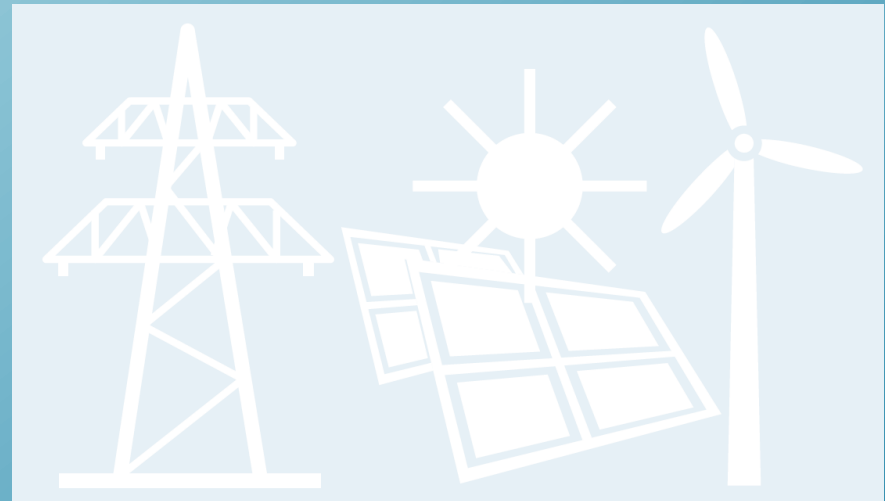


# **Aktivna distribucijska mreža kao izazov ustaljenim funkcijama vođenja, zaštite i automatizacije**



**Damir Karavidović, dipl.inž.el.**

## Sadržaj



1. Uvod
2. **Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža**
3. **Vođenje, zaštita i automatizacija pod izazovima aktivne mreže**
4. **Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža**
5. **Zaključna motrišta**
5. Literatura

