

Integracija in napredne funkcije OVE naprav

dr. Miran Rošer, 06.03.2026

Kazalo

01 Uvod	3
02 Hišni elektroenergetski sistem	2
03 Elektroenergetski sistem	3
04 Integracija energetske gradnikov	7
05 Napredne funkcije	3



- Kaj se v nizkonapetostnem omrežju dejansko dogaja, ko gospodinjstvo hkrati proizvaja, porablja in shranjuje električno energijo?
- Kako na istem priključku vplivajo med seboj :
 - fotonapetostna elektrarna, baterijski hranilnik, toplotna črpalka, polnilnica električnega vozila?
- Zakaj lahko enaka moč sončne elektrarne na dveh različnih lokacijah povzroči povsem različne napetostne razmere v omrežju?
- Zakaj so za elektroenergetski sistem pogosto bolj problematične konice moči kot sama porabljena energija?
- Kako lahko z baterijskim hranilnikom in pametnim upravljanjem zmanjšamo lokalne konice moči in razbremenimo omrežje?



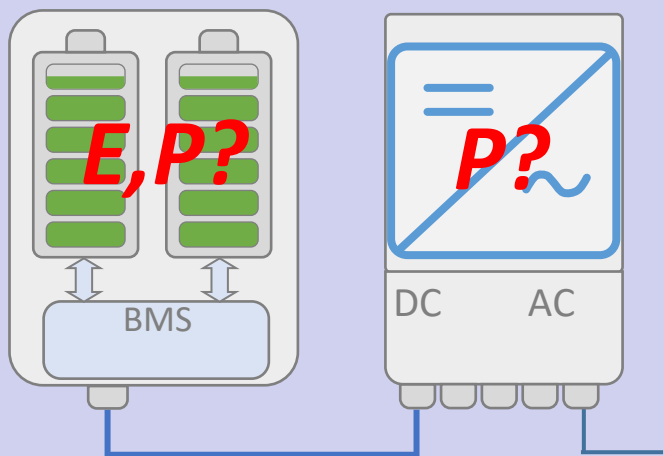
- Da bomo lahko na ta vprašanja odgovorili → bomo obravnavali:
- osnovne fizikalne zakonitosti moči in energije,
- kako se pretvorniki (inverterji) obnašajo v omrežju,
- kako porabniki in proizvodnja oblikujejo profil moči,
- kakšen vpliv imajo baterijski hranilniki.



Vsebinsko bomo osvetlili skozi razlago priključnega omrežja in praktične primere, s poudarkom na fizikalnih zakonitostih in realnih obratovalnih razmerah.

Električna moč?

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



Električna energija?

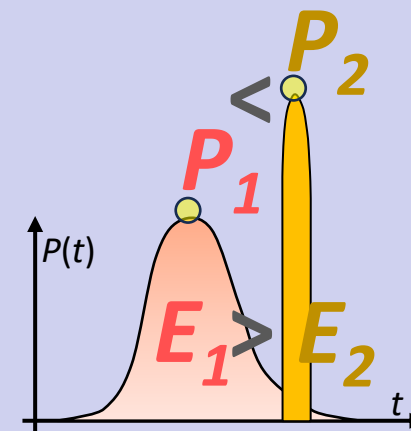
- Električna energija (E) je skupna količina energije, porabljena v določenem času
- Enota: kilovatna ura (kWh)
- Obrazec: $E = P \cdot t$
- Primer:

Pečica z močjo **3000 W**:

V 1 h, porabi 3000 Wh ali 3 kWh,

v 15 min pa $15/60 \cdot 3000 = 750$ Wh ali **0,75 kWh**

1 kWh = 3,6 MJ



Analogija z avtom:

$$p = \frac{dE}{dt} \quad \text{Moč} \leftrightarrow \text{hitrost} \quad v = \frac{ds}{dt}$$

$$E = \int p dt \quad \text{Energija} \leftrightarrow \text{prevožena razdalja}$$

Torej:

Moč **P** je trenutna vrednost, energija **E** je površina pod krivuljo $P(t)$.

Omrežje omejuje moč (kW), ne energije (kWh).



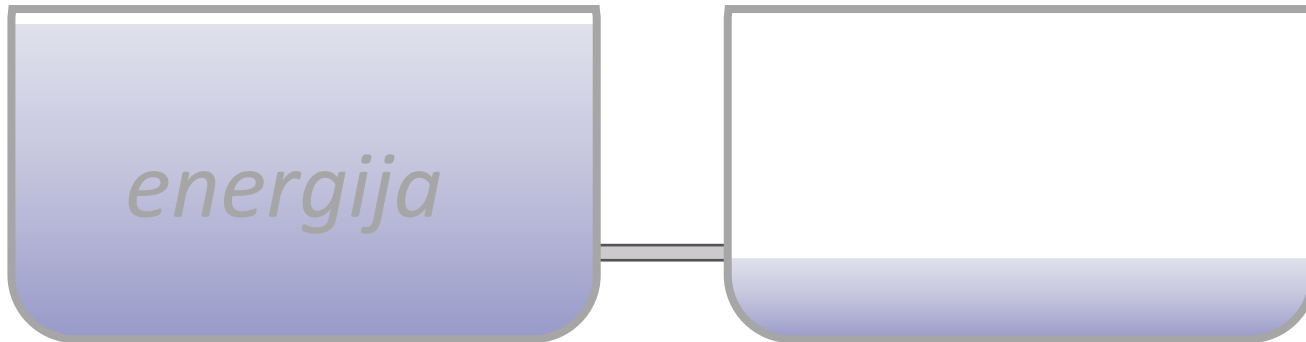
moč določa, kako hitro gre!

energija pa kako daleč!

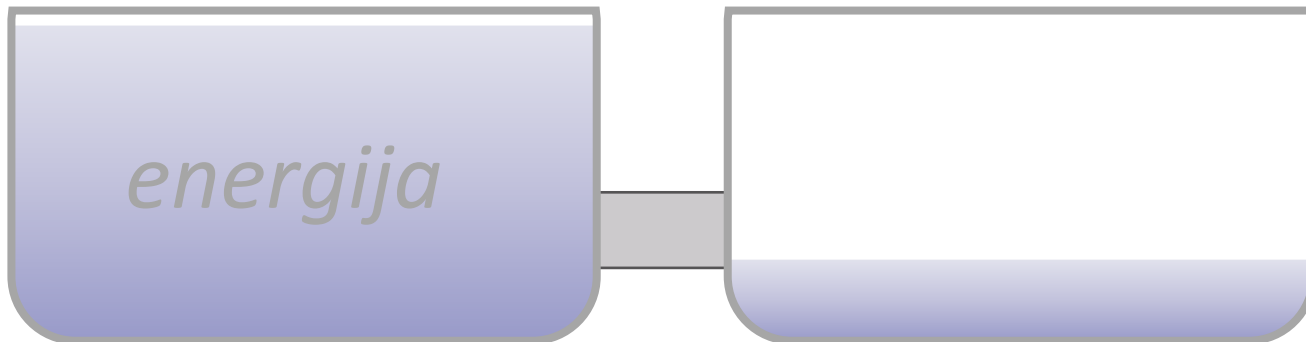


Predstavljamo si **moč** kot **hitrost pretoka energije**;
počasnejše pretakanje → **manjša moč**

$$100 \text{ W} = \frac{100 \text{ Ws}}{1 \text{ s}}$$



hitrejšje pretakanje → **večja moč**



Kaj je moč?

$$P = \frac{dE}{dt} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{s}} \right]$$

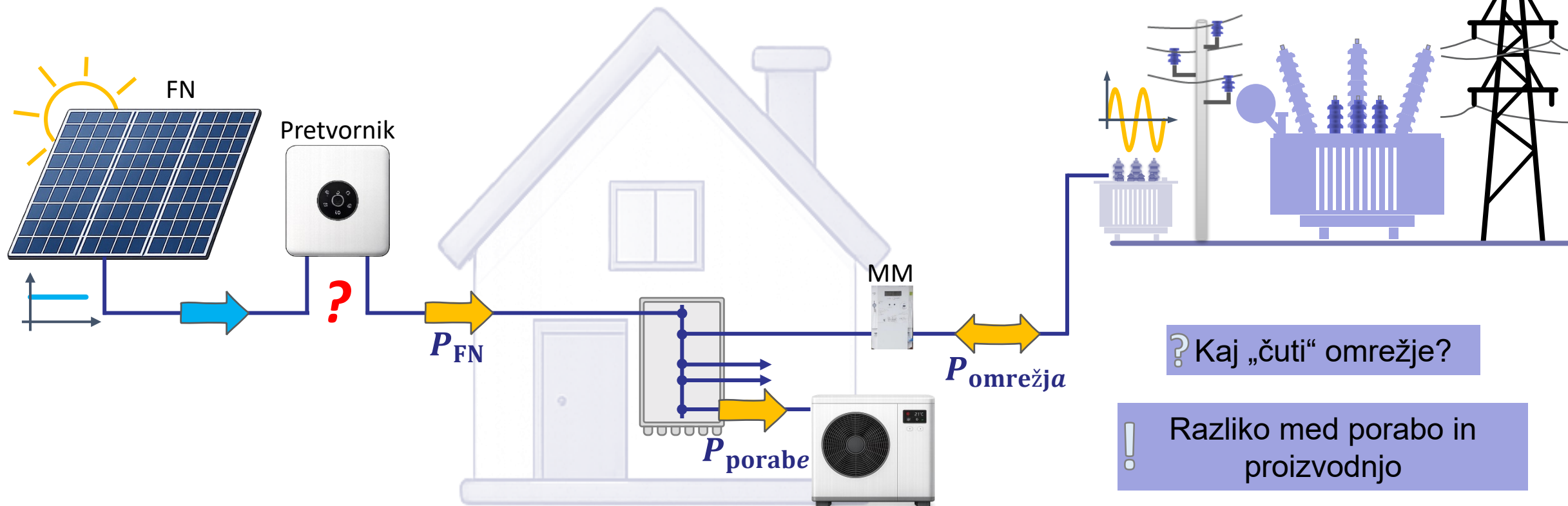
! Pretaka se
energija, ne
moč!

$$\frac{100 \text{ Ws}}{0,1 \text{ s}} = 1000 \text{ W}$$

Električna moč?
Električna energija?

