

# SEMINAR

Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

---

## Odstupanja napona kao ograničenje za priključenje distribuirane proizvodnje

Tomislav Baričević, dipl. ing. el.

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

---

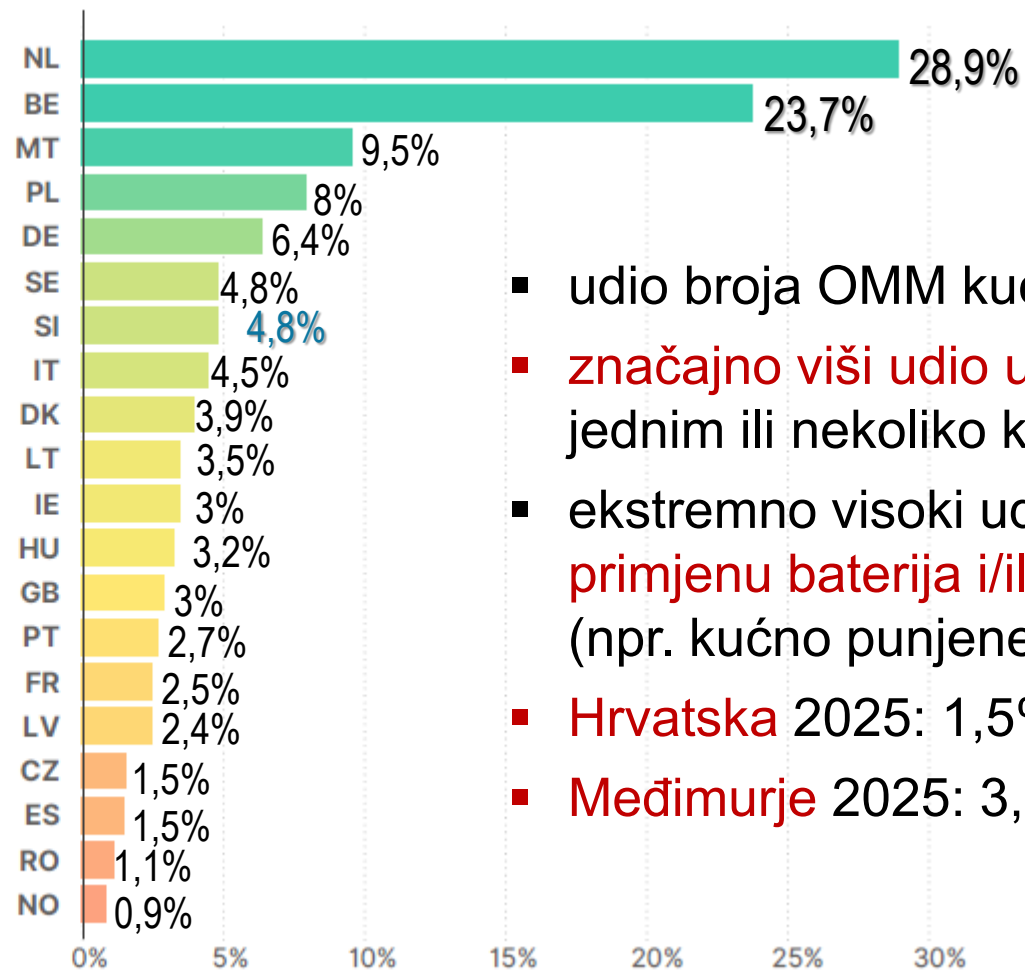
### Pitanja

---

1. Kolika je zastupljenost distribuirane proizvodnje?
  2. Kolika bi mogla (trebala) biti?
  3. Kriteriji za priključenje distribuirane proizvodnje
  4. Analiza različitih scenarija distribuirane proizvodnje
  5. Trebamo li prilagoditi pristup?
-

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Zastupljenost distribuirane proizvodnje kod kućanstava u EU



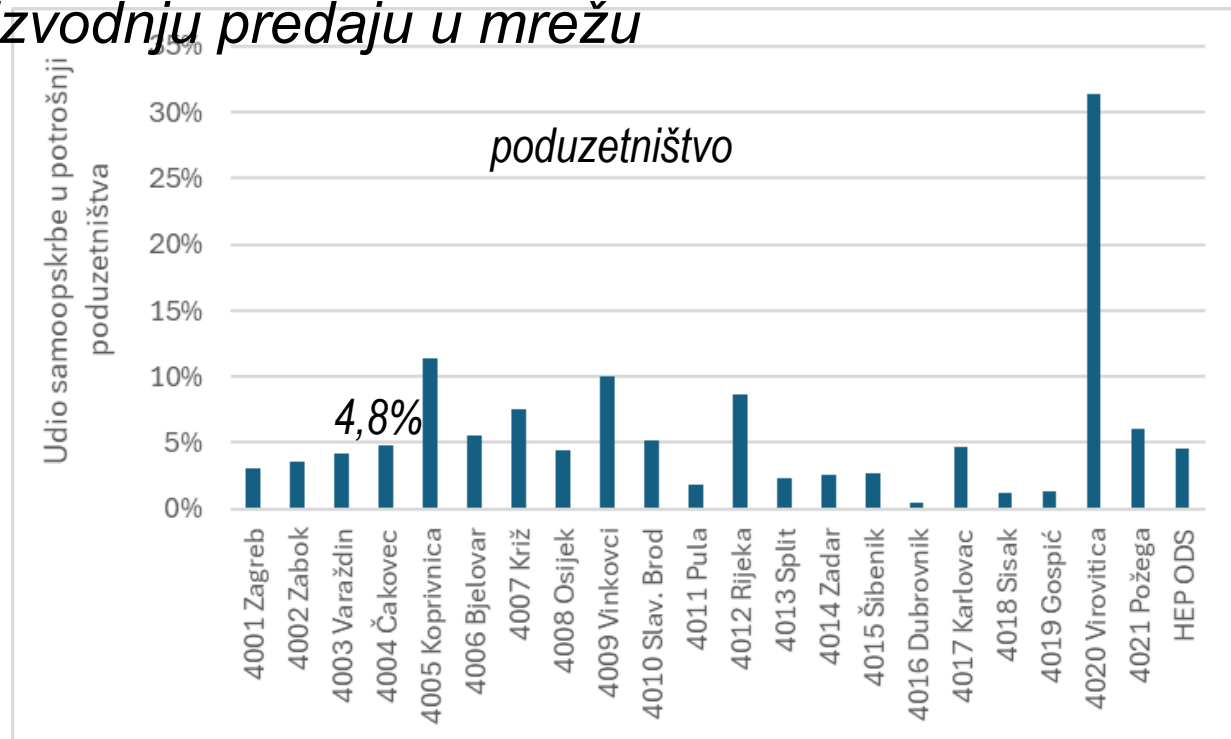
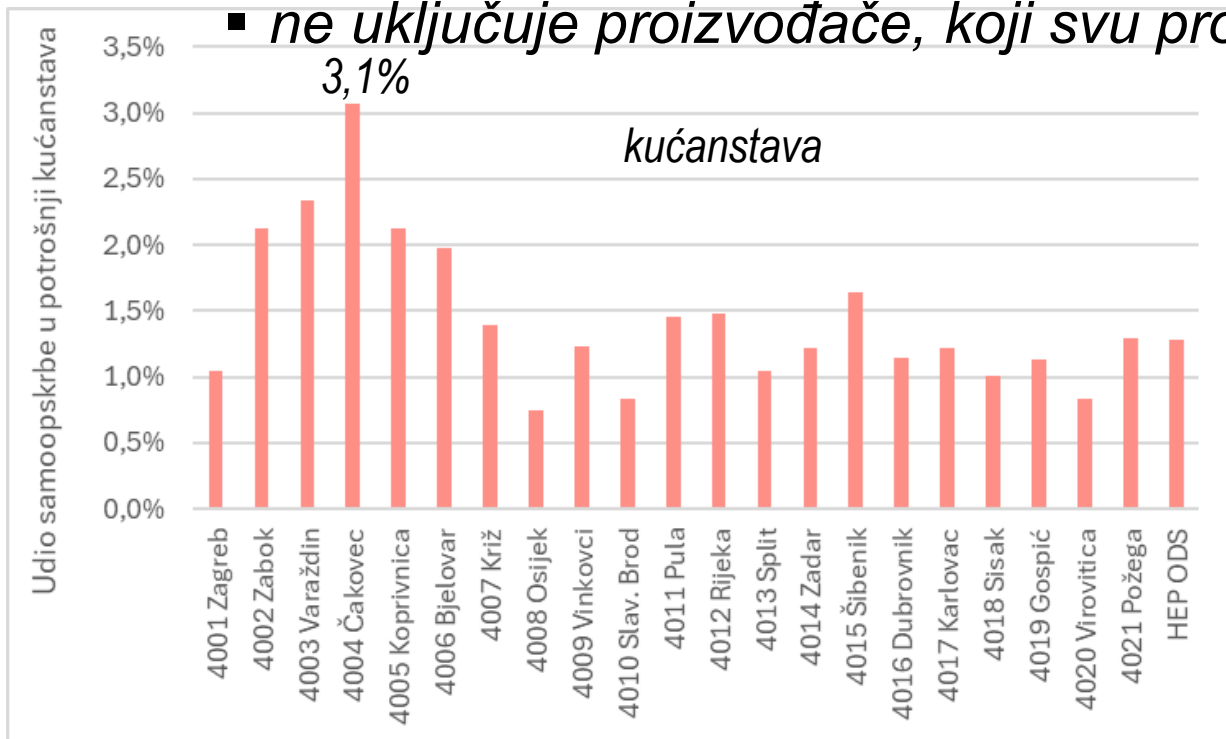
- udio broja OMM kućanstava sa SE
- **značajno viši udio u broju manjih zgrada s jednim ili nekoliko kućanstava**
- ekstremno visoki udjeli podrazumijevaju **primjenu baterija i/ili fleksibilnosti potrošnje** (npr. kućno punjene električnog vozila)
- **Hrvatska 2025: 1,5% OMM)**
- **Međimurje 2025: 3,8% OMM**