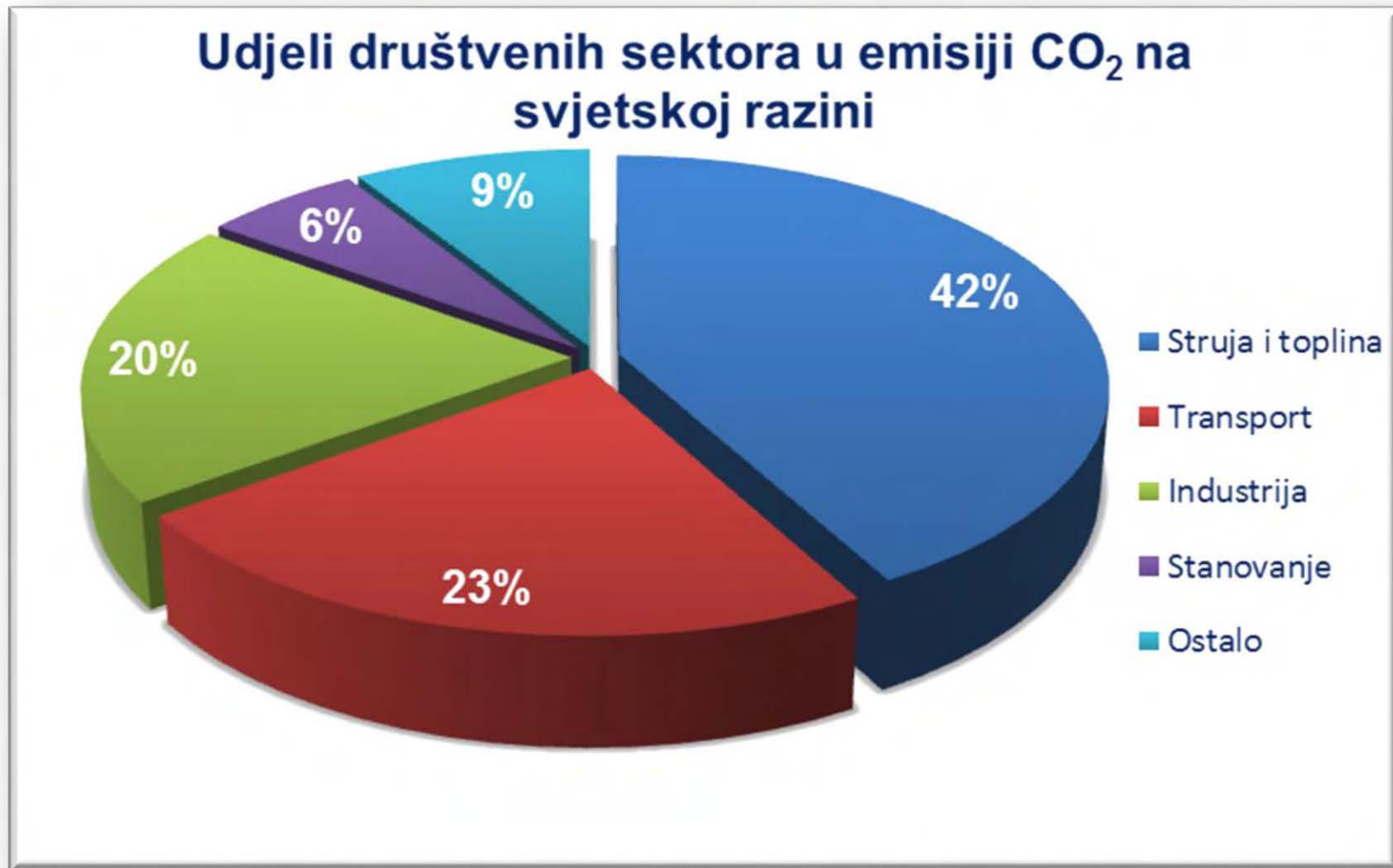
## 1. Uvod

### Što smo učili na 8. Danima inženjera elektrotehnike?

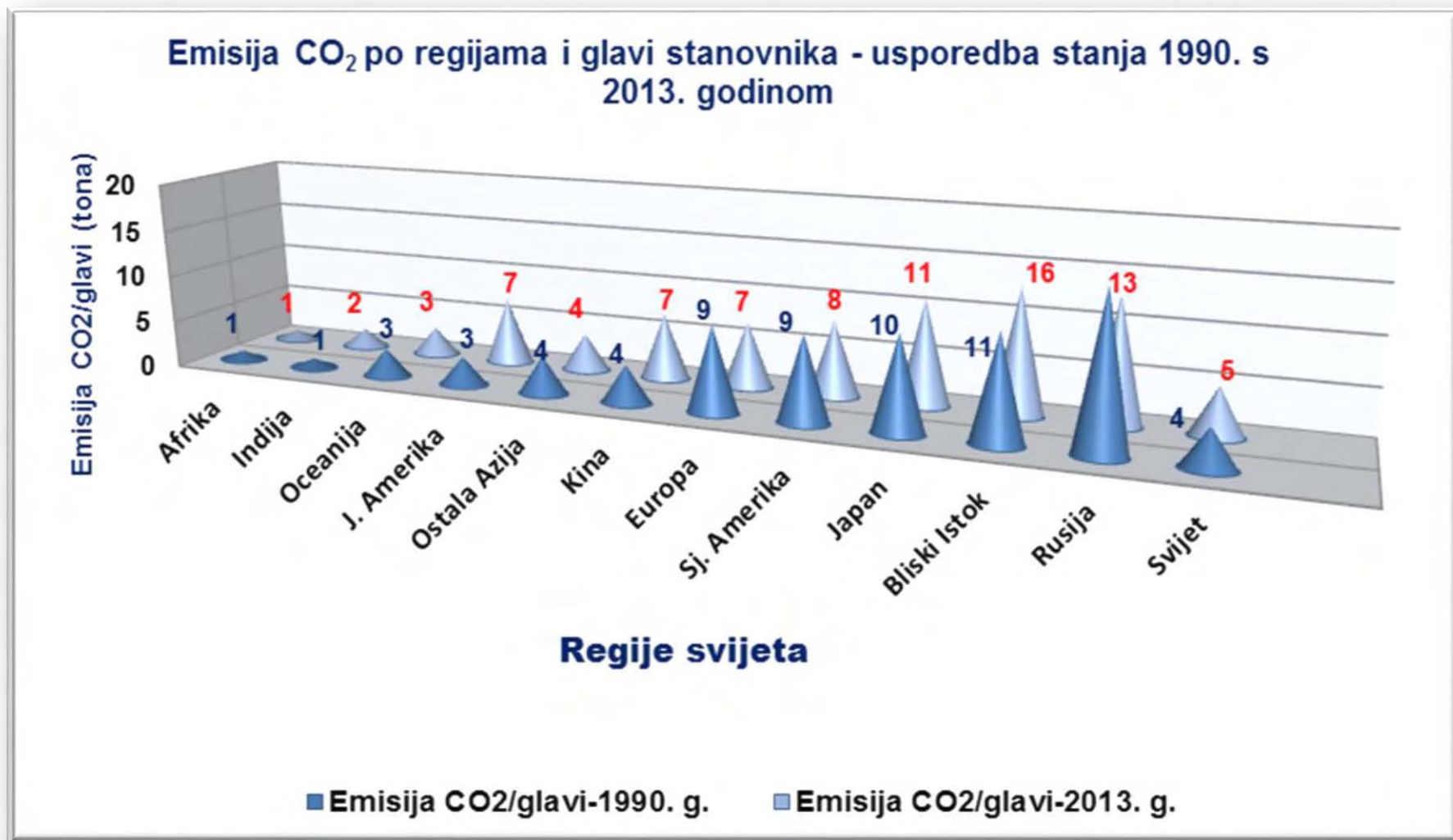
#### Globalna klimatska politika i njeni ciljevi:

- ➔ Čovječanstvo ne može biti zadovoljno s učincima dosadašnje klimatske politike,
- ➔ Čovječanstvo mora odgovorno pristupiti tvorbi novih ciljeva i donijeti odluke za djelotvorno postupanje za njihovo ostvarenje.
- ➔ Klimu mijenja izrazito visoka emisija stakleničkih plinova, koju eko sustav u vrlo kratkom vremenu, od nekoliko stotina godina, ne može preuzeti.
- ➔ Učinci emisije stakleničkih plinova su višestruki, međusobno uzročno – posljedično prožeti, zato se za smanjenje emisije treba koristiti pozitivnim učincima pojedinih i međusobno prožetih postupaka (npr. elektromobil kao korisnik i spremnik).

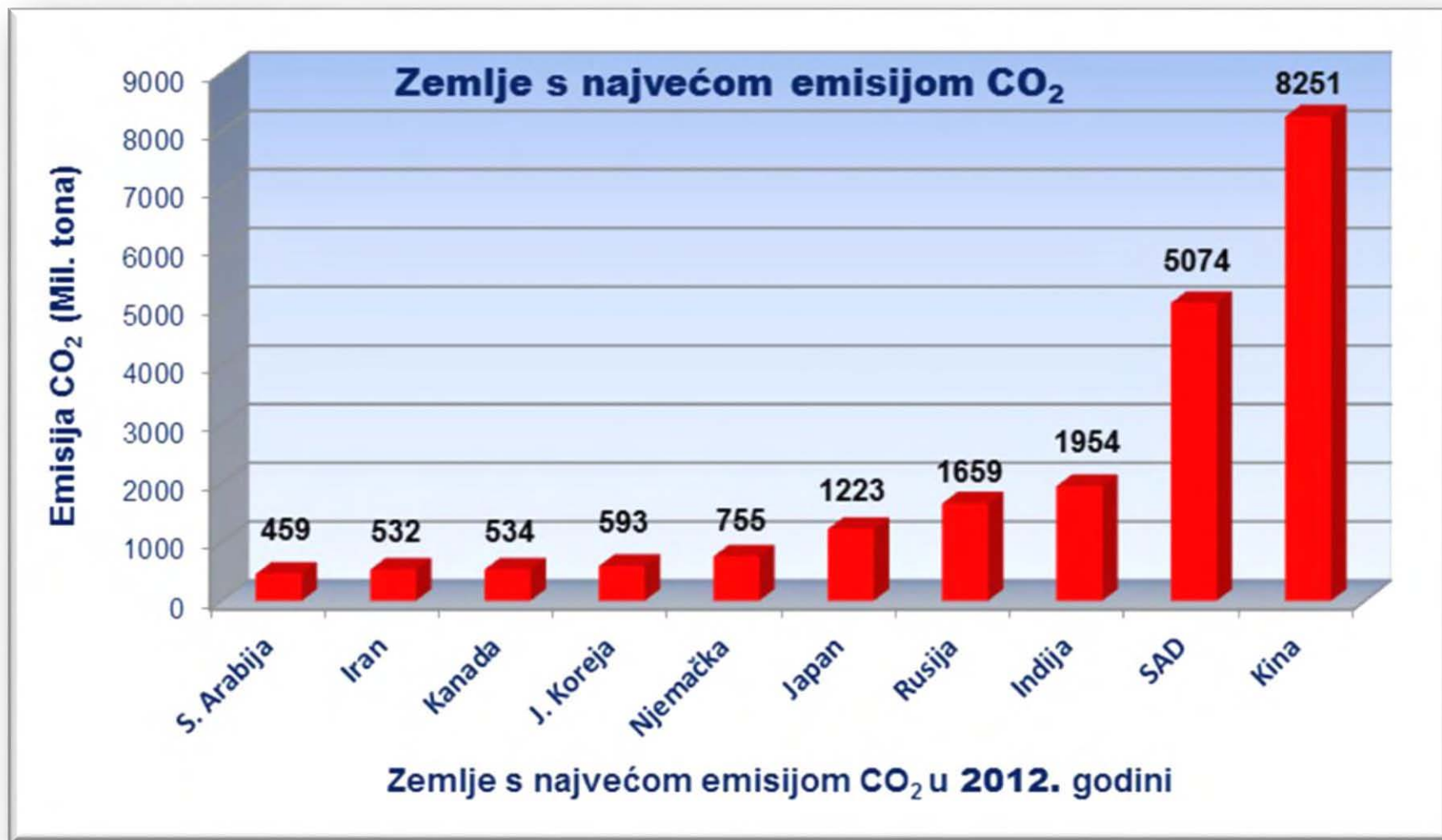
## Koji društveni sektori imaju najveći udjel u emisiji CO<sub>2</sub>?