Pretok el. energije v hišnem elektroenergetskem sistemu

Hišni „elektroenergetski“ sistem



Pretok el. energije!



Hitrost pretoka el. energije → moč!

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Imamo tri ključne moči:

- moč omrežja $P_{omrežja}$
- moč porabe P_{porabe}
- moč fotonapetostnega sistema P_{FN}

$$P_{omrežja} = P_{porabe} - P_{FN}$$

$$P_{omrežja} = P_{porabe} - P_{FN}$$

$$5 \text{ kW} = 5 \text{ kW} - 0 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 5 \text{ kW} - 4 \text{ kW}$$

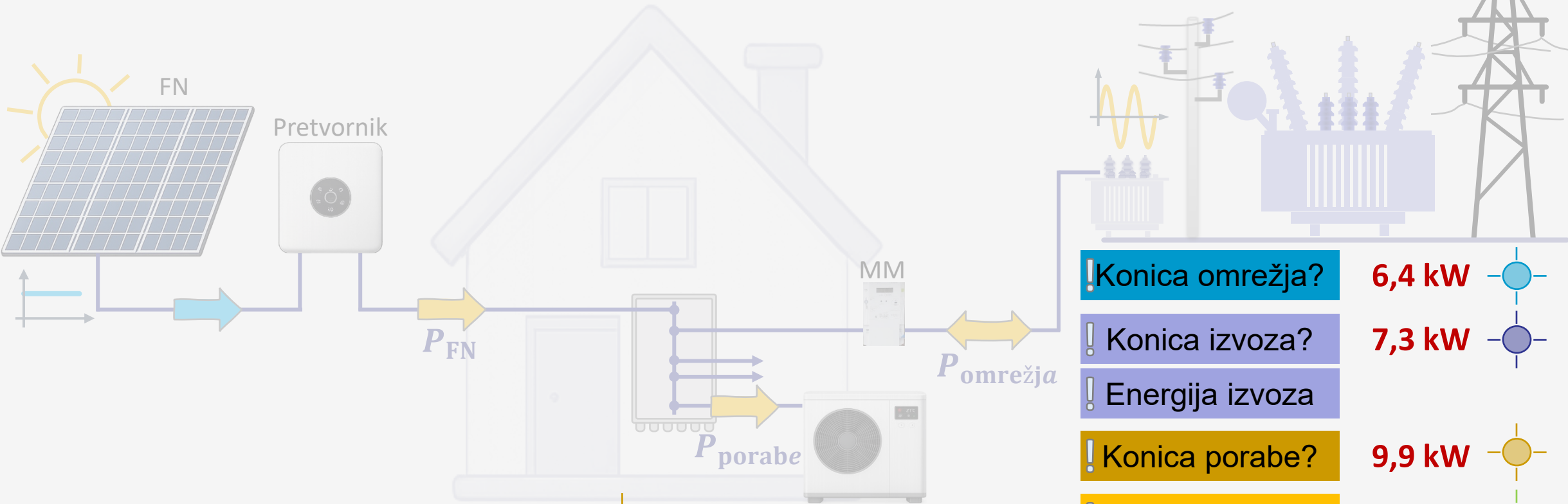
$$-5 \text{ kW} = 5 \text{ kW} - 10 \text{ kW}$$

FN - Fotonapetostni sistem

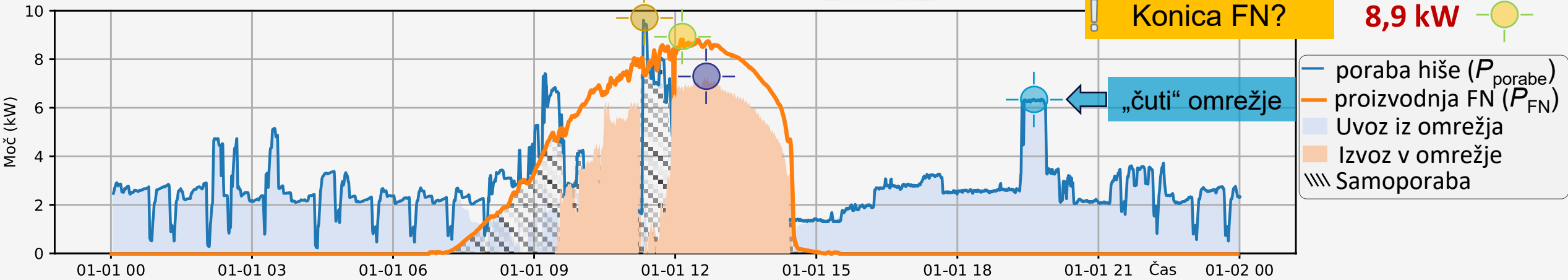
MM – Merilno mesto

Pretok el. energije v hišnem elektroenergetskem sistemu

Realne meritve iz hišnega elektroenergetskega sistema



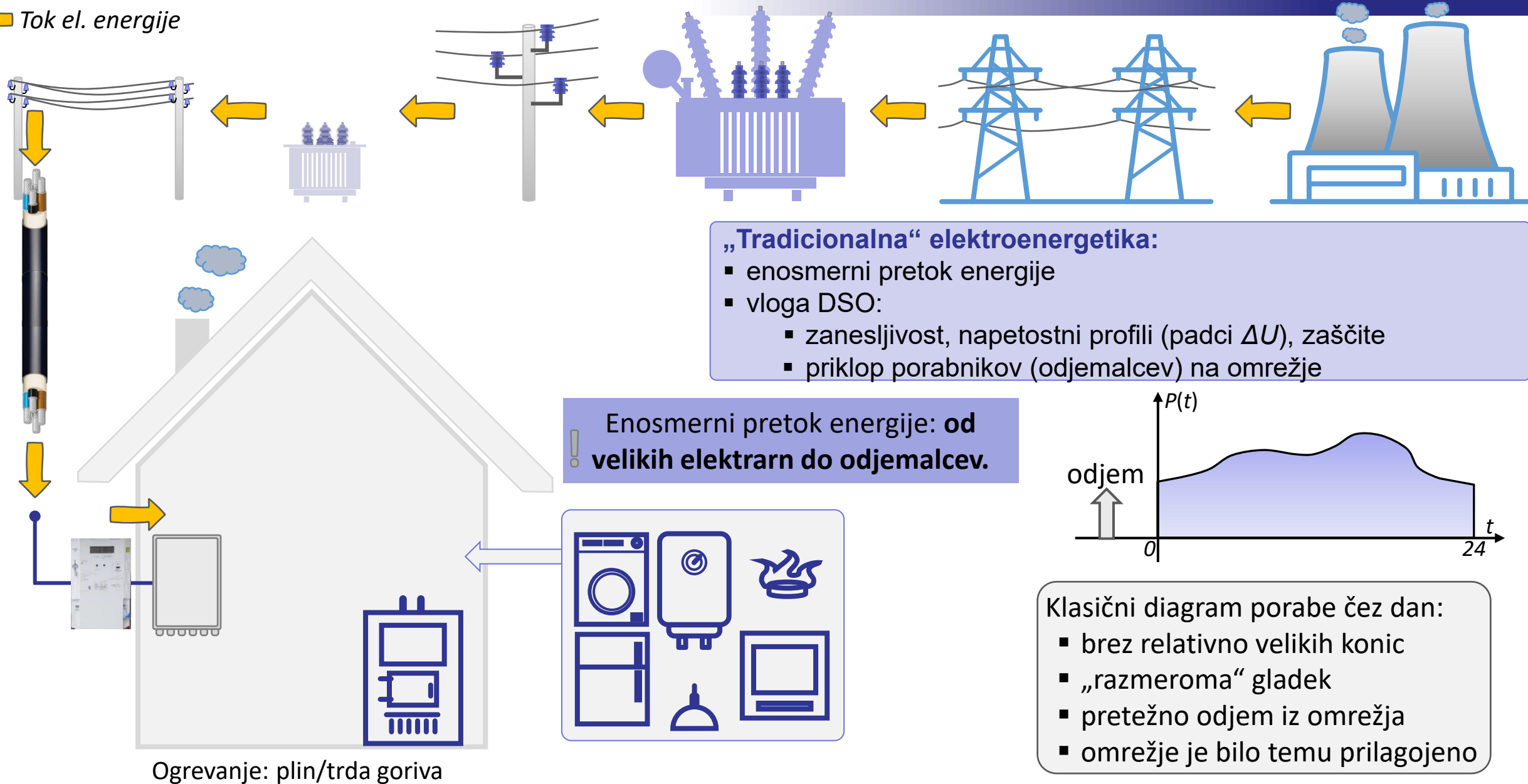
! Konica omrežja?	6,4 kW	
! Konica izvoza?	7,3 kW	
! Energija izvoza		
! Konica porabe?	9,9 kW	
! Konica FN?	8,9 kW	