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

# Zastupljenost „demokratske” distribuirane proizvodnje u Hrvatskoj – udio samoopskrbe

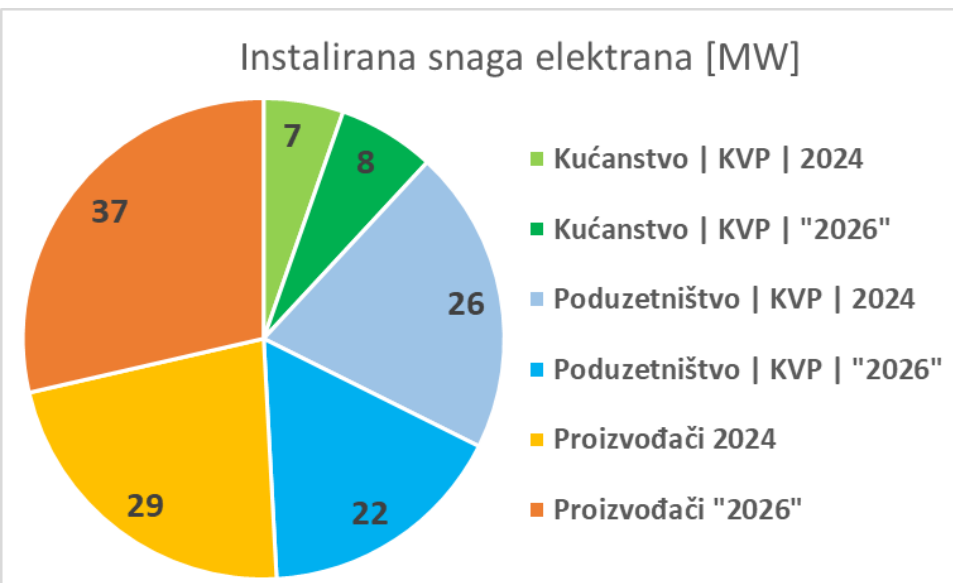
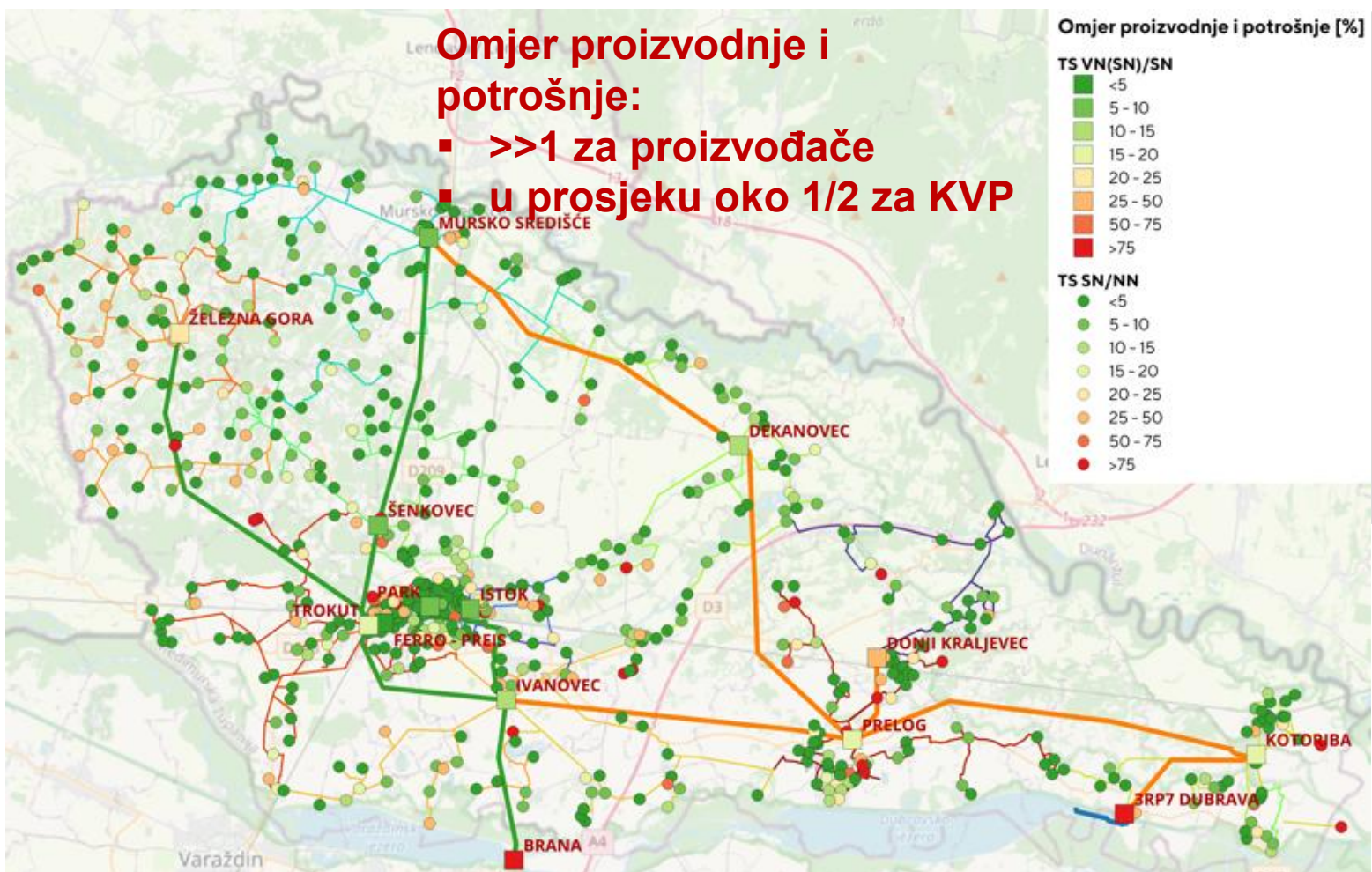


- proizvodnja (većim dijelom) za vlastitu potrošnju – kupci s vlastitom proizvodnjom (KVP)
- ne uključuje proizvođače, koji svu proizvodnju predaju u mrežu



## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Zastupljenost distribuirane proizvodnje u Međimurju