## Primjeri uspješne i neuspješne klimatske politike



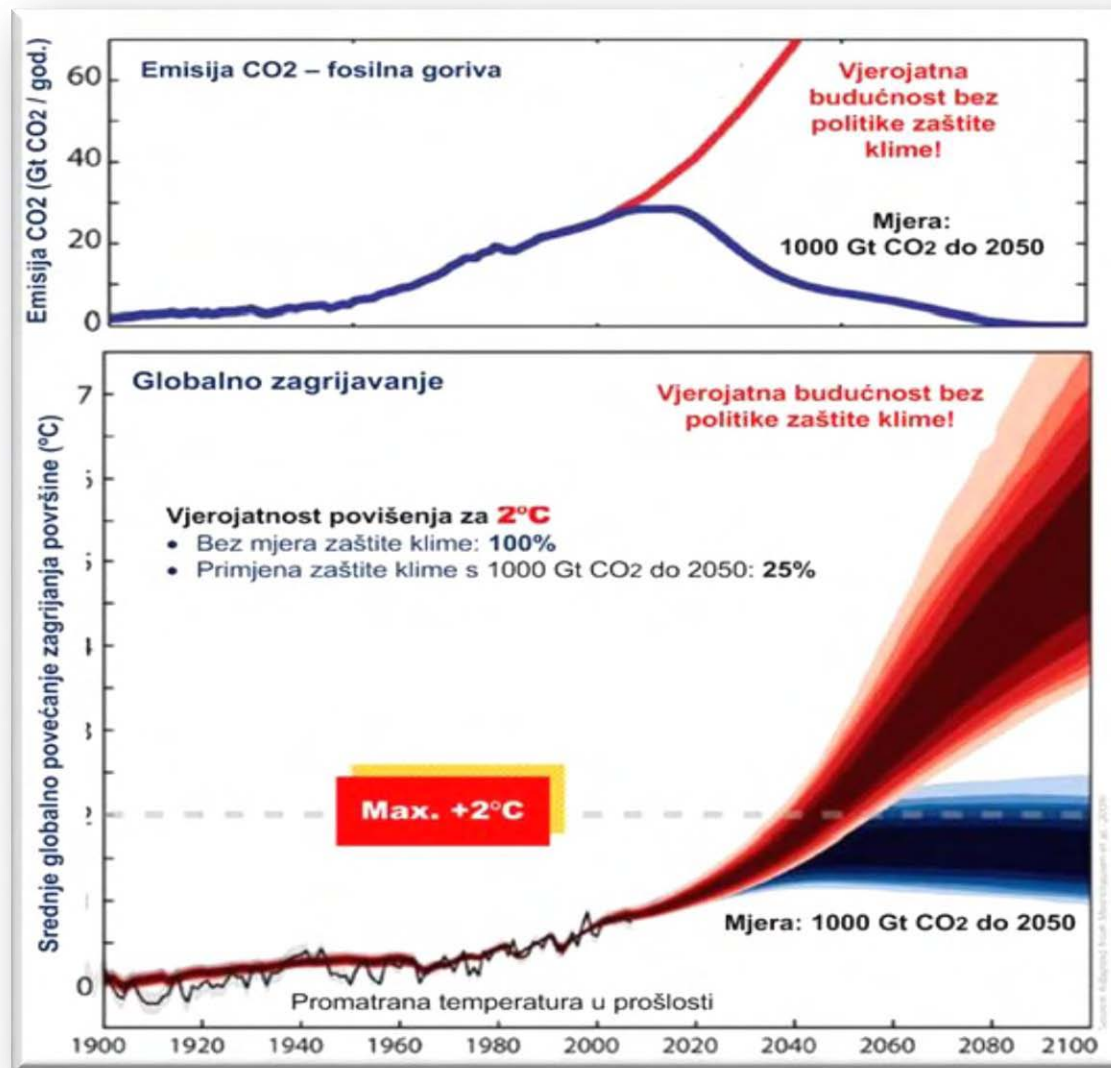
## Koja država ima najveću emisiju CO<sub>2</sub> i zašto?



## Dakle, sadašnja emisija CO<sub>2</sub> je prijetnja životu planeta!

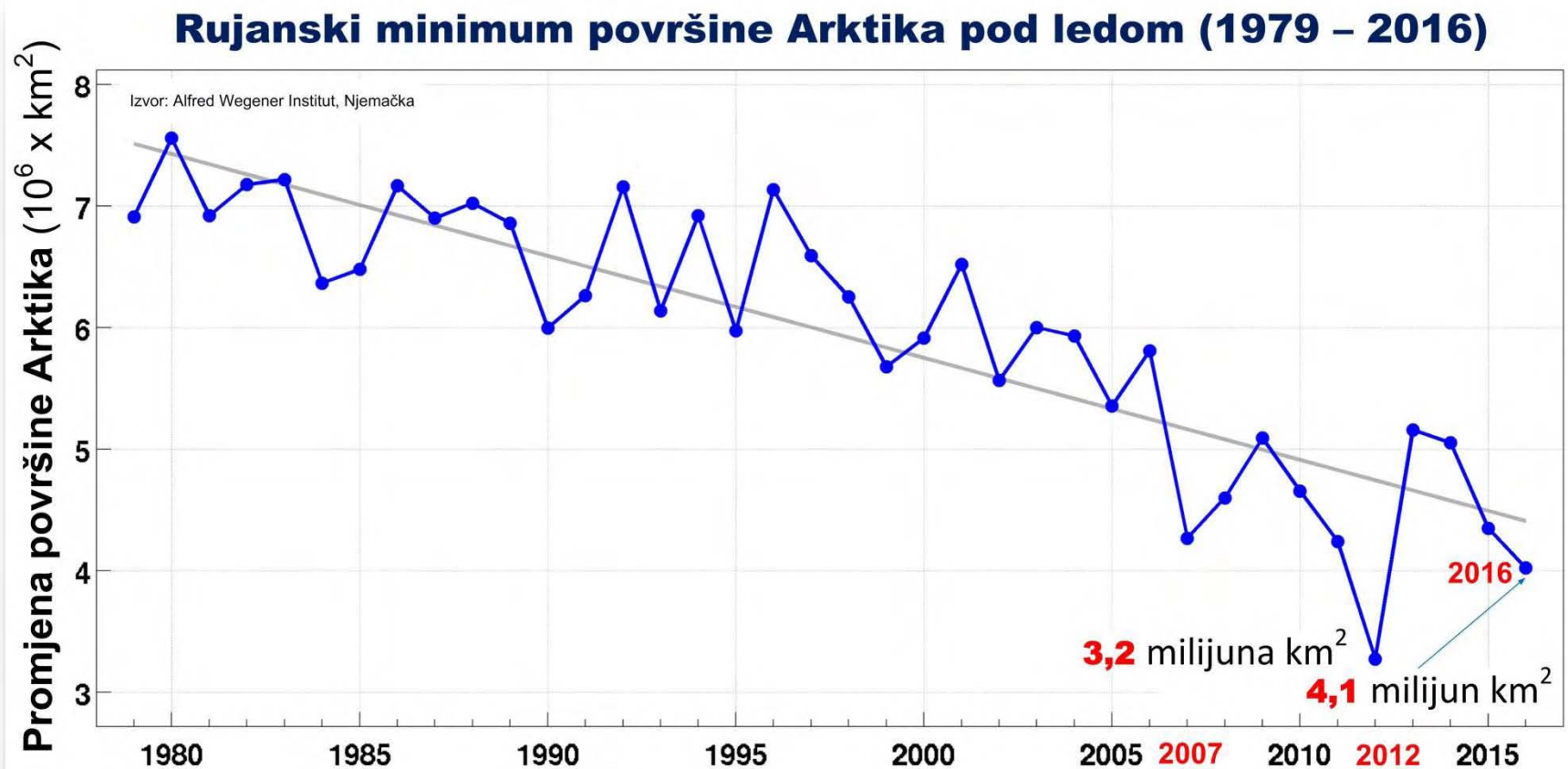
### Cilj svih ciljeva:

Provoditi mjere koje jamče ograničenje porasta prosječne temperature na planeti do kraja stoljeća za 2° C, a ne za 4° C.