Elektroenergetski sistem

Borzen

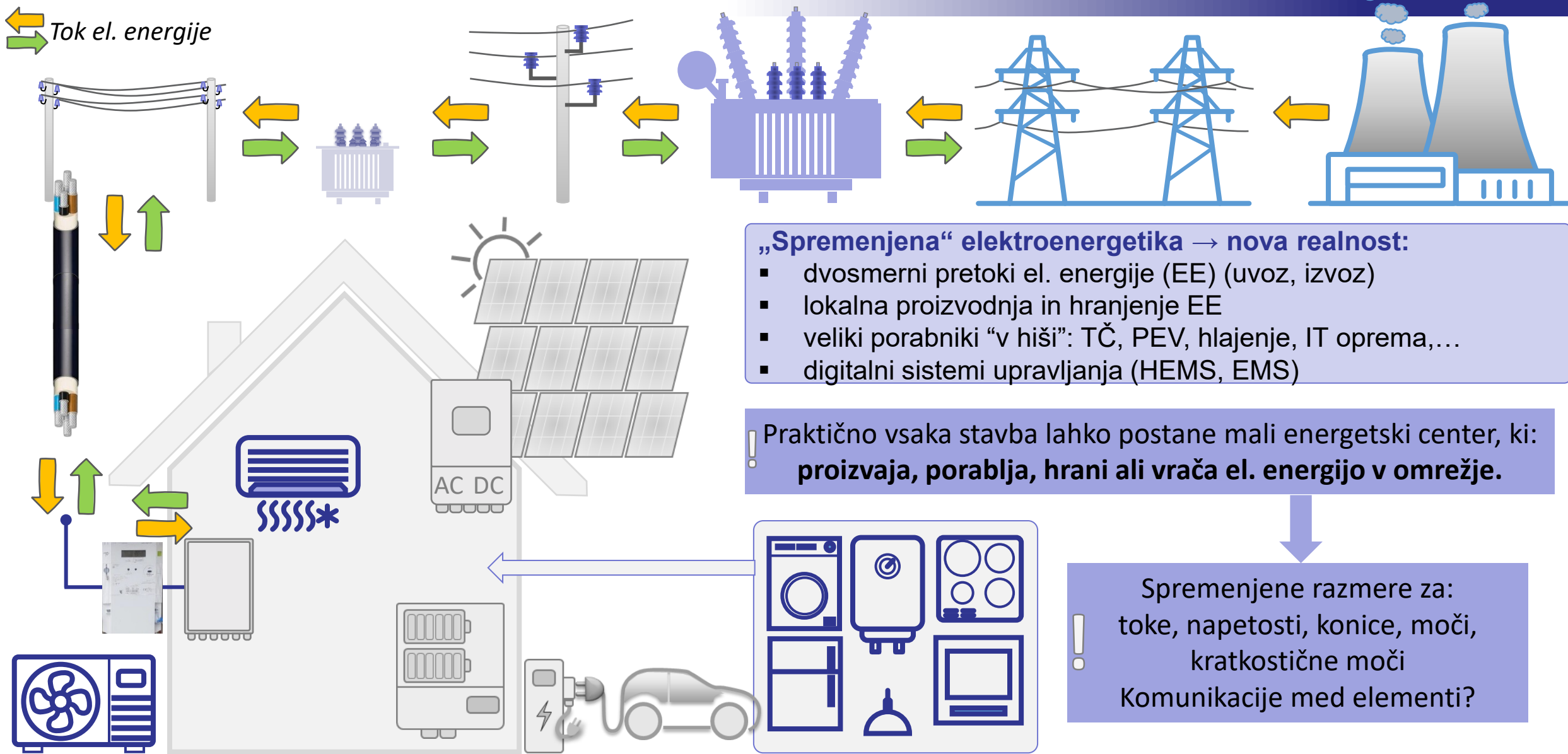
← Tok el. energije



Sodobni elektroenergetski sistem

Borzen

Tok el. energije



„Spremenjena“ elektroenergetika → nova realnost:

- dvosmerni pretoki el. energije (EE) (uvoz, izvoz)
- lokalna proizvodnja in hranjenje EE
- veliki porabniki “v hiši”: TČ, PEV, hlajenje, IT oprema,...
- digitalni sistemi upravljanja (HEMS, EMS)

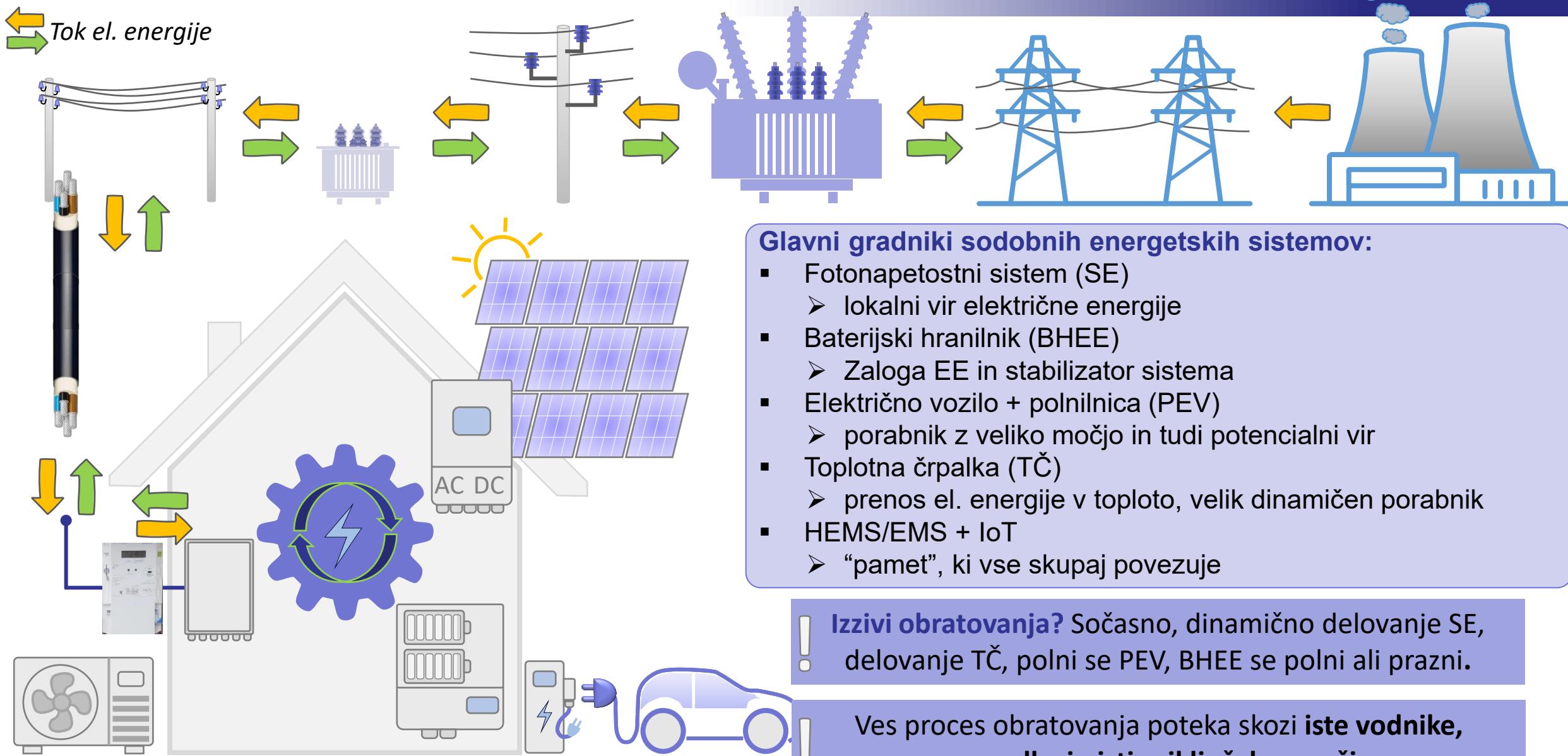
! Praktično vsaka stavba lahko postane mali energetski center, ki: **proizvaja, porablja, hrani ali vrača el. energijo v omrežje.**

! Spremenjene razmere za: toke, napetosti, konice, moči, kratkostične moči
Komunikacije med elementi?

Sodobni elektroenergetski sistem-gradniki

Borzen

Tok el. energije

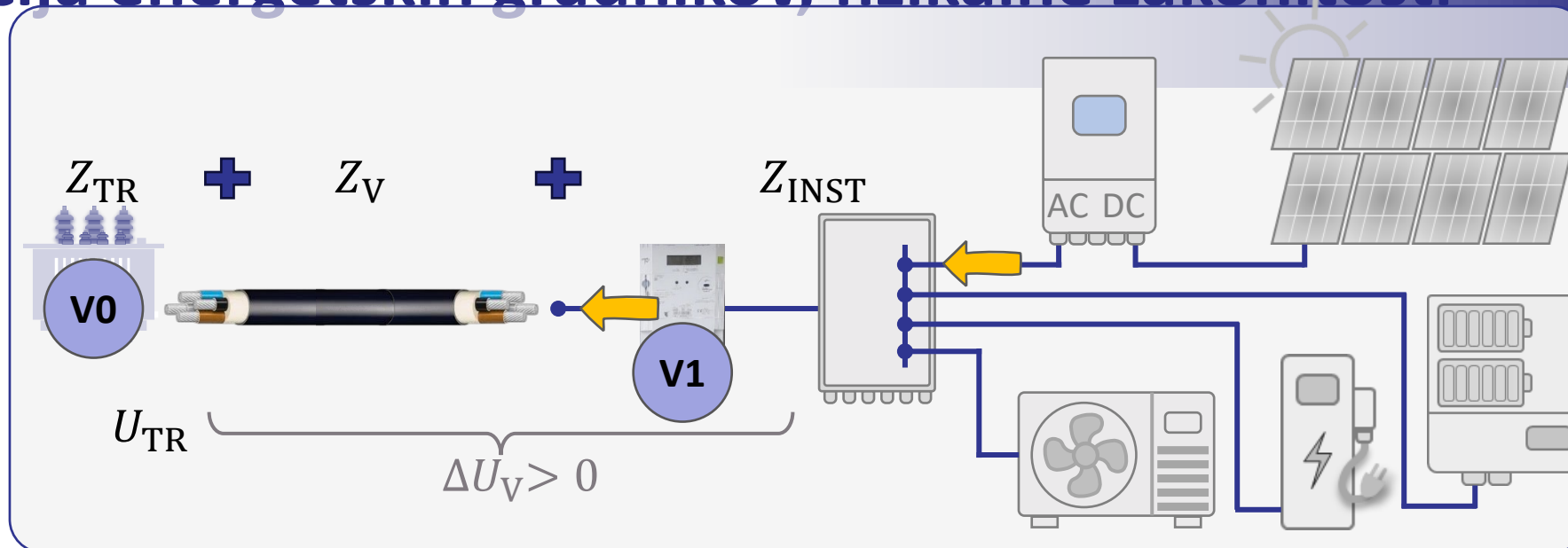


Glavni gradniki sodobnih energetskih sistemov:

- Fotonapetostni sistem (SE)
 - lokalni vir električne energije
- Baterijski hranilnik (BHEE)
 - Zaloga EE in stabilizator sistema
- Električno vozilo + polnilnica (PEV)
 - porabnik z veliko močjo in tudi potencialni vir
- Toplotna črpalka (TČ)
 - prenos el. energije v toploto, velik dinamičen porabnik
- HEMS/EMS + IoT
 - “pamet”, ki vse skupaj povezuje

! **Izzivi obratovanja?** Sočasno, dinamično delovanje SE, delovanje TČ, polni se PEV, BHEE se polni ali prazni.