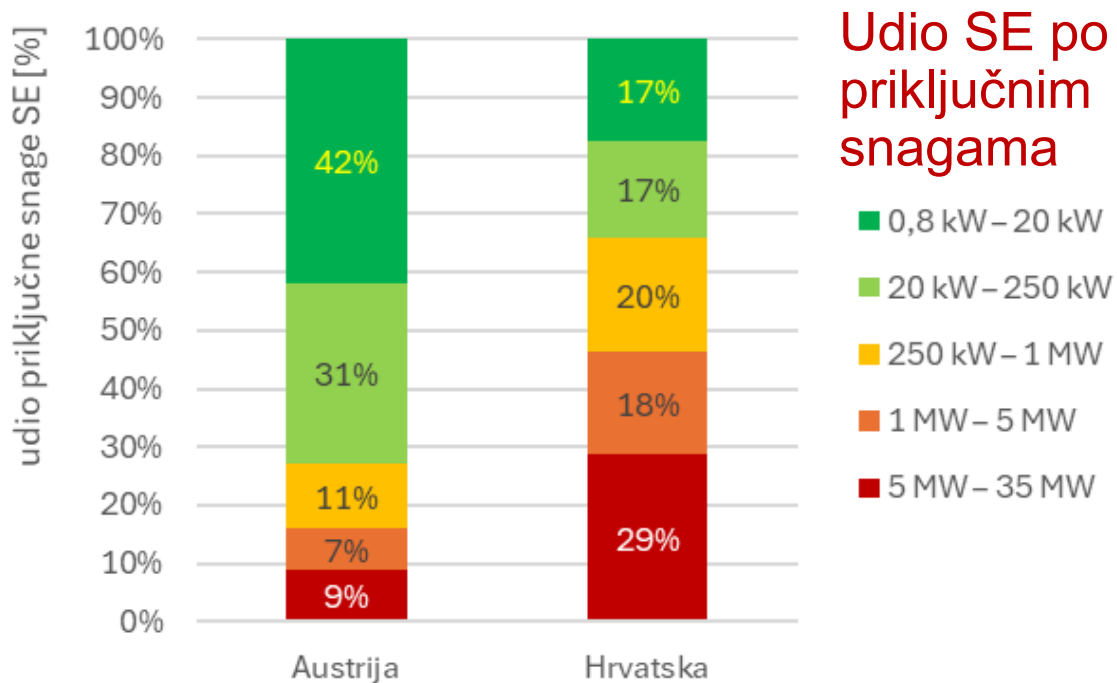


- Ukupno 129 MW
- 65 MW (51%) proizvođači
- kućanstva samo 15 MW (12%)
- na NN 35 MW (27%)

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

Podaci za  
2025. god.

### Je li **Austrija** primjer dobre prakse?



Veličina elektrane	Instalirana snaga [MW]		Udio [%]	
	Austrija	Hrvatska	Austrija	Hrvatska
0,8 kW – 20 kW	3 864	288	42%	17%
20 kW – 250 kW	2 839	277	31%	17%
250 kW – 1 MW	976	326	11%	20%
1 MW – 5 MW	641	292	7%	18%
5 MW – 35 MW	805	477	9%	29%
Ukupno	9 125	1 660	100%	100%

Austrija ↔ Hrvatska

velike SE: samo 9% ↔ 29%

SE do 250 kW: 73% ↔ 34%

ukupno broj SE: 500 000 ↔ 42.000

- s obzirom na odnos broja stanovnika i površine, **instalirana snaga velikih SE je usporediva**
- **kućanstva sa SE** u Austriji: od 2,7% u Beču do 16,9% u Donjoj Austriji ↔ u Hrvatskoj: do 3,8% u Međimurju

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Je li **Slovenija** primjer dobre prakse?

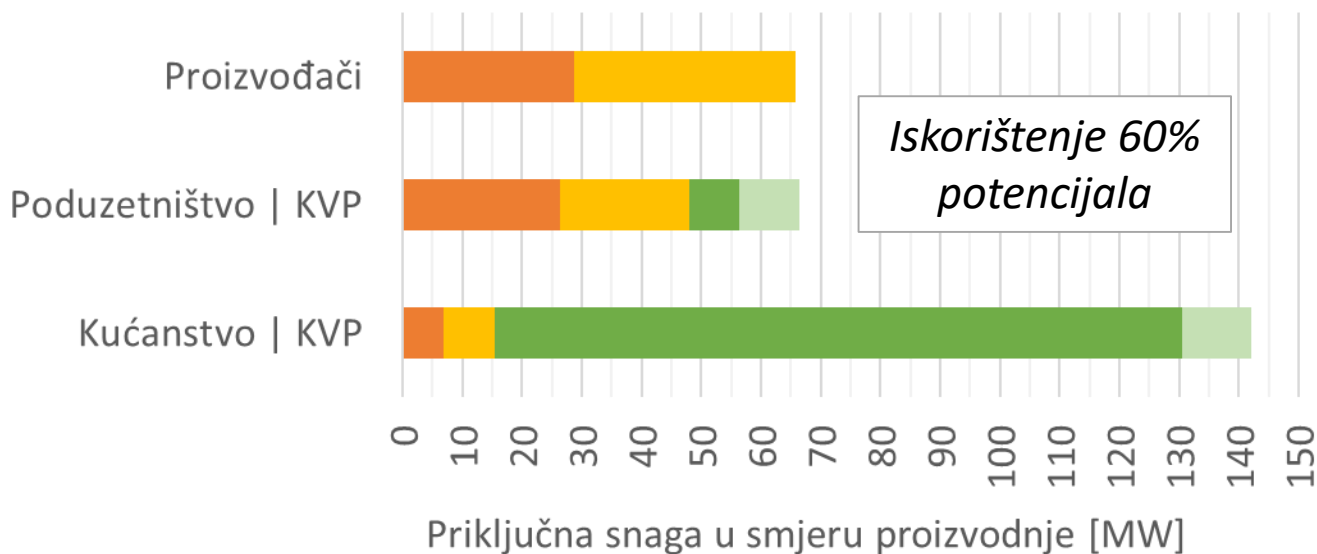
- na kraju 2025. godine ukupno instalirano **1 650 MW SE** ⇔ **jednako kao u Hrvatskoj** koja je 2 puta veća
- samo tri SE snage veće od 1 MW, sve u vlasništvu HSE, poduzeća u državnom vlasništvu:
  - SE Brežice snage **6 MW** je hibridna elektrana u kombinaciji s HE Brežice, uz nasip akumulacijskog jezera
  - SE Prapretno snage **3 MW** (dogradnja do **10 MW** + baterija **7 MW / 14 MWh**) na području bivšeg ugljenokopa
  - SE Zlatoličje snage **2,5 MW** (dogradanja do **24,5 MW**) je uz postojeće kanale i akumulacije dravskih hidroelektrana
  - u planu je plutajuća SE Družmirje snage vjerojatno preko **75 MW** na jezeru nastalom nakon desetljeća eksploatacije lignita u blizini TE Šoštanj
- Slovenski pristup:
  - energetska demokracija, odnosno **sudjelovanje što većeg udjela građana**
  - **visoka razina svijesti o potrebi očuvanja okoliša** i dopuštanje većih projekata samo na posebnim područjima u kojima je već postojala intenzivna gospodarska djelatnost

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

Studija razvoja  
distribucijske  
mreže

### Potencijal distribuirane proizvodnje u Međimurju

sada (s projektima u fazi priključenja): **129 MW**  
za 20 godina: **275 MW**



■ instalirano do 2024

■ instalirano dodatno do "2026"

■ potencijal | samostojeće zgrade

■ potencijal | zgrade s više OMM

Scenarij proizvodnje kupaca s vlastitom proizvodnjom (nisu planirani proizvođači):

#### 1 OMM na adresi:

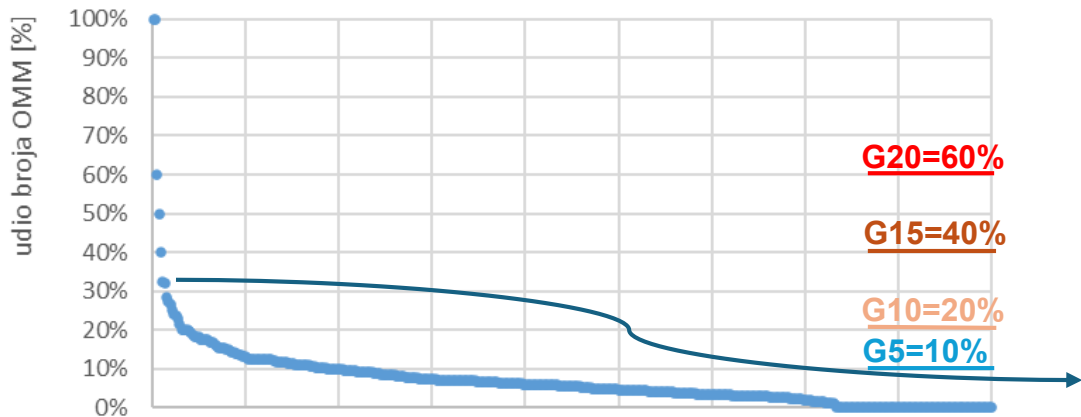
- obiteljska kuće: 8 kW
- SN poduzetništvo: potrošnja/3  
50 kW do 500 kW
- NN poduzetništvo: potrošnja/1,55  
5 kW do 250 kW