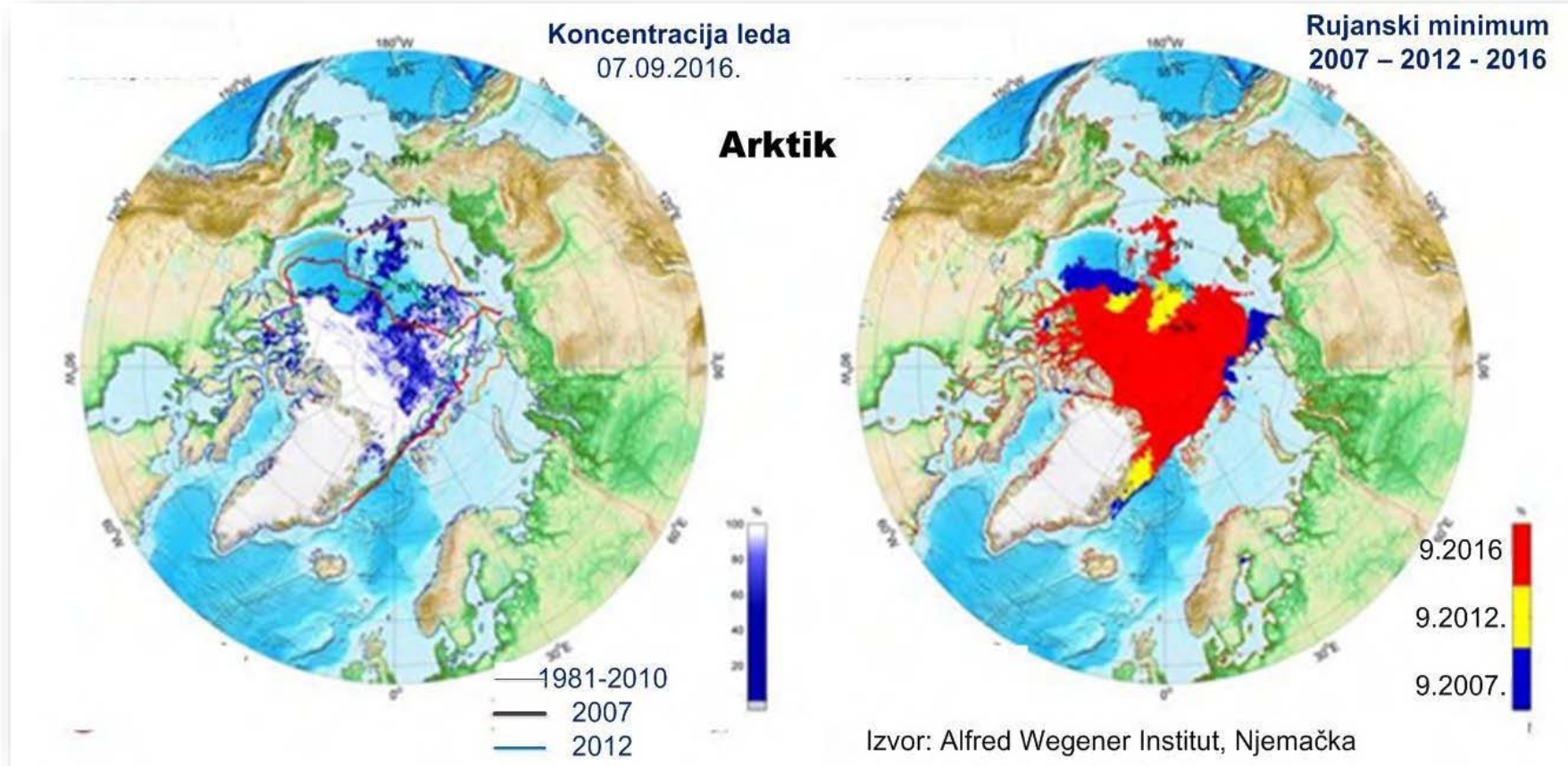
## Prijetnja životu planeta se svakodnevno dokazuje!

Svake godine, u rujnu se istraživanjem utvrđuje koliko se smanjila površina polova pod ledom. Rujanski minimum je pokazatelj klimatskih promjena. Iako nije dostignut „rekord“ iz 2012 godine, dramatičnim se drži uspostava trenda.



## Pokazatelj klimatskih promjena – topljenje leda na Arktiku i Antarktiku

Povlačenje arktičkog leda je nedvojbena pokazatelj kako se globalno zagrijavanje planeta Zemlja odvija nesmetano.



## Što se u svezi s klimatskom politikom i ciljevima dogodilo između naših susreta?

- ➔ **Pariz, prosinac 2015.** godine, 21. konferencija stranaka Okvirne konvencije UN-a o klimatskim promjenama,
- ➔ **New York, travanj 2016.** godine, Glavna skupština UN, potpisan Pariški sporazuma o klimatskim promjenama sa stupanjem na snagu 2020. godine – i RH je potpisnik.
- ➔ **Hangzhou, Kina, rujan 2016.** godine, sastanak na vrhu skupine G20 - što je prije moguće pristupiti Pariškom sporazumu o klimatskim promjenama.
- ➔ **Cilj za spas planeta** - ograničenje porasta prosječne temperature na planeti do kraja 21. stoljeća za 2° C.

### Kako?

Do 2030 godine smanjiti emisiju **štetnih plinova** za **40%**  
(u odnosu na 1990. godinu!)

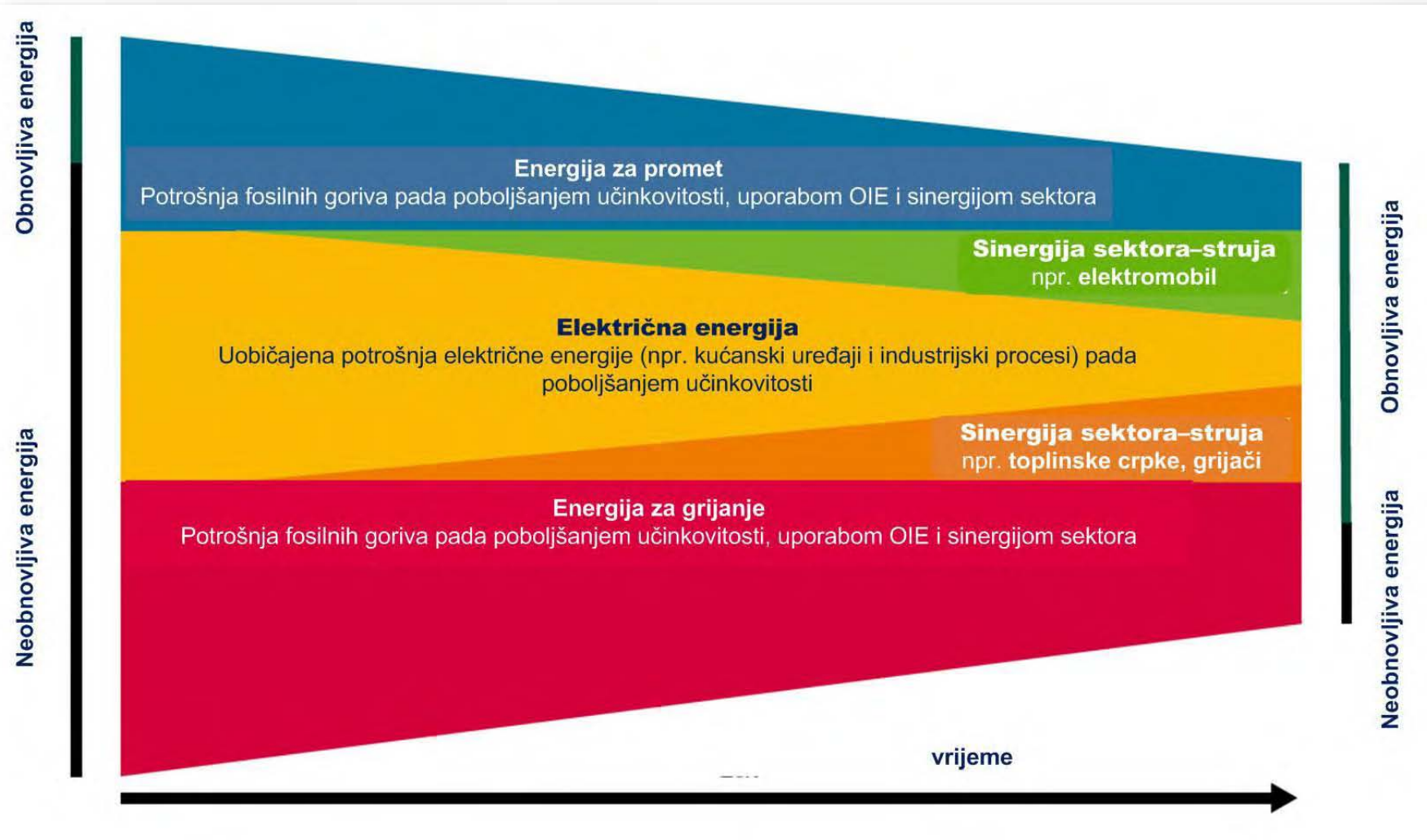
Cilj za 2030. godinu, samo je korak u postizanju cilja do i nakon 2050. godine.