! Ves proces obratovanja poteka skozi iste vodnike, varovalke in isti priključek omrežja.



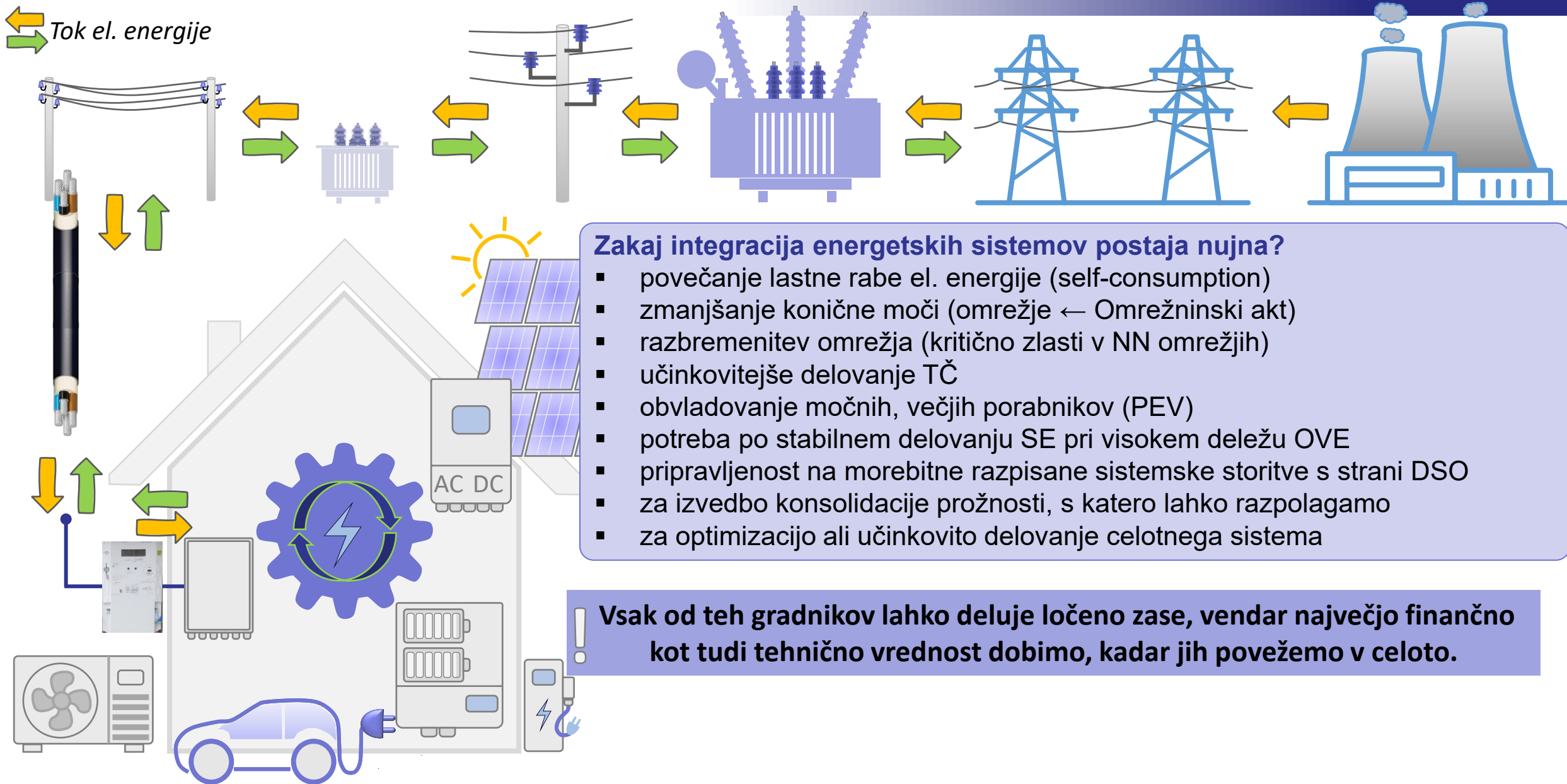
! **$V0$** napetost, ki jo določa distribucijski sistem ← vplivamo zelo omejeno!

! **$V1$** je „naša“ priključna točka ← previsoka napetost → RV?

Integracija energetske gradnikov

Borzen

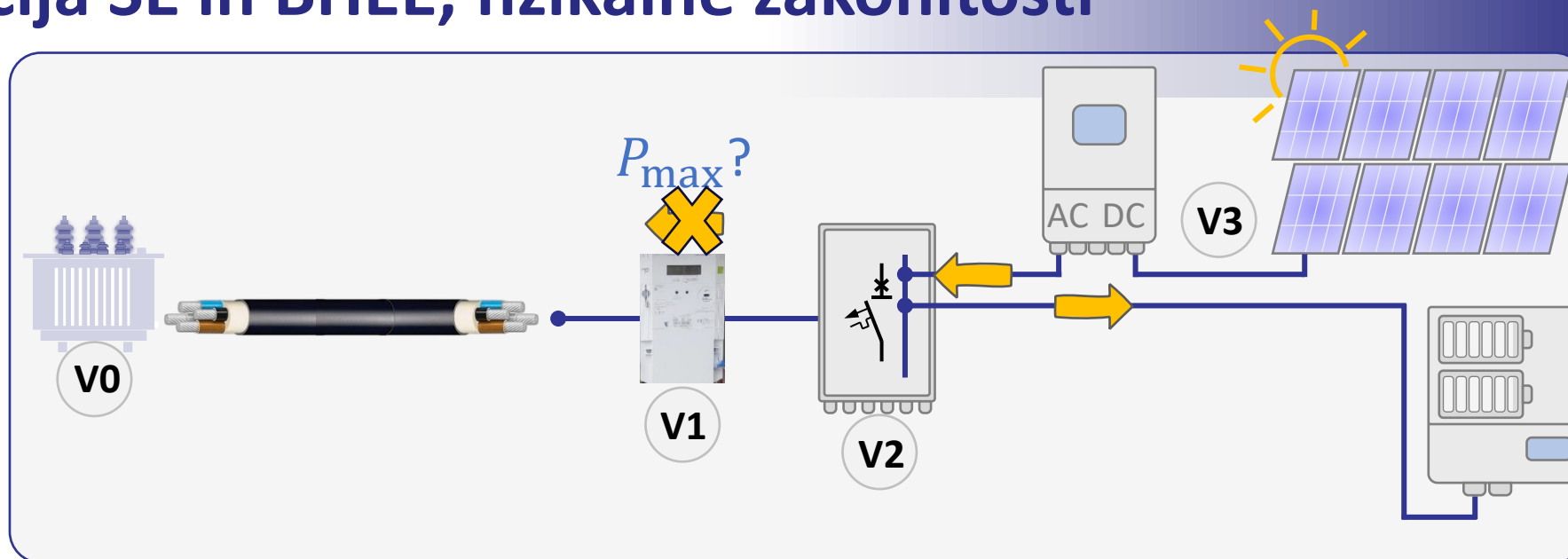
Tok el. energije



Zakaj integracija energetskih sistemov postaja nujna?

- povečanje lastne rabe el. energije (self-consumption)
- zmanjšanje konične moči (omrežje ← Omrežninski akt)
- razbremenitev omrežja (kritično zlasti v NN omrežjih)
- učinkovitejše delovanje TČ
- obvladovanje močnih, večjih porabnikov (PEV)
- potreba po stabilnem delovanju SE pri visokem deležu OVE
- pripravljenost na morebitne razpisane sistemske storitve s strani DSO
- za izvedbo konsolidacije prožnosti, s katero lahko razpolagamo
- za optimizacijo ali učinkovito delovanje celotnega sistema

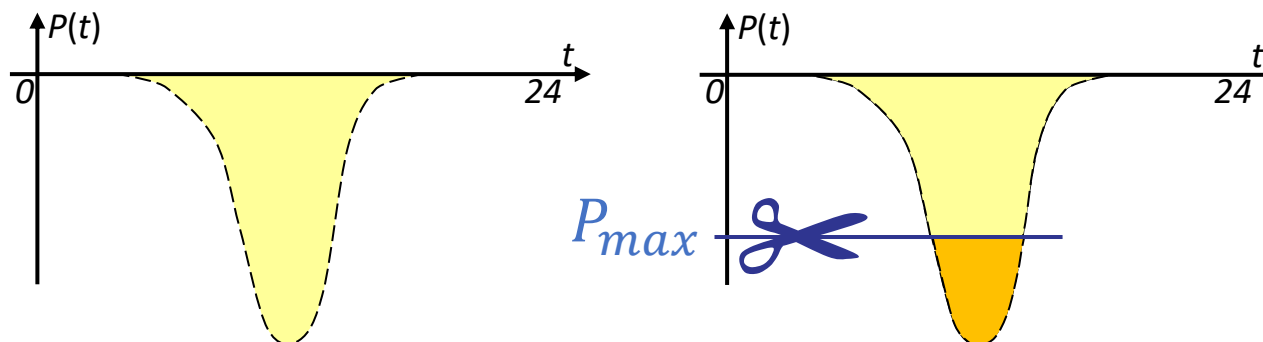
! Vsak od teh gradnikov lahko deluje ločeno zase, vendar največjo finančno kot tudi tehnično vrednost dobimo, kadar jih povežemo v celoto.