#### Više OMM na adresi:

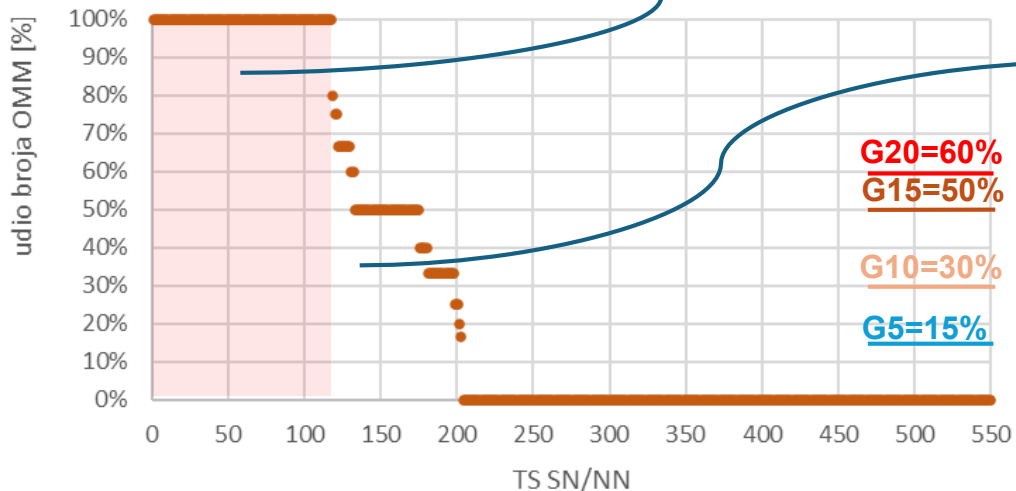
- stambena zgrada: max (8 kW ; 1 kW/stan)
- NN poduzetništvo: potrošnja/1,42  
max 10 na adresi  
5 kW – 500 kW

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

Omjer broja postojećih i mogućih SE kućanstava - 1  
OMM/adresa / G0+



Omjer broja postojećih i mogućih SE poduzetništva - 1  
OMM/adresa / G0+



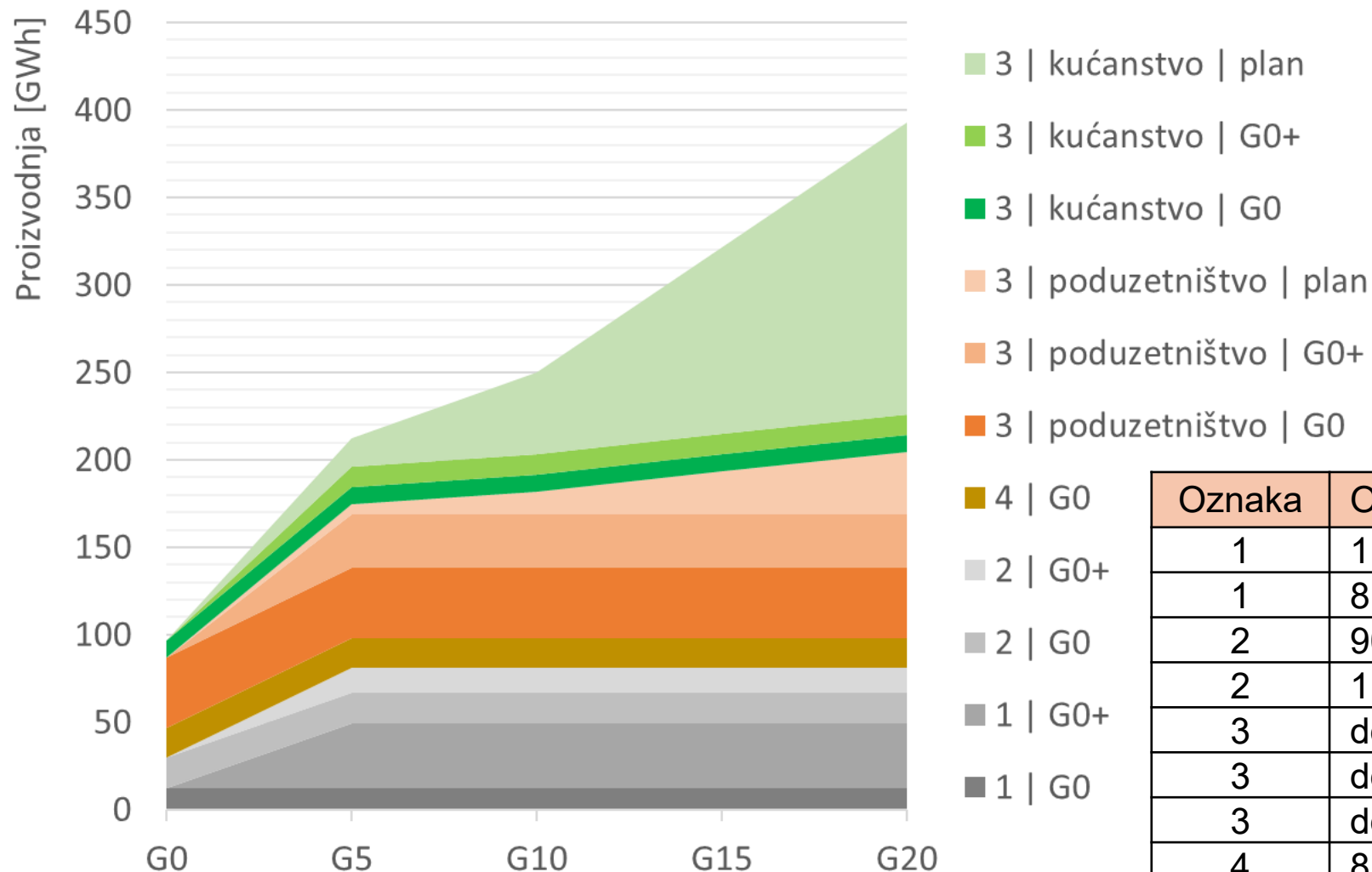
### Scenarij: iskorištenje 60% potencijala za 20 godina

#### Zašto 60%?

- 30% OMM kućanstava u Nizozemskoj 2023. godine ⇔ 53% stalno nastanjenih obiteljskih kuća u Međimurju za 20 god.
- 27% SE snage veće od 250 kW u Austriji 2025. godine ⇔ iskorištenje 83% potencijala SE u Međimurju za 20 god.
- već postoje područja s preko 30% kućanstava sa SE
- na oko 20% područja (TS SN/NN) svi poduzetnici imaju SE (uključujući 50% SN kupaca)
- u prosjeku, već je iskorišteno gotovo 40% ukupnog potencijala poduzetništva
- za ostvarenje ciljeva NECP-a treba maksimalno iskoristiti mogućnosti instalacije SE na zgradama i pomoćnim objektima u blizini zgrada, kako bi se minimizirala

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Scenarij razvoja distribuirane proizvodnje



- *trenutačno (u pogonu i u postupku priključenja) 43% čine SE koje prekomjerno zauzimaju kapacitet mreže (kat. 1 i 2)*