## Koje su mjere djelotvorne za dostizanje **narečenog** cilja?

Prijeko su potrebne strukturne promjene u energetsom, napose u elektroenergetskom sektoru:

- ➔ **značajan porast udjela OIE u podmirenju neposrednih potreba za električnom energijom,**
- ➔ **korištenje tehnologije obuhvata i pohrane CO<sub>2</sub> (CCS) pri proizvodnji električne energije i u industriji,**
- ➔ **do 2050. godine korištenje 50% električnih automobila,**
- ➔ **značajan porast energetske učinkovitosti u svim tehnološkim procesima,**
- ➔  **smanjenje prosječnih gubitaka energije u zgradama,**
- ➔ **korištenje biomase u kućanstvima i sustavima daljinskog grijanja,**
- ➔ **korištenje biogoriva u prometu preko 80%,**
- ➔ **promjene sustava trgovanja emisijama CO<sub>2</sub> i**
- ➔ **...**

## Sinergija sektora – preduvjet ostvarenja ciljeva **nove politike zaštite klime?**



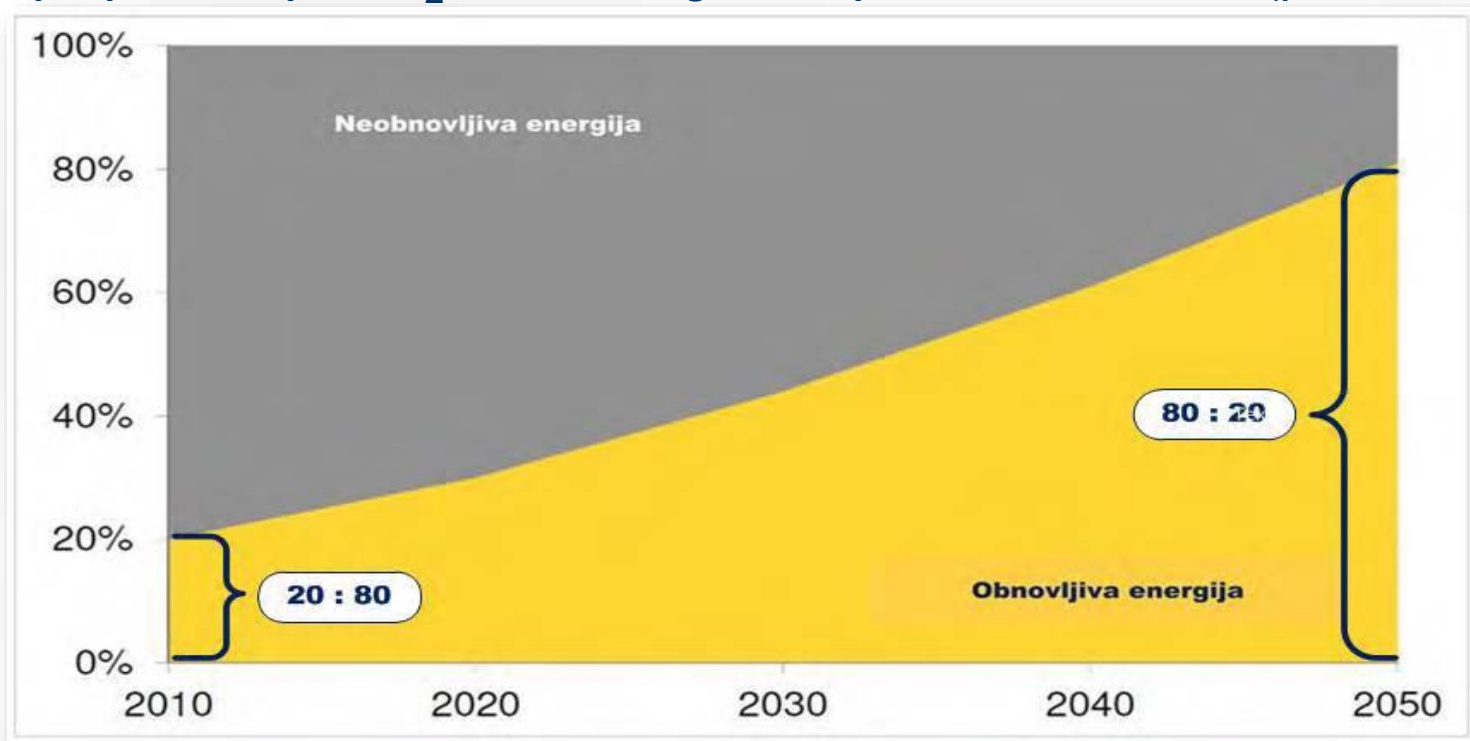
## Dva obilježje života na planeti Zemlja neizbježno vode – prevladavajućoj uporabi OIE