Integracija SE in BHEE:

- BHEE → izravnava konice (P_{max})
- BHEE absorbira presežke SE
- **zmanjšanje dviga napetosti** (V1, V2)
- preprečevanje izklopa pretvornika ($U >$)
- večja samoporaba (manjše izgube)
- **stabilnost** glavnega priključka (V1, V2)

Ko SE oddajo „prekomerno“ poveča ali
! ko omrežje ne omogoča oddaje,
o postane baterija **stabilizator** sistema.
To je osnovna integracijska logika!

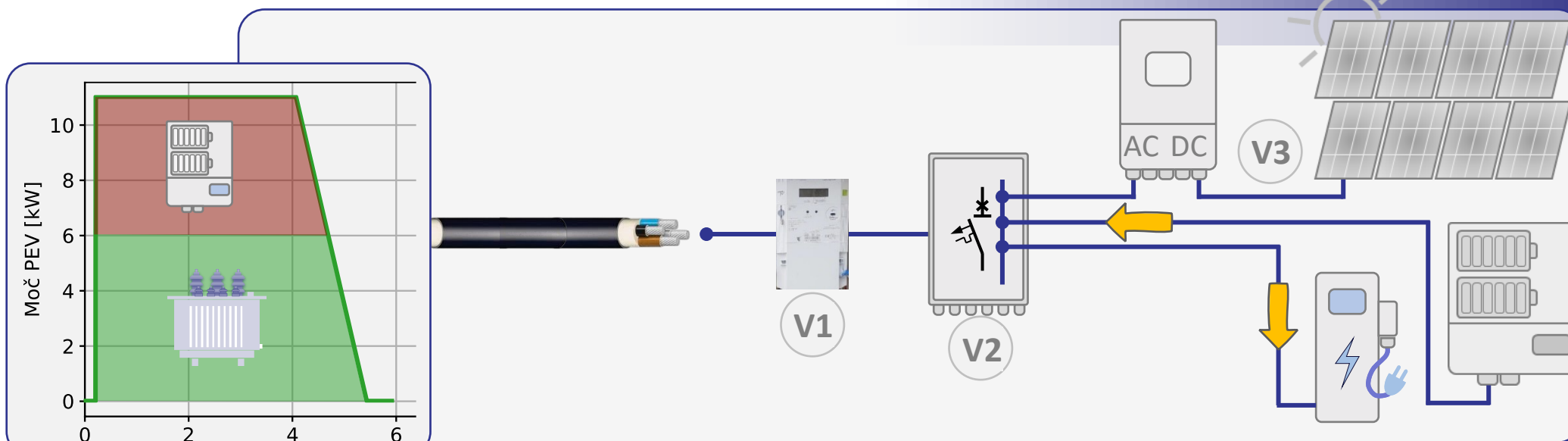


Rezanje konice?

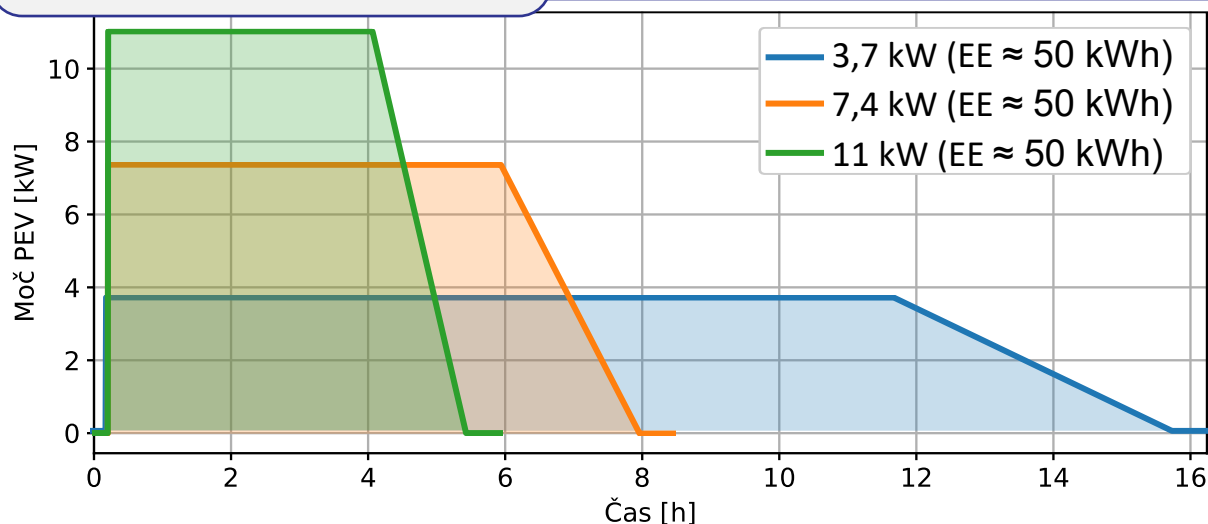
- Lokalna poraba, če obstaja?
- Viški ostanejo neizkoriščeni
- **BHEE shrani viške**



Integracija PEV, relativno velik izziv sodobnih hiš



Moči EV:
med 50 in 300 kW,
umirjena vožnja
20-30 kW
Poraba el. energije:
10-25 kWh/100km



PEV kot tipičen porabnik konstantne moči:

- hitra vključitev polnjenja (znaten skok moči)
- faza konstantne moči (najbolj kritična za omrežje, GFM - Grid Forming in EPS - Emergency Power Supply),
- zmanjševanje moči proti koncu polnjenja

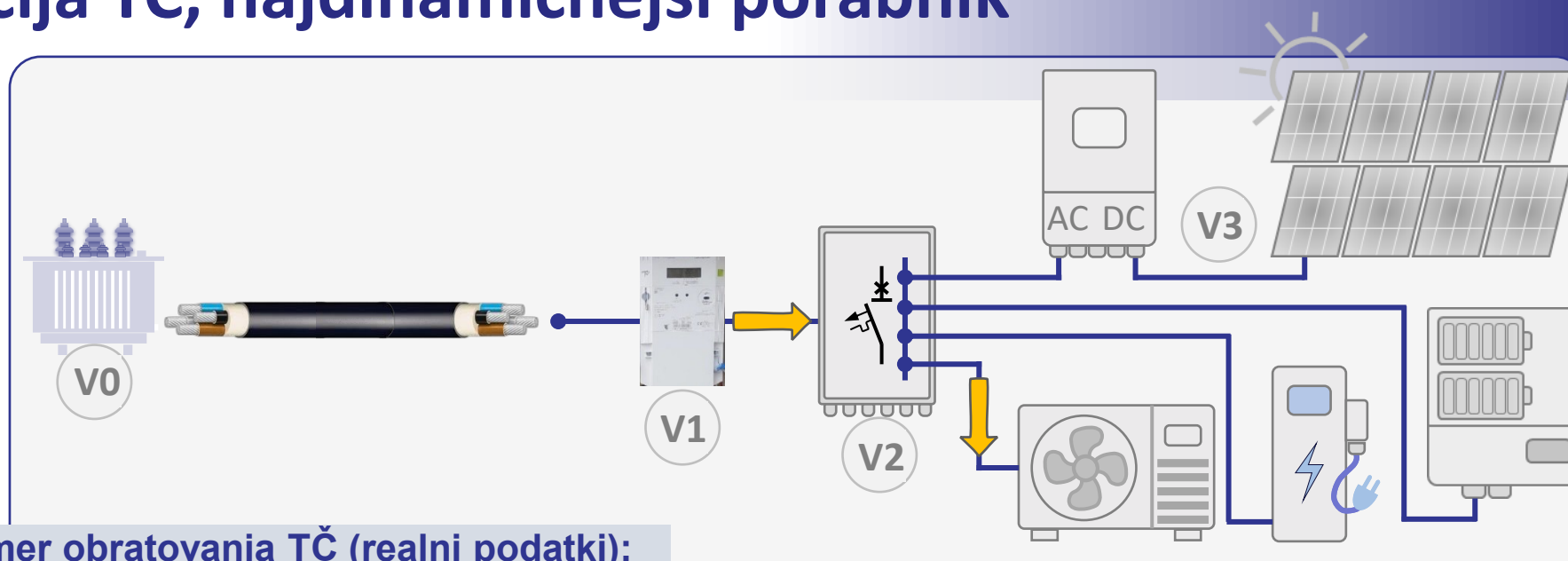
PEV – največji porabnik v gospodinjstvu:

- 1F → 3 do 8 kW; 3F → 11 do 22 kW
- potreba po upravljanju → Load balancing
- obvladovanje moči PEV z BHEE?

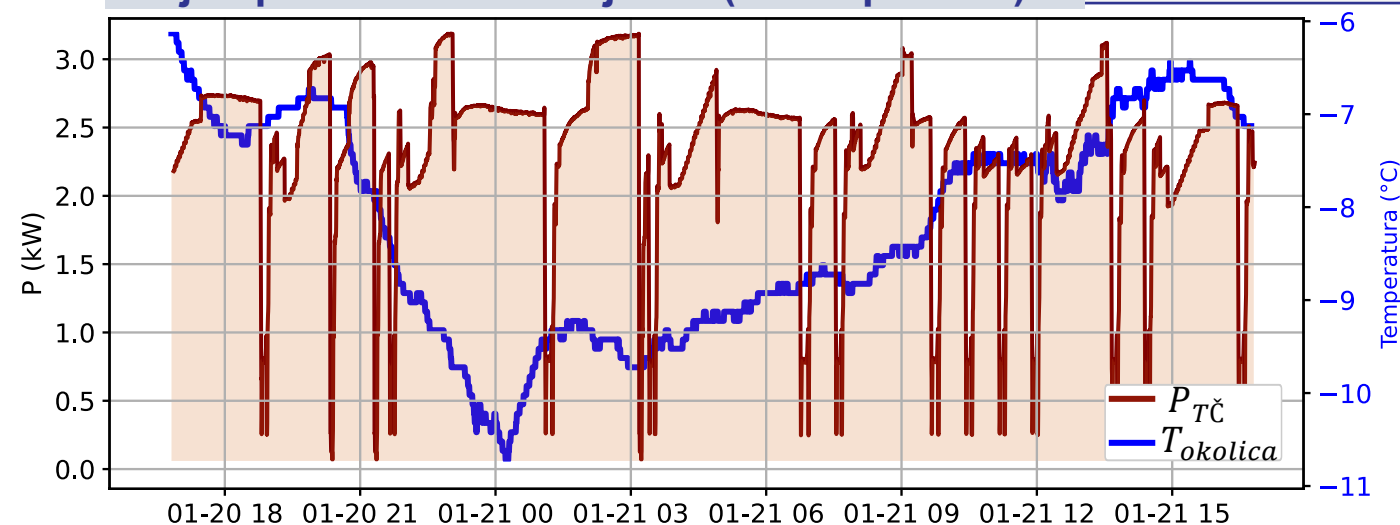
! Krajši čas polnjenja → večja potrebna moč (hitre polnil.).
! Izbira → Zagotoviti zahtevano moč ali polnjenje omejiti.

! PEV prilagaja čas, ne energije.
! Brez komunikacije PEV ne more biti integrirana.

Integracija TČ, najdinamičnejši porabnik



Merjen primer obratovanja TČ (realni podatki):



Dinamika TČ:

- zagonski tok (TČ z direktnim zagonom) → 2 do 4 kratnik nazivne moči (kot ASM)
- inverterski tip TČ → ni izrazitih zagonskih tokov
- ciklično delovanje → več sprememb v moči
- vpliv zunanje temperature → COP
- integracija z BHEE omogoča glajenje zagonskih konic
- integracija s SE omogoča predgretje/hlajenje v urah, ko je cena EE ugodna

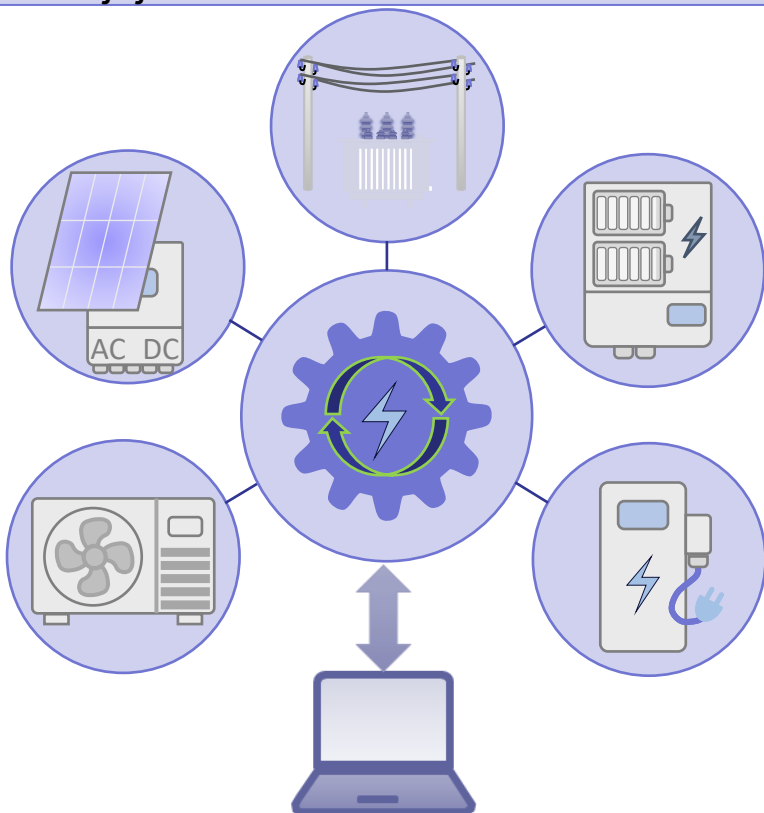
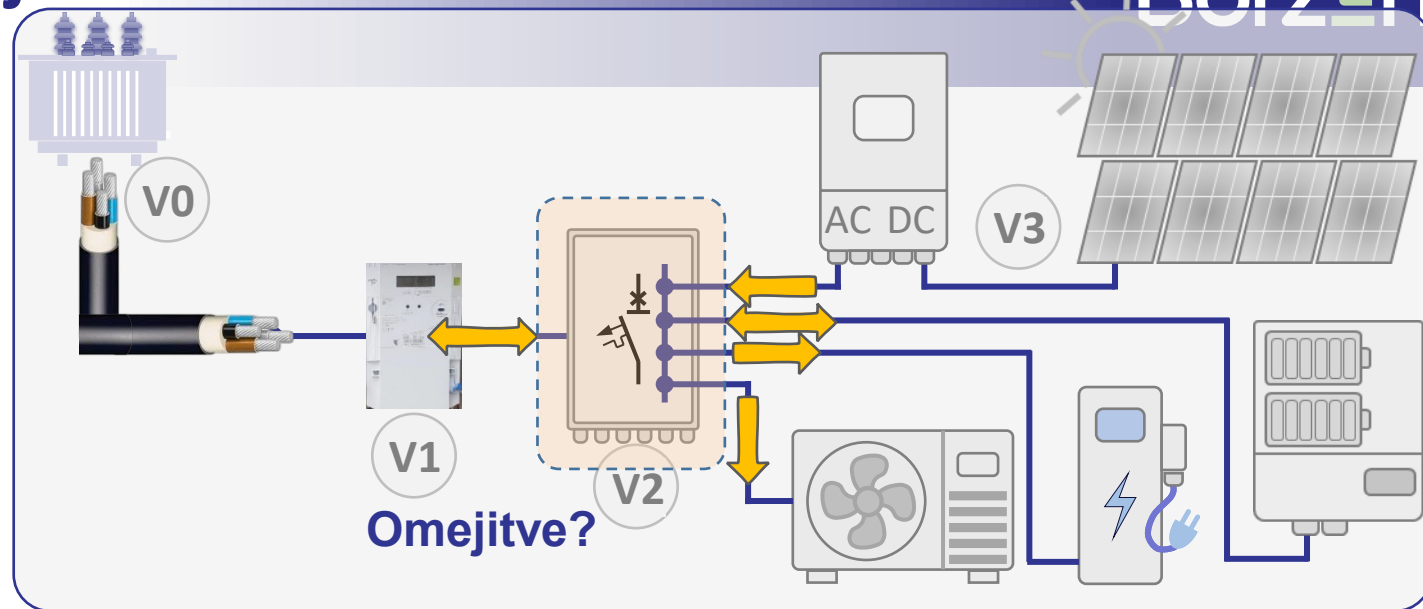
! Kratke, pogoste spremembe moči, zato je integracija z BH in SE ključna → ne zaradi energije, ampak predvsem zaradi dinamike.

! Električno gledano je TČ impulzni porabnik, energetsko pa **dolgoročno velik odjemalec**.

Sistemski pogled na integracijo

Naprave imajo svojo logiko, svoj regulator in svoje cilje („vsak po svoje“):

- SE → proizvaja, ko ima sonce
- TČ → deluje, ko rabimo toploto/ohladitev
- EV → polni, ko je priključen
- Baterija → polni/prazni glede na stanje
- Omrežje → **zahteva spoštovanje meja**
- **HEMS** → naprave ne vedo druga za drugo, torej potrebujemo nadrejeni sistem, ki jih usklajuje!



Omrežje ne ve, kaj je TČ ali EV, ampak vidi samo tok in napetost.

HEMS ne proizvaja energije in je ne porablja, njegova naloga je **koordinacija** in vizualizacija.