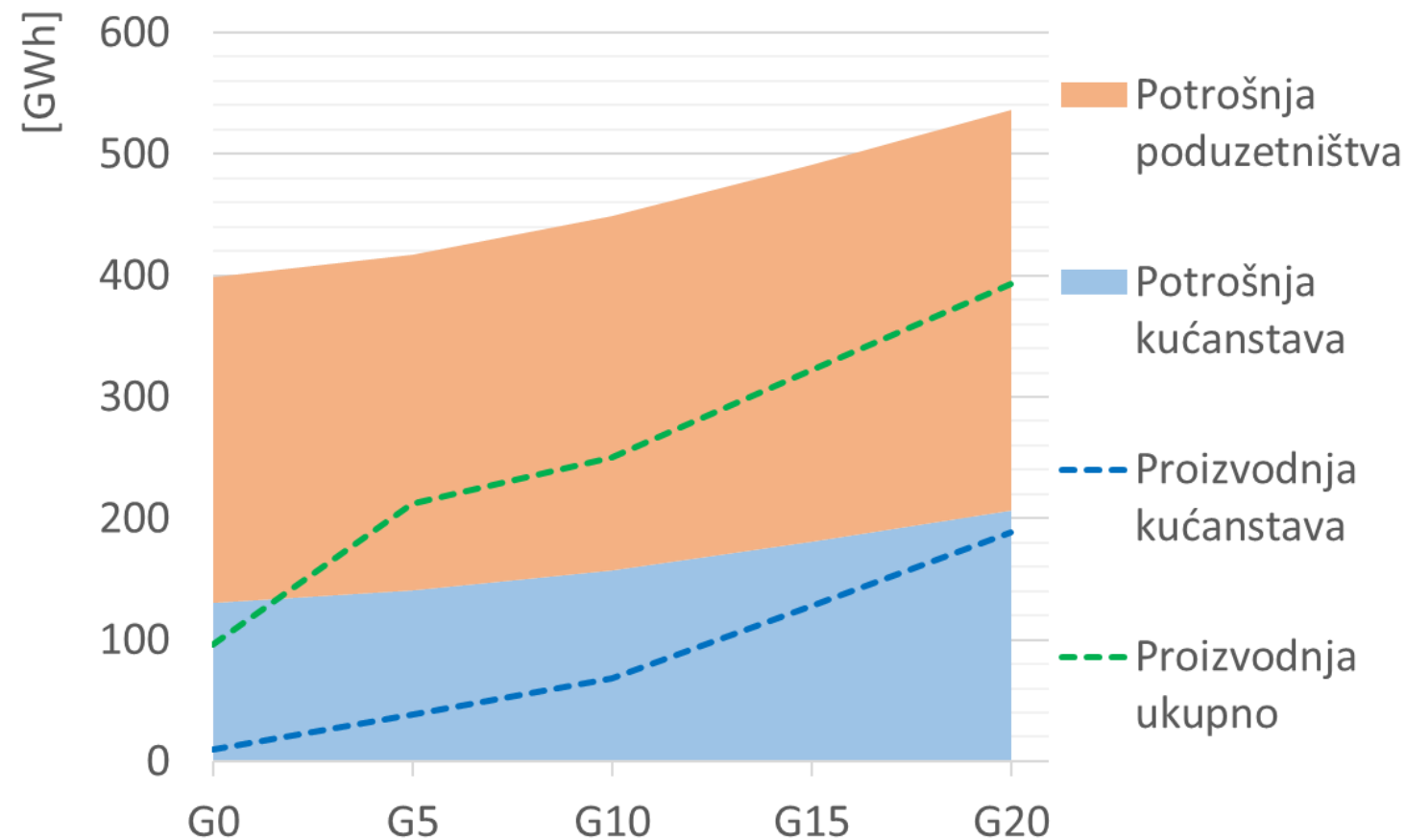
#### *Kategorije utjecaja priključenja elektrana na SN mrežu*

Oznaka	Opis načina priključenja
1	1 MW - 4 MW u 10(20) kV mreži
1	8 MW - 10 MW u 35 kV mreži
2	900 kW - 1000 kW u 10(20) kV mreži
2	1 MW - 4 MW u 35 kV mreži
3	do 500 kW u 10(20) kV mreži
3	do 500 kW u NN mreži
3	do 40 kW kućanstvo
4	8 MW - 10 MW na sabirnicama 35 kV TS VN/SN

43%

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Scenarij razvoja distribuirane proizvodnje



#### Kućanstva:

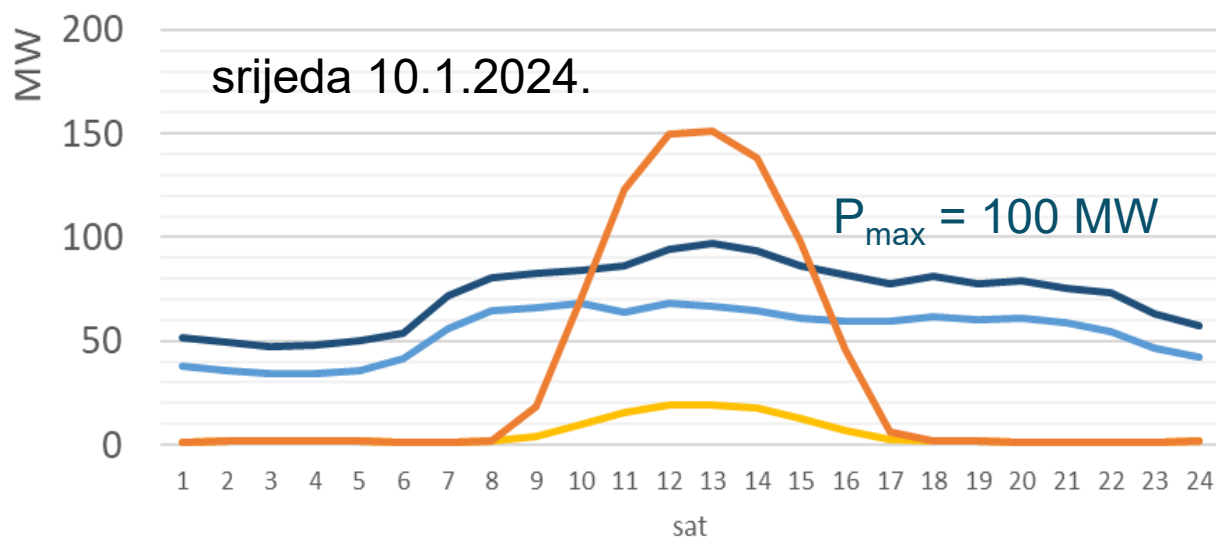
- do G20 proizvodnja kućanstava gotovo pokriva potrošnju (na godišnjoj razini)
- udio kućanstava sa SE u G20 usporediv s državama koje prednjače u EU u G0 (35% OMM)
- instalacije u Hrvatskoj u prosjeku dvostruko veće (8 kW u odnosu na 4 kW u EU) => radi postizanja ciljeva NECP-a

#### Poduzetništvo:

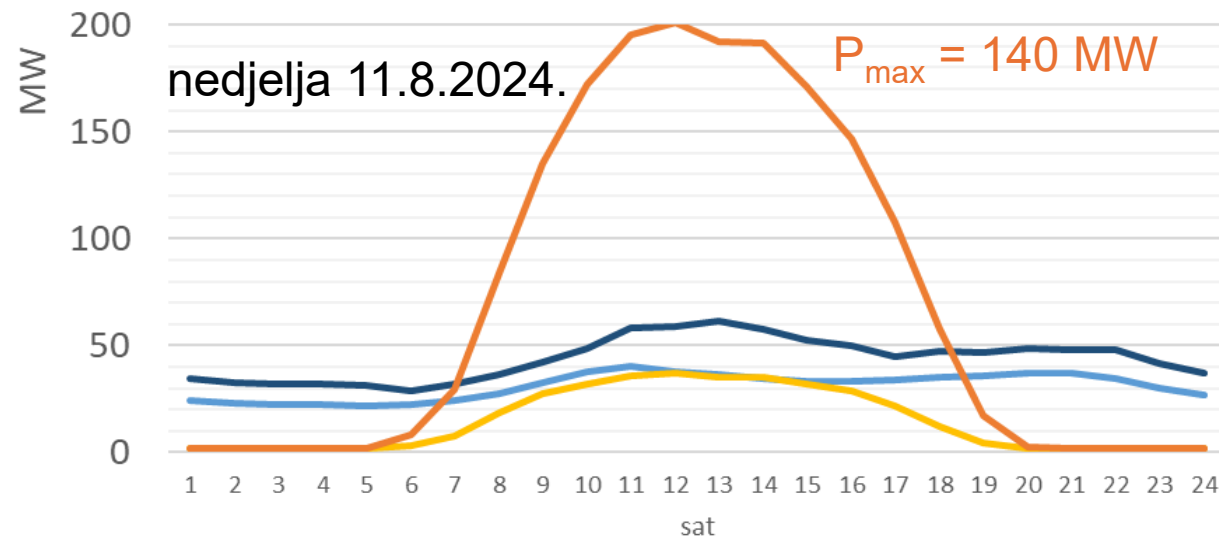
- već u G0+ vrlo visoka iskorištenost
- možda bi se moglo pretpostaviti

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Usporedba dnevnog dijagrama potrošnje i proizvodnje Međimurja u G0 i G20



— Potrošnja G0 [MW]    — Proizvodnja G0 [MW]  
 — Potrošnja G20 [MW]    — Proizvodnja G20 [MW]



— Potrošnja G0 [MW]    — Proizvodnja G0 [MW]  
 — Potrošnja G20 [MW]    — Proizvodnja G20 [MW]

