https://www.researchgate.net/publication/321907743> Investigation into the Fire Hazards of Lithium-Ion Batteries under Overcharging