Sodobna hiša in integracija naprav:

- mini elektroenergetski sistem priključen na isto nizkonapetostno omrežje
- hkrati se dogajajo dvosmerni pretoki EE
- **vsi toki se prelivajo v isti točki**

Problem → vse te naprave delujejo hkrati in vse **vplivajo na isto točko.**

Vsi toki se prelivajo v isti točki in **točka je omejena.**

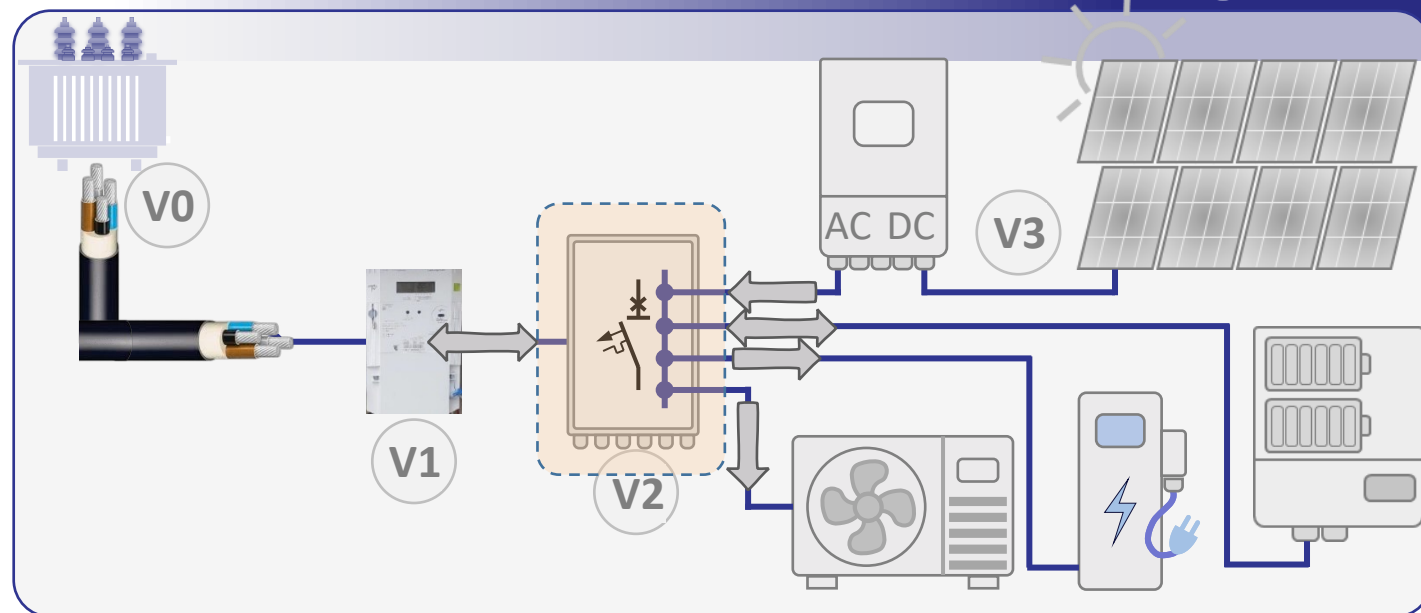
Dobre integracije naprav in problemi napačnih integracij

Tipične prednosti dobre integracije in kaj podjetje ali lastnik doseže?

- stabilne napetosti in toki
- manj izpadov
- nižja konična moč → nižji omrežninski stroški
- večja samoporaba
- optimalno delovanje TČ
- polnjenje PEV brez preobremenitev
- daljša življenjska doba baterije in SE
- manj reklamacij
- večja zanesljivost opreme

Brez pravilne integracije nastanejo težave:

- izklapljanje pretvornika ob visokih napetostih
- preobremenitve faznih vodnikov
- preobremenitev glavnih varovalk pri polnjenju PEV
- TČ deluje v neoptimalnih režimih
- izgube, preobremenitve zaradi napačne komunikacije ali manjkajočega HEMS
- napake v SOC/SOH, če BMS ni pravilno povezan, konfiguriran



! V praksi ni osamljen primer, ko je zaradi napačno nastavljenega PEV polnjenja glavna varovalka 3×20A izpadla že ob 16:30, ko so se vključile še kuhinjske naprave in TČ.



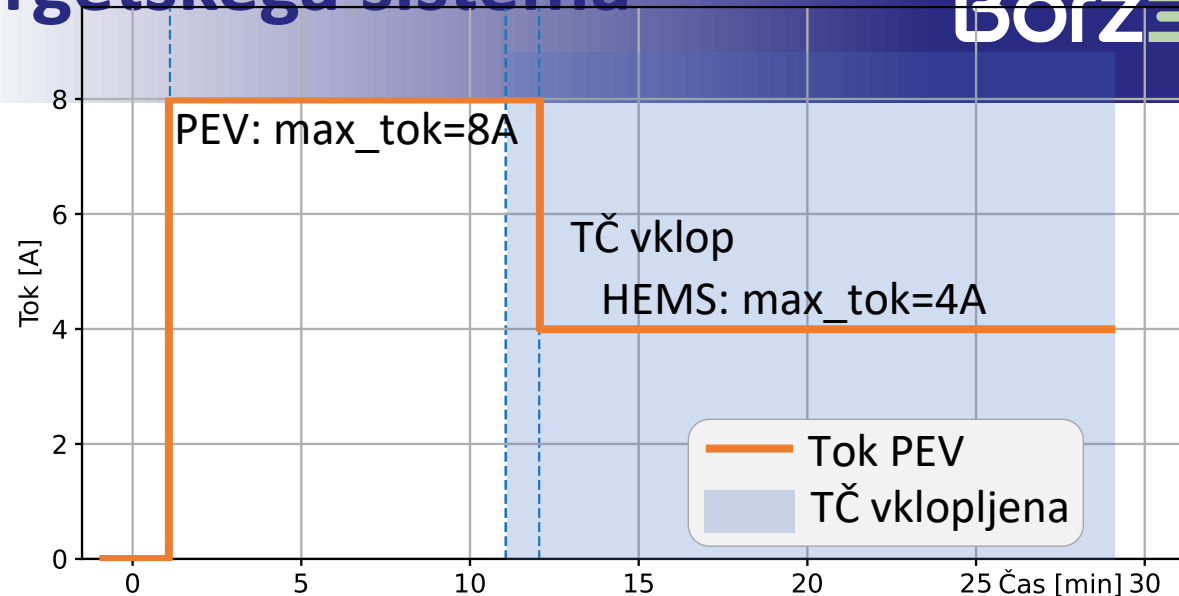
integracija = fizika + krmiljenje + komunikacija
Vsi toki se srečajo v razdelilcu (V2).
SE, BHEE, PEV, TČ delujejo kot enoten sistem.
HEMS povezuje vse gradnike.



Integracija je temeljno orodje za doseganje usklajenega delovanja sodobnih naprav in reševanje energetskih izzivov.

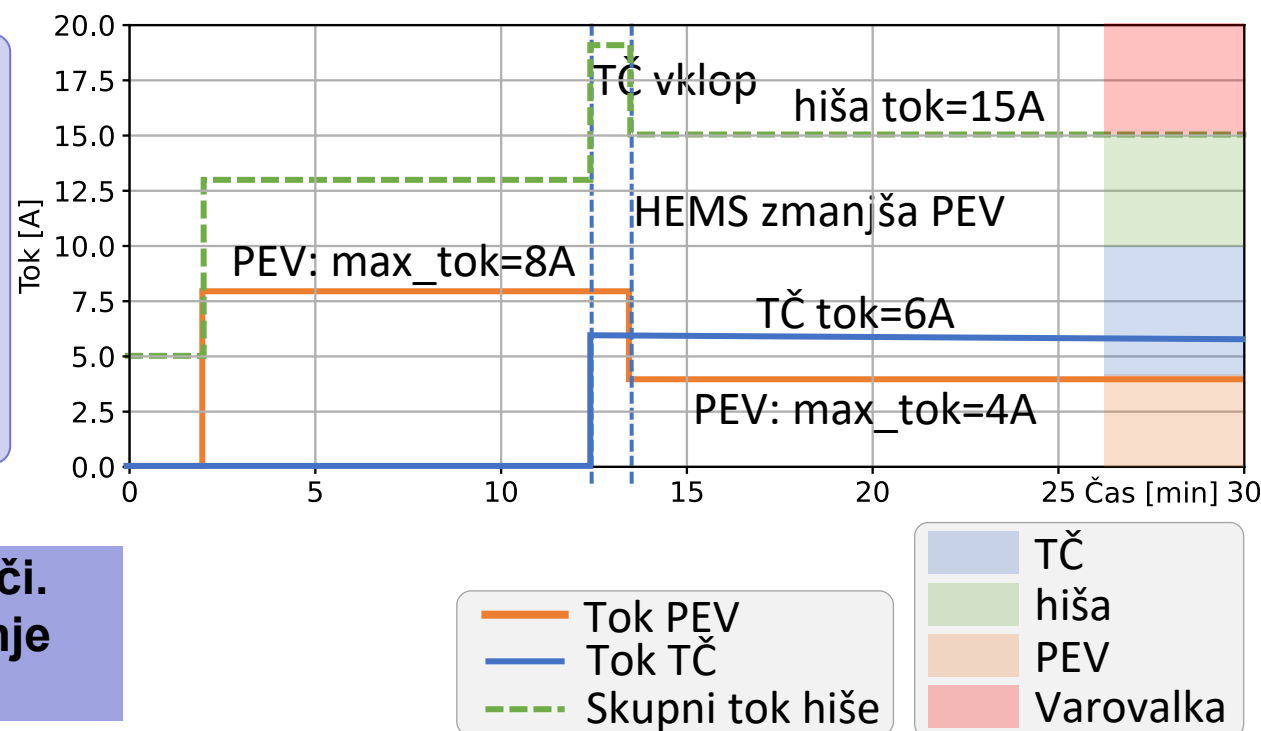
HEMS dinamično krmiljenje polnilnice EV

- Merilnik meri tok posamezne faze
- HEMS izračuna dejanski razpoložljiv tok
- HEMS preko komunikacije pošlje polnilnici $\text{max_tok} = 8 \text{ A}$
- polnilnica takoj prilagodi polnjenje
- TČ se vklopi → HEMS zniža PEV na 4 A



Kako HEMS deluje v praksi?

- Samodejna razporeditev razpoložljive moči med različne porabnike
- Prednostna logika za kritične porabnike (TČ)
- Centraliziran pregled obremenitev objekta
- Preventivno preprečevanje izpadov varovalk
- **Maksimalen izkoristek obstoječega priključka**



HEMS ne reagira na izpad ampak izpad prepreči.
Napredne funkcije HEMS → pametno upravljanje obremenitev namesto večje varovalke.

Kaj želi večina uporabnikov doseči z upravljanjem energije?