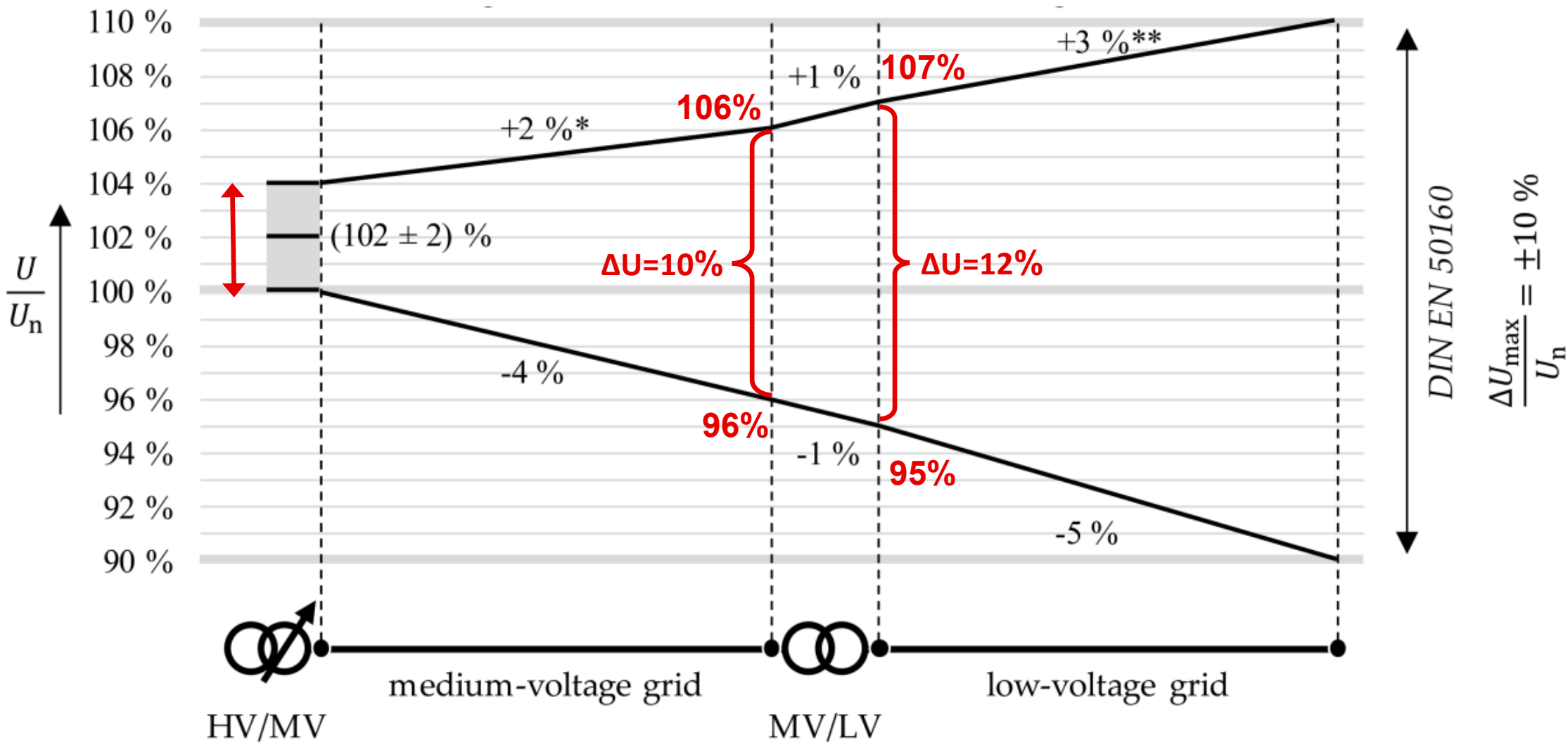
U dijagramu potrošnje u oba dana vidljiv je utjecaj kućnog punjenja električnih vozila oko podneva, a u zimskom danu vidljiv je i doprinos grijanja toplinskim crpkama u jutro te popodne i na večer

Proizvodnja u G20 je 5-7 puta veća od proizvodnje u G0.

U G0 i zimi i ljeti gotovo sva proizvodnja trošila se u distribucijskoj mreži. U G20 zimi i ljeti za sunčanog vremena značajni dio proizvodnje ide u prijenosnu

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Kriterij odstupanja napona za priključenje distribuirane proizvodnje



## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Kriterij opterećenja vodova i transformatora

- dopušteno opterećenje vodova i transformatora u normalnom pogonu: **100%**
- dopušteno opterećenje transformatora u poremećenom pogonu: **120%**
- primjena **N-1** kriterija: za **potrošnju** kada je ekonomski opravdano (preko **5 MW**)
- za proizvodnju se N-1 kriterij ne primjenjuje (u smislu obveze ulaganja za ODS)

*Smjernice za provedbu proračuna u elaborata optimalnog tehničkog rješenja priključenja – verzija 1/2025*

N-1 na razini TS VN(SN)/SN za smjer predaje u mrežu

ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja  $\geq 100$  kW koji se napajaju iz TS VN(SN)/SN (**maksimalna priključna snaga**)  $\leq$  iznos ukupne nazivne snage transformacije VN(SN)/SN nakon ispada TR najveće snage, uvećano za iznos referentne minimalne potrošnje predmetne TS VN(SN)/SN

### Analiza različitih scenarija distribuirane proizvodnje

- Analizirana stanja distribucijske mreže (proizvodnja i potrošnja):
  - stanje 2024. godine (označeno s G0) = **62 MW**
  - stanje s novim elektranama s visokom vjerojatnošću realizacije (G0+) => **129 MW**
- Analize sa i bez proizvođača u pogonu nakon 2024. godine:
  - ukupno 15 elektrana snage **37 MW**
  - 2 velike: 18,5 MW
  - 2 iznad 5 MW, 4 od 1-5 MW i ostale ispod 1 MW
- Korištenje regulacije napona (**faktor snage 0,95** ili 1)
- Pogonski napon 10 kV ili **20 kV**
- **DV 35(110) kV** Čakovec – Podturen

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

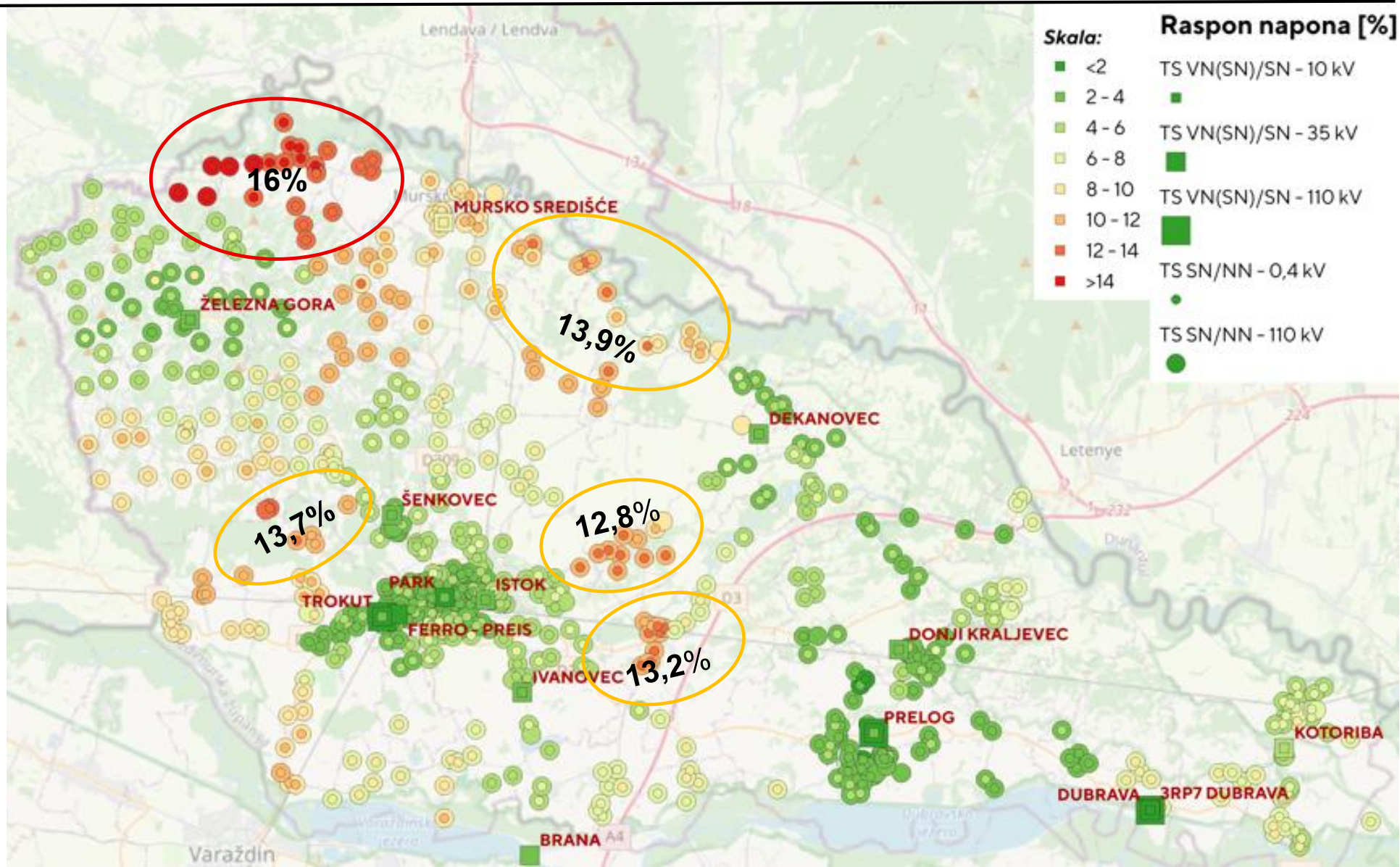
### Analiza različitih scenarija distribuirane proizvodnje