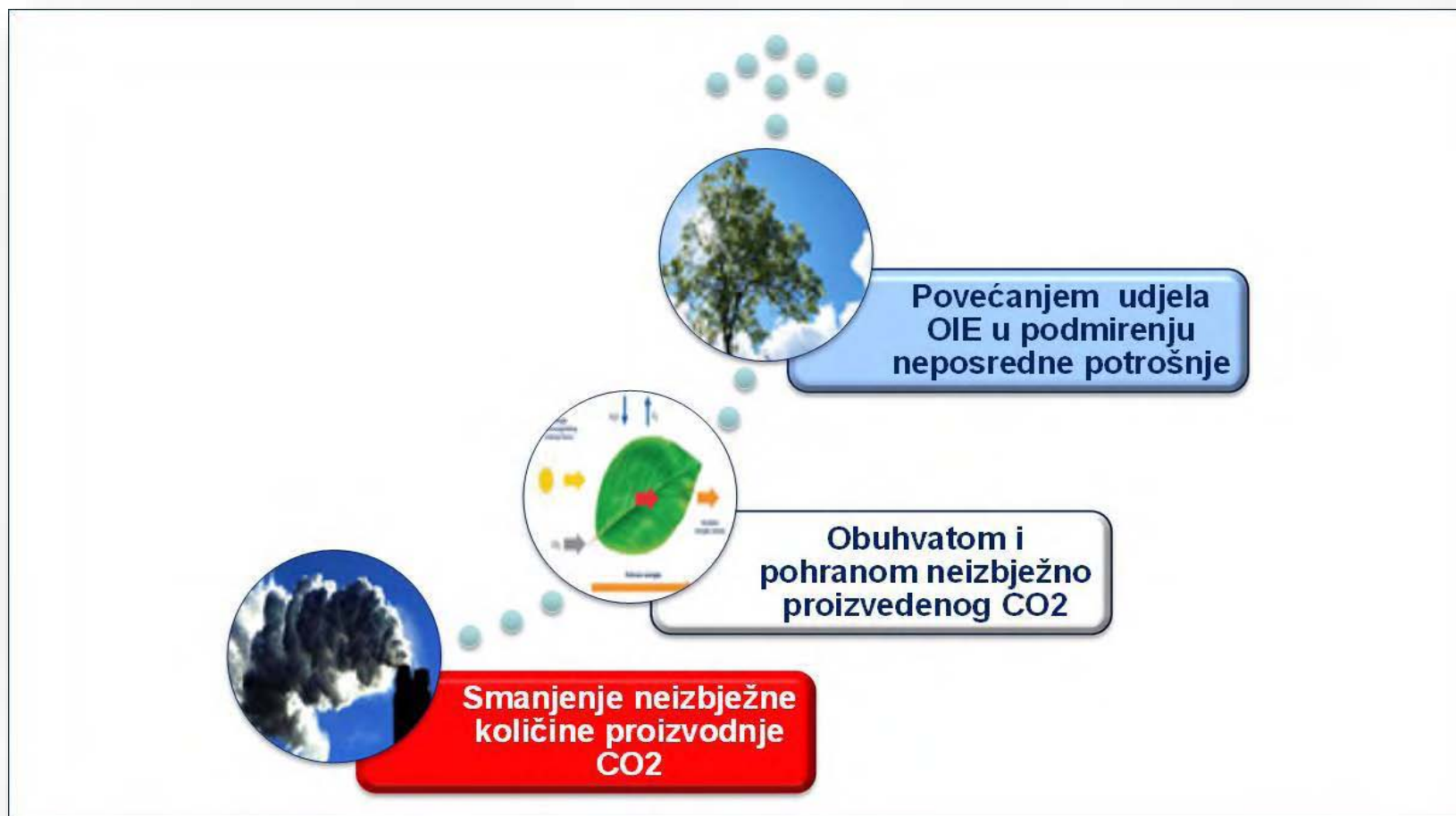
Obnovljivi  
izvori  
energije

## Što praktično znače novi klimatski ciljevi do 2050. kroz smanjenje emisije stakleničkih plinova?

- ➔ Novi klimatski ciljevi do 2050., kroz smanjenje emisije stakleničkih plinova, su prijelaz s politike 20:80 na 80:20 – različito po sektorima,
- ➔ U elektroenergetici, za **proizvodnju električne energije**, novi cilj smanjenja emisije CO<sub>2</sub> do 2050. godine je iznos od **95%**. (prema 1990 g.).



## Kako će elektroenergetika ostvariti glavne ciljeve nove politike zaštite klime?



Ostvarenje novih klimatskih ciljeva pothvatima u EES-u, ima značajke **energetske evolucije.**

## Što podrazumijevamo pod pojmom energetska evolucija?

- **Energetska evolucija izražava temeljni zaokret u opskrbi električnom energijom od proizvodnje iz fosilnih goriva prema proizvodnji iz obnovljivih izvora energije, uz optimalno objedinjavanje s pogonom EES-a.**



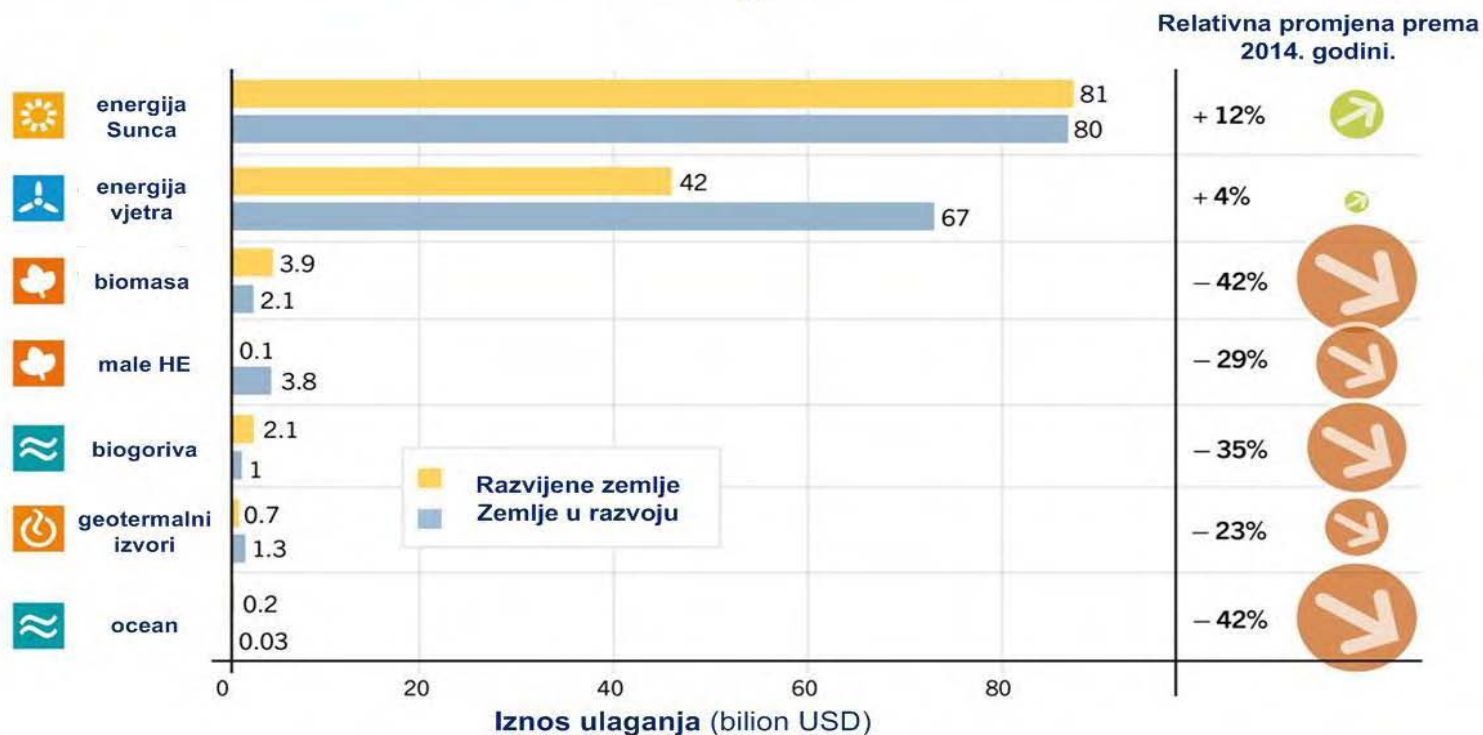
- **Energetska evolucija je naš put u sigurnu, po okoliš održivu i gospodarski prihvatljivu opskrbu električnom energijom, to je naš put u obećavajuću energetska budućnost.**

## Gdje je energetska evolucija svijeta danas?

Mjerilo:

### Struktura ulaganja prema vrsti primarne snage OIE.

Globalna razina ulaganja u obnovljive izvore energije u razvijenim i zemljama u razvoju u 2015. godini



Izvor:

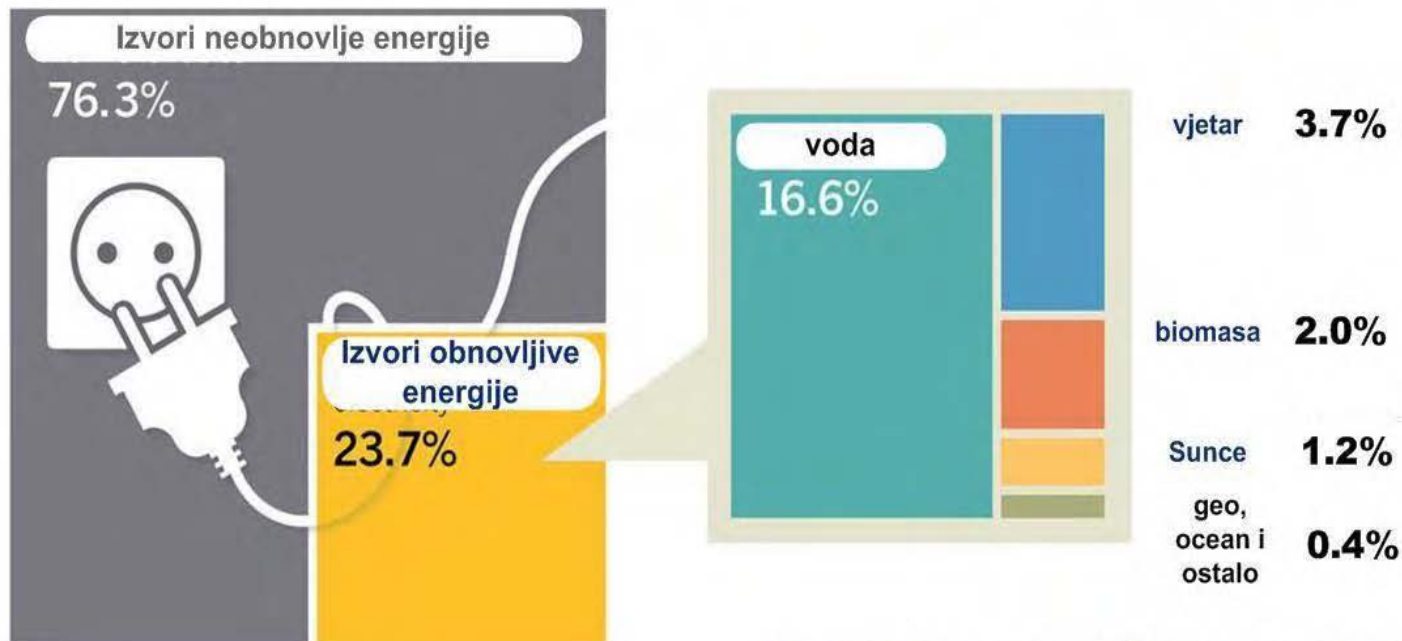
REN21 *Renewables 2016 Global Status Report*

## Gdje je energetska evolucija svijeta danas?

Mjerilo:

Globalni **udjel proizvodnje električne energije u 2015. g.** snagom OIE.

### Procijenjeni udjel OIE u globalnoj proizvodnji el.en. u 2015. godini

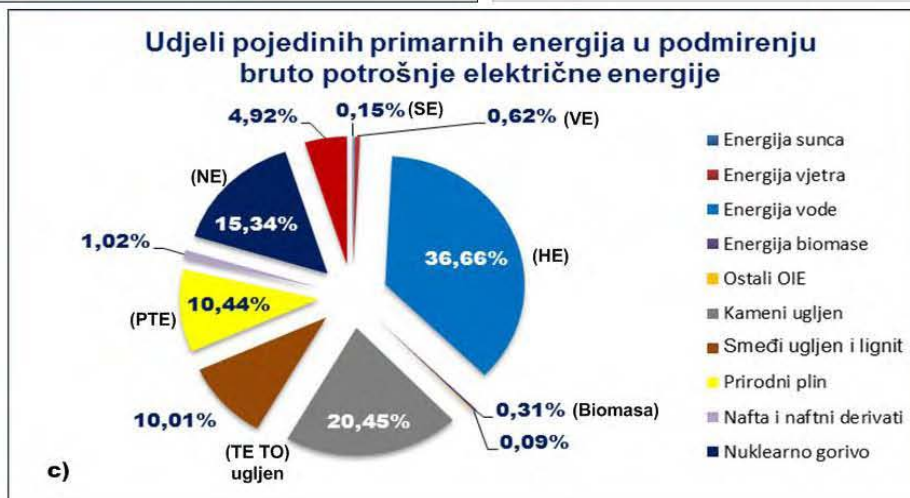
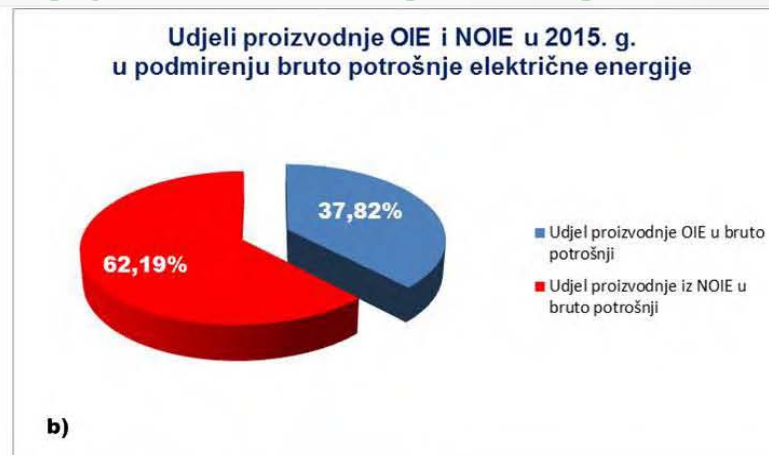


Izvor: REN21 Renewables 2016 Global Status Report

## Gdje je energetska evolucija u RH danas?

Mjerilo:

udjel **proizvodnje električne energije u 2015. g. snagom OIE.**



## Gdje je energetska evolucija danas u RH?

### Čitanje podataka:

- ➔ s motrišta udjela „zelene energije“ u ukupnoj godišnjoj proizvodnji el. energije u RH, stanje zadivljuje,
- ➔ 2. klimatski cilj Kyoto protokola, prema njemu OIE moraju 2020. godine podmirivati najmanje 20% bruto potrošnje energije krajnjih korisnika, sektor elektroenergetike u RH već danas obilato premašuje (37,82%!),
- ➔ danas su velike HE, također kolebljive proizvodnje, kamen temeljac udjela proizvodnje električne energije iz OIE u podmirenju bruto potrošnje u RH,
- ➔ korištenje energije vjetra i Sunca, zaglavnih kamenova energetske evolucije, u ovom trenutku su u RH na niskoj razini (posebno energije Sunca), bez obzira na trend rasta,
- ➔ ako se dovoljno ne grade OIE drugih vrsta primarne snage (vjetar, sunce, biomasa, bioplin, ...), neće se smanjivati udjel proizvodnje el.en. iz fosilnih goriva, a time *nit* dovoljno smanjivati razina emisije CO<sub>2</sub> u sektoru energetike pa tako *nit* zadovoljiti nove klimatske ciljeve.

## U kojem dijelu EES-a su embrioni energetske evolucije?

- ➔ Energetska evolucija se snažno razvija u distribucijskom sustavu, ona u njemu stanuje,
- ➔ **Preko 70% instalirane snage OIE pripada NN razini distribucijske mreže**, a među njima su pretežito elektrane male snage do najviše nekoliko stotina kW,
- ➔ **Približno 24% instalirane snage pripada pak SN razini**, a među njima su pretežito elektrane sa snagom od nekoliko stotina kW do nekoliko MW.
- ➔ Korištenje **energije vjetra i Sunčeve energije, jest zaglavni kamen energetske evolucije**, a s gledišta distribucijskog sustava utjecajni činitelji su i OIE s drugim vrstama primarne snage (bioplin, biomasa, voda, ...).
- ➔ Politika EU za smanjenje emisije stakleničkih plinova do 2030. ima cilj povećanja udjela OIE bez velikih HE u podmirenju neposredne potrošnje na  $\geq 27\%$  - to znači „zasićenje” distribucijske mreže s OIE.

## Raspršenost OIE u EES-u Hrvatske?

OIE postaju, za pogon distribucijskog sustava, utjecajem prevladavajuća sastavnica, što potvrđuje udjel broja priključenih OIE po naponskim razinama od 110 kV (velike HE na mreži 110 kV nisu obuhvaćene) do 0,4 kV.

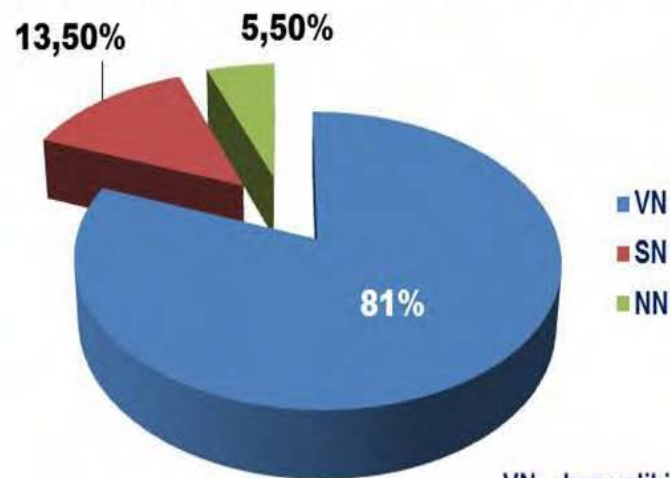


Udjel broja OIE  
po naponskim razinama mreže



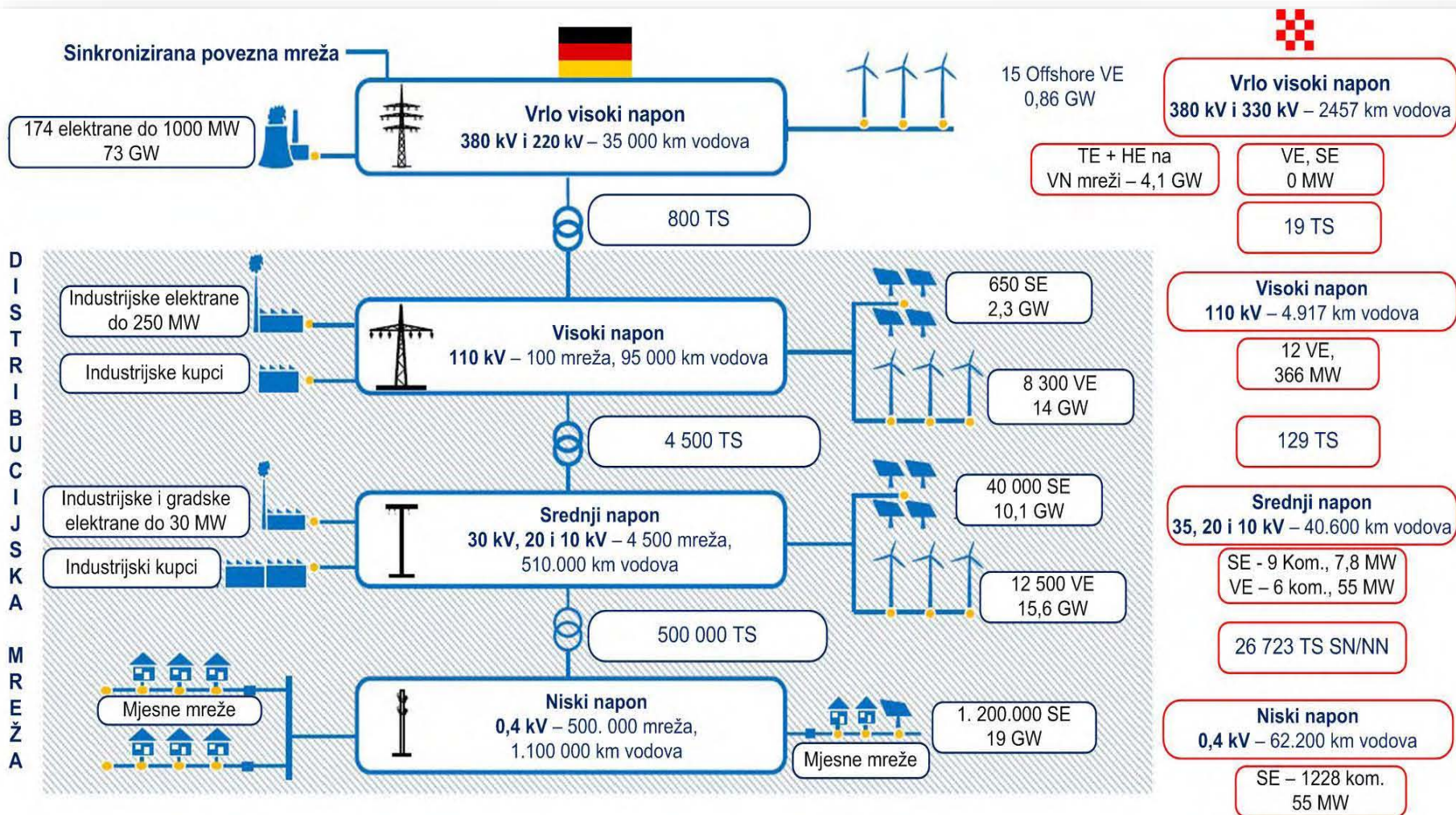
VN – bez velikih HE

Udjel instalirane snage OIE po naponskim  
razinama mreže u ukupno instaliranoj snazi



VN – bez velikih HE

# Priključenost SE i VE po naponskim razinama EES-a obuhvaćenog (🇩🇪) i na pragu energetske evolucije (🇷🇪)?



## Energetska evolucija i postojeći EES

- ➔ Filozofija energetske evolucije odbacuje pristup izbora prema načelu isključivosti, „ili – ili“, između OIE i elektrana na fosilna goriva, jer čovječanstvo će na svom dugom putu trebati dugo oboje.
- ➔ Kako bi ta sinergija dugo trajala, **mora se usporiti trošenje rezervi fosilnih goriva, a to je moguće povećanjem udjela OIE** u podmirenju potrošnje električne energije u EES.
- ➔ Uz prilagodbu EES-a energetskej evoluciji puno se toga stavlja na kocku, a među važnim značajkama opskrbe, sigurnost opskrbe.
- ➔ Neuspjeh filozofije energetske evolucije donio bi gospodarsku i društveno zastajanje do stvaranja plana za novo energetske doba i njegova ćudoređa.
- ➔ No ipak, bez dvojbe, danas se rizik mora preuzeti.
- ➔ **Kao snažan utjecajan ćimbenik, energetske evolucije prvo mijenja znaćajke pogona mreže.**

## Sadržaj

1. Uvod
- 2. Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža**
3. Vođenje, zaštita i automatizacija pod izazovima aktivne mreže
4. Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža
5. Zaključna motrišta
5. Literatura

## **2. Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža**