- povečanje samooskrbe (SC > 80 %)
- zmanjšanje konične moči (peak shaving)
- izogibanje preobremenitvi faz
- zmanjšanje računov za elektriko
- izogibanje izklopom SE zaradi prenapetosti
- preprečitev izpadov varovalk pri PEV
- optimizacija delovanja TČ (time shifting)
- uporaba baterije kot optimizacijskega orodja
- spoštovanje zero feed-in (omrežje ne dovoljuje uvoza)

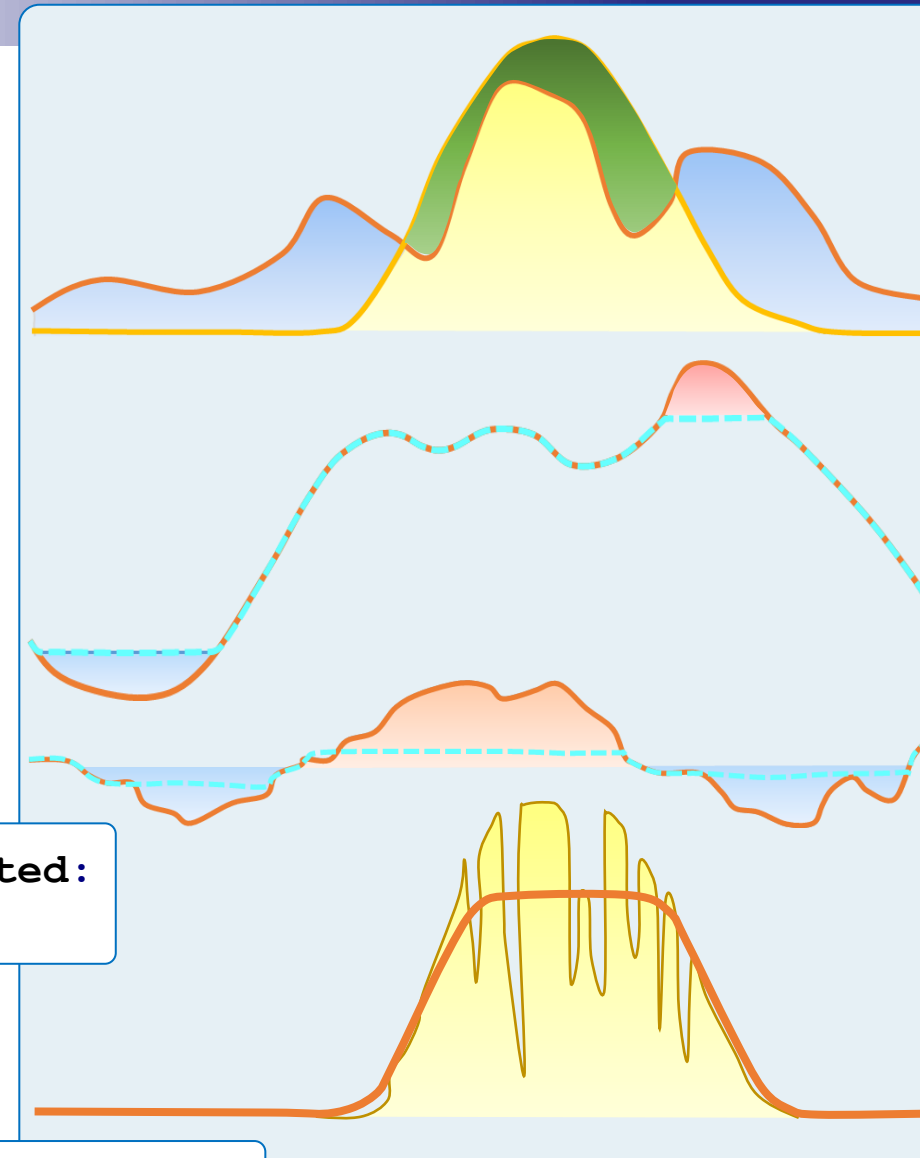
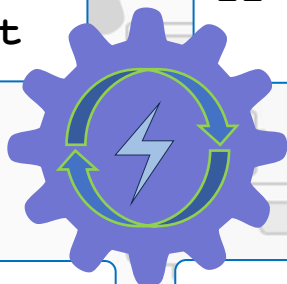
! Upravljanje energije ni samo udobje, je osnova za stabilnost obratovanja in tudi ekonomiko.

If Export > 0:
PV_reduce_export

If SOC > 80% and EV_connected:
EV.charge_low_power()

If Phase_L1_current > 18 A:
EV.reduce_current()

If PV_power > 2000 W:
Battery.charge(PV_power - 2000 W)



Napredne funkcije sodobnega energetskega sistema – VARNOST

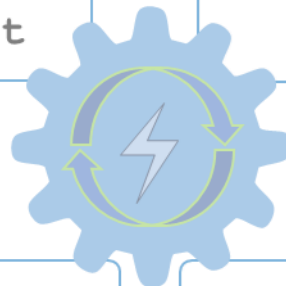
Zakaj moramo razmišljati o varnosti?

- ker HEMS upravlja močnostne naprave
- ker napačen podatek (SOC, tok, napetost) vodi v napačne ukaze
- ker naprave danes komunicirajo preko interneta
- ker TČ, PV, PEV polnilnice pogosto uporabljajo cloud API-je
- ker proizvajalci puščajo nastavljena default gesla (!!!)
- ker se odpirajo porti v usmerjevalnikih, ...

! Ko digitalni del ne deluje pravilno, se lahko poruši stabilnost fizikalnega sistema.
To je bistvo energetskih tveganj s strani kibernetске varnosti.

```
If Export > 0:  
    PV_reduce_export
```

```
If SOC > 80% and EV_connected:  
    EV.charge_low_power()
```

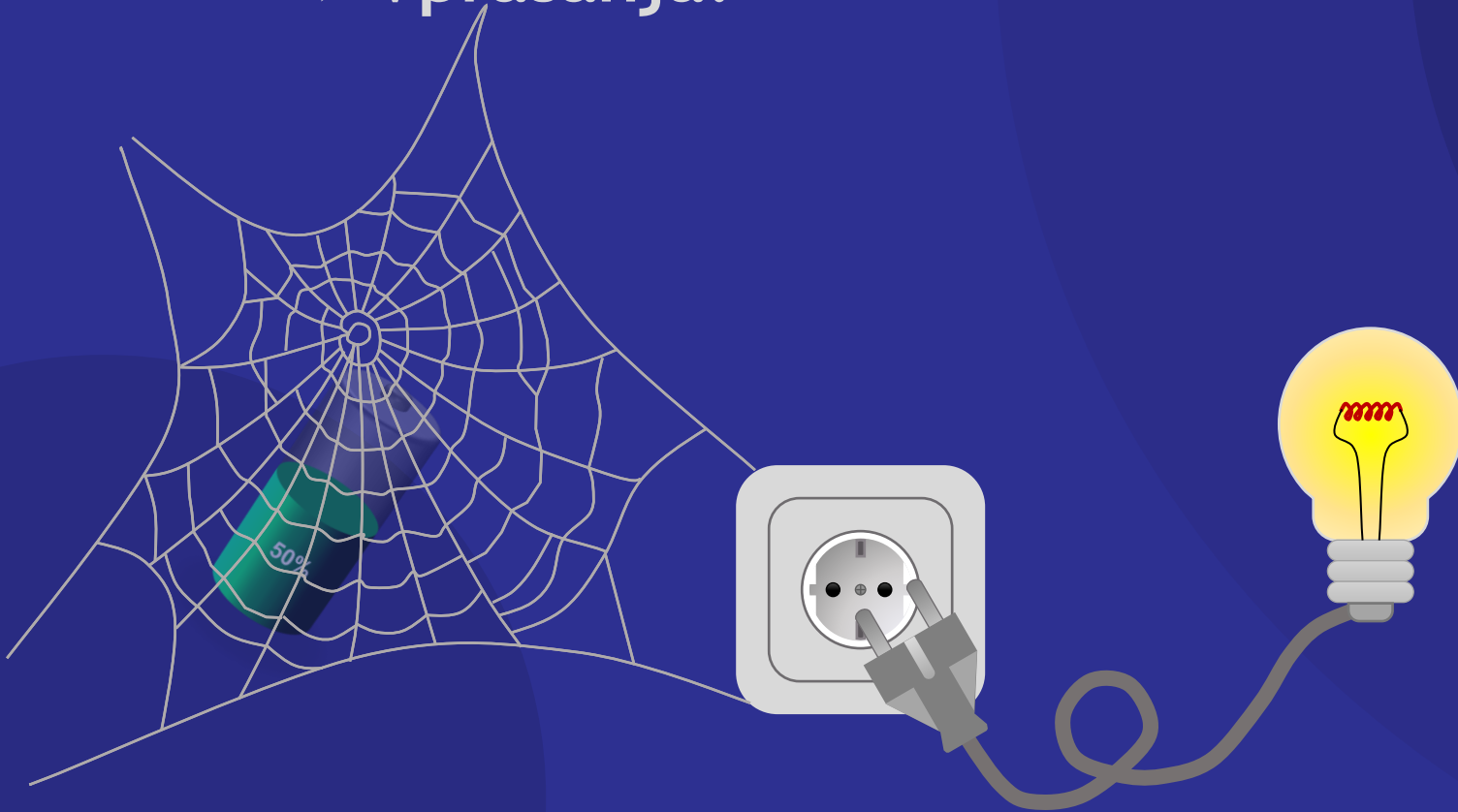


```
If Phase_L1_current > 18 A:  
    EV.reduce_current()
```

```
If PV_power > 2000 W:  
    Battery.charge(PV_power - 2000 W)
```

Hvala za pozornost!

➤ Vprašanja?



Miran Rošer
miran.roser22@gmail.com

Integracija in napredne funkcije OVE naprav