TS VN(SN)/SN	<b>0 MW</b>   bez proizvodnje	<b>62 MW</b>   stanje 2024. god.	<b>92 MW</b>   faktor snage 1	<b>92 MW</b>   faktor snage 0,95 za SN proizvodnju	<b>129 MW</b>   faktor snage 1	<b>129 MW</b>   faktor snage 0,95 za SN proizvodnju	<b>129 MW</b>   faktor snage 0,95 za <b>svu</b> proizvodnju	<b>129 MW</b>   faktor snage 0,95 za SN proizvodnju   novi <b>DV 35 kV</b> Čak. –M.S.   prijelaz na <b>20 kV</b>
TS 110/35/10 kV Trokut	11,96	11,50	<b>12,29</b>	10,59	<b>12,23</b>	11,22	9,48	5,31
TS 110/35/10 kV Trokut	9,01	11,97	<b>12,83</b>	11,05	<b>15,15</b>	<b>13,65</b>	11,36	6,47
TS 35/10 kV Dekanovec	10,52	<b>13,29</b>	<b>13,63</b>	<b>13,34</b>	<b>14,45</b>	<b>13,93</b>	10,92	8,00
TS 35/10 kV Dekanovec	9,93	9,57	9,21	9,02	<b>14,47</b>	<b>12,75</b>	10,76	7,95
TS 35/10 kV Ivanovec	10,24	11,41	<b>13,48</b>	<b>13,11</b>	<b>13,48</b>	<b>13,18</b>	11,43	6,97
TS 35/10 kV Mursko Središće	9,98	11,36	<b>14,06</b>	<b>13,13</b>	<b>17,38</b>	<b>15,99</b>	<b>14,10</b>	11,89

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Rasponi napon SN i NN sabirnicama

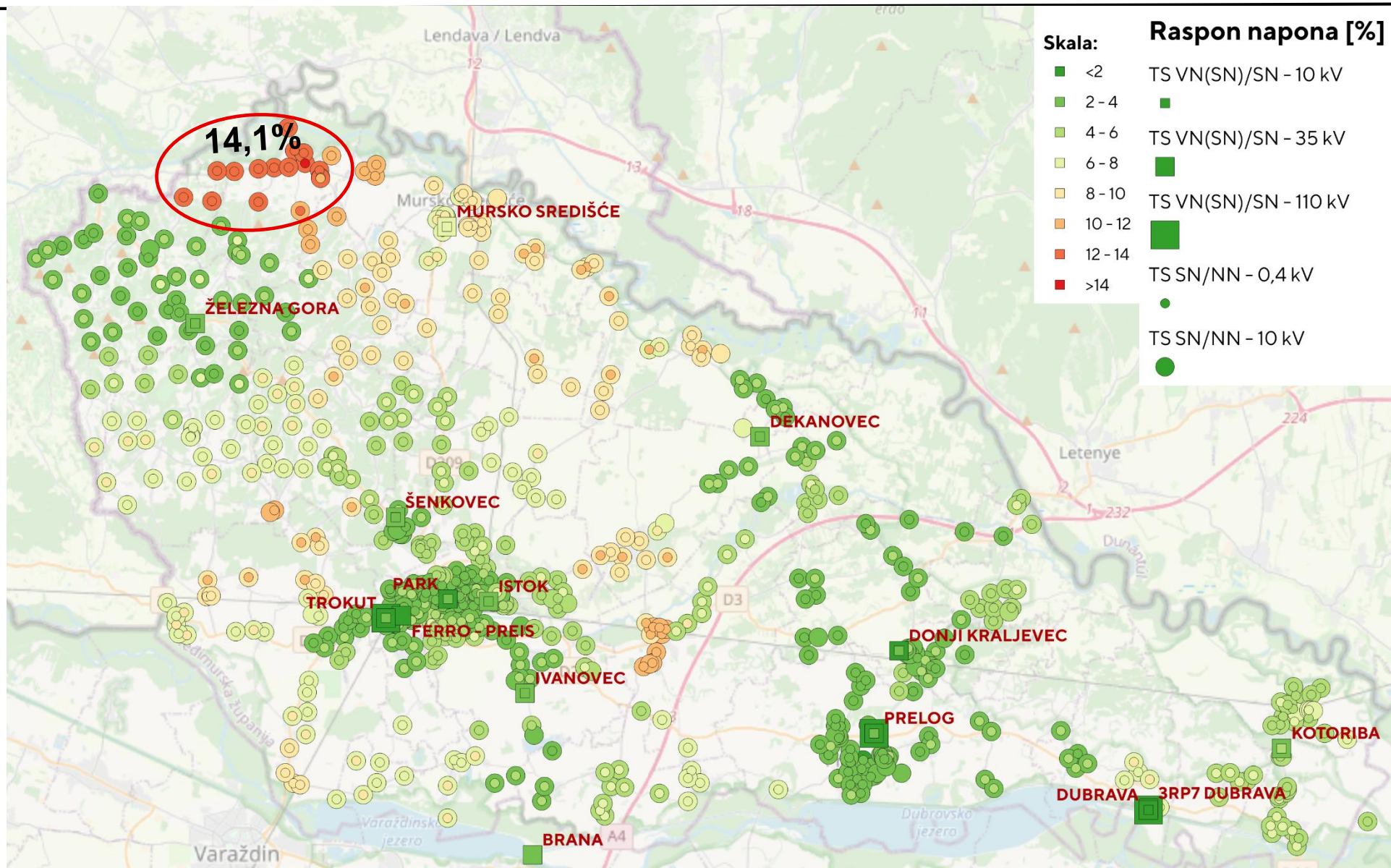
**129 MW** |  
 faktor snage 0,95 za **SN**  
 proizvodnju



## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

Rasponi napon  
 SN i NN  
 sabirnicama

**129 MW** |  
 faktor snage 0,95 za **svu**  
 proizvodnju

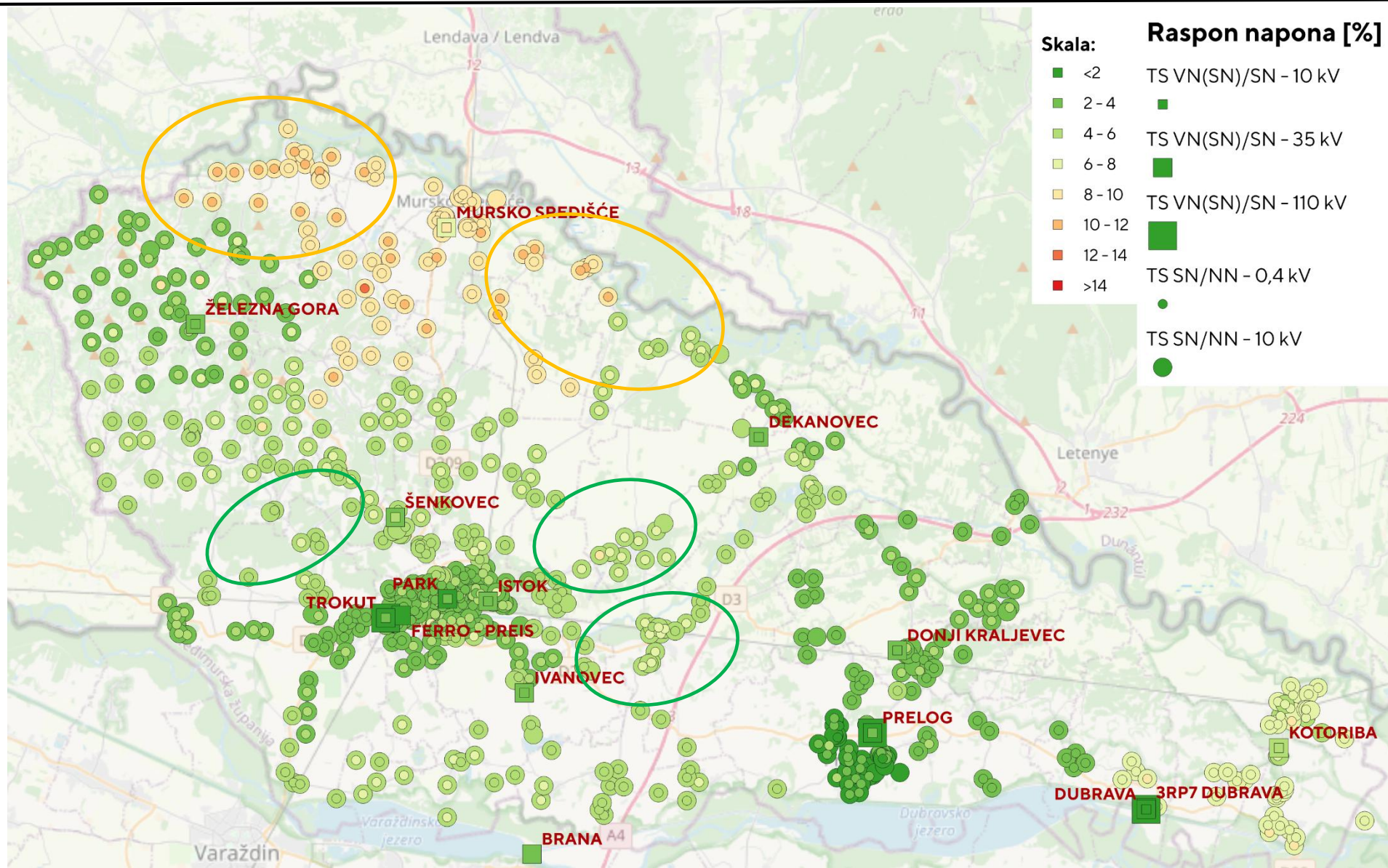


## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Rasponi napon SN i NN sabirnicama

**129 MW** |  
 faktor snage 0,95 za **SN**  
 proizvodnju | novi **DV 35 kV**  
 Čakovec - Podturen |  
 prijelaz na **20 kV**

Uz ova ulaganja (ranije od  
 planiranog) **ostvariv je**  
 prethodno opisani scenarij  
 priključenja dodatnih 146 MW  
 SE kućanstava i KVP

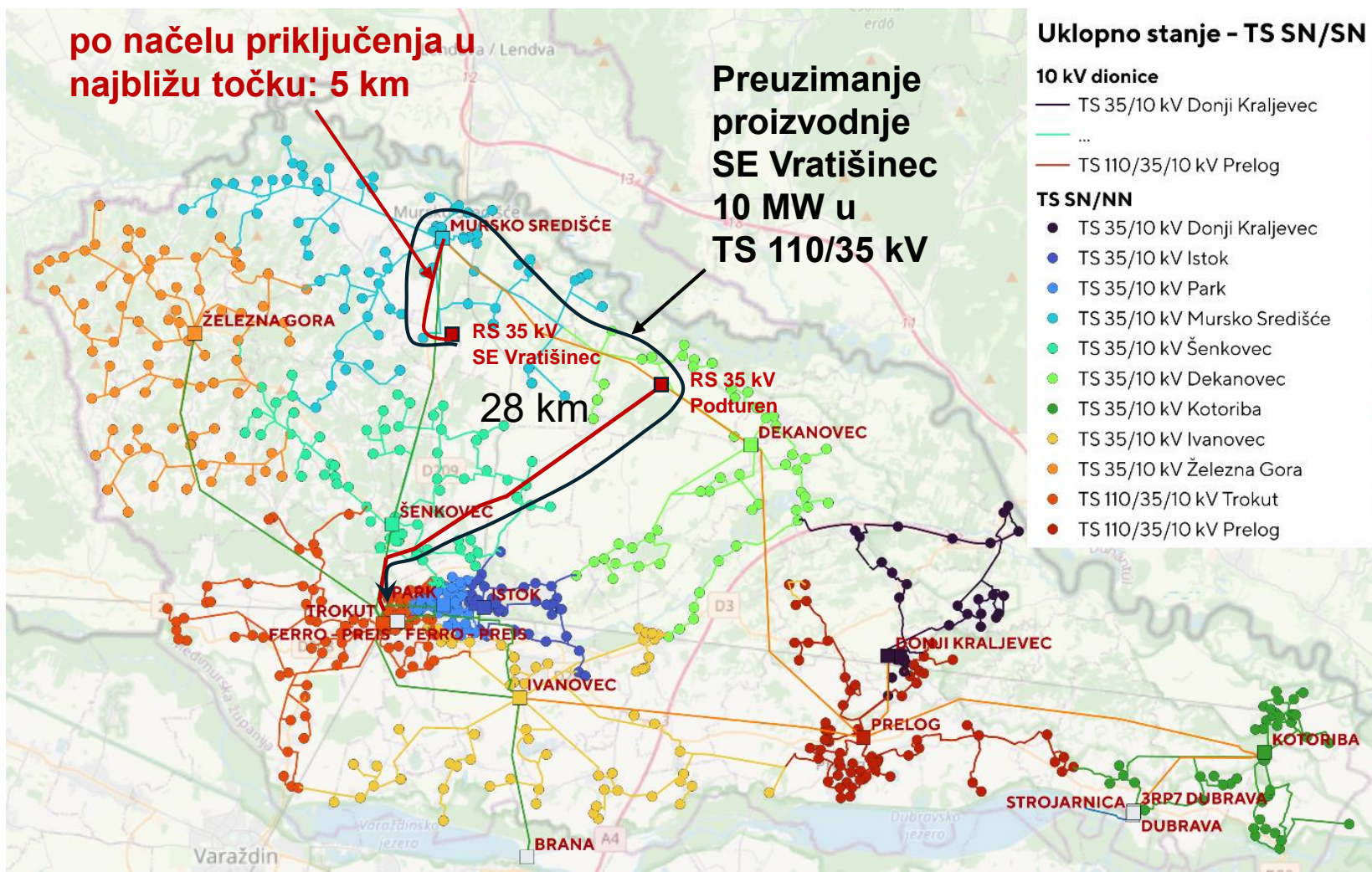


## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Ulaganja radi preuzimanje proizvodnje SE Vratašinec 10 MW

- Prijelaz na **20 kV** područja Murskog Središća oko **5 godina** ranije od planiranog
- Obnova **DV 35(110) kV** Čakovec – Podturen oko **10 godina** ranije od planiranog
- Izgradnja **RS 35 kV** Podturen oko **10 godina** prije planiranog

Proizvodnju snage preko 5 MW treba priključiti na TS 110/SN s automatskom regulacijom napona



## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Utjecaj visokog napona u prijenosnoj mreži



- automatska regulacija napona na transformatorima 110/35 kV i 110/10 kV podešena na održavanje napona na oko 1,5% iznad nazivnog napona
- u slučaju napona u prijenosnoj mreži blizu 123 kV koristi se maksimalni opseg regulacije napona => **nije moguće dodatno sniziti napon u distribucijskoj mreži**
- hoće li u doglednoj budućnosti naponi na 110 kV prijenosnoj mreži biti bliže nazivnoj vrijednosti ?

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

### Postoji li potreba za strateškim opredjeljenjem u pogledu SE ?

- s obzirom na planove proizvodnje električne energije iz SE (NECP), biti će potrebno **maksimalno iskoristiti** instaliranje integrirano na i uz postojeće i buduće **zgrade**
- **EU obveza ugradnje SE na postojećim i novim zgradama** zahtijeva značajni kapacitet
- **(5) 10 MW** je s razlogom **granica** za elektranu na distribucijskoj mreži
  - mogla bi biti **izuzetak** koji se priključuje izravno na **sabirnice TS 110/SN**
  - s obzirom da su TS 110/SN u blizini naselja, u pravilu ne bi trebalo biti prostora za SE (ili VE) već neki drugi tip elektrane koji ne zahtijeva veliki prostor i uklapa se u pojam industrijske zone
  - u slučaju priključenja dublje u SN mreži, čak i na 35 kV, **jedna elektrana**, čak i snage manje od 10 MW, **zauzima veliki dio ili cijeli kapacitet** SN i NN mreže za priključenje SE kod velikog broja kupaca koji bi imali korist od vlastite proizvodnje na lokaciji potrošnje

**Nije kasno za promjenu pristupa priključenju i rezerviranje kapaciteta distribucijske mreže za manje SE integrirane na zgradama**

## Upravljanje naponom na sučelju prijenosne i distribucijske mreže

*Hvala na pažnji*

Multidisciplinarna **istraživanja**.

Poslovno **savjetovanje**.

Prijenos **znanja**.

Kontakt: [tbaricevic@eihp.hr](mailto:tbaricevic@eihp.hr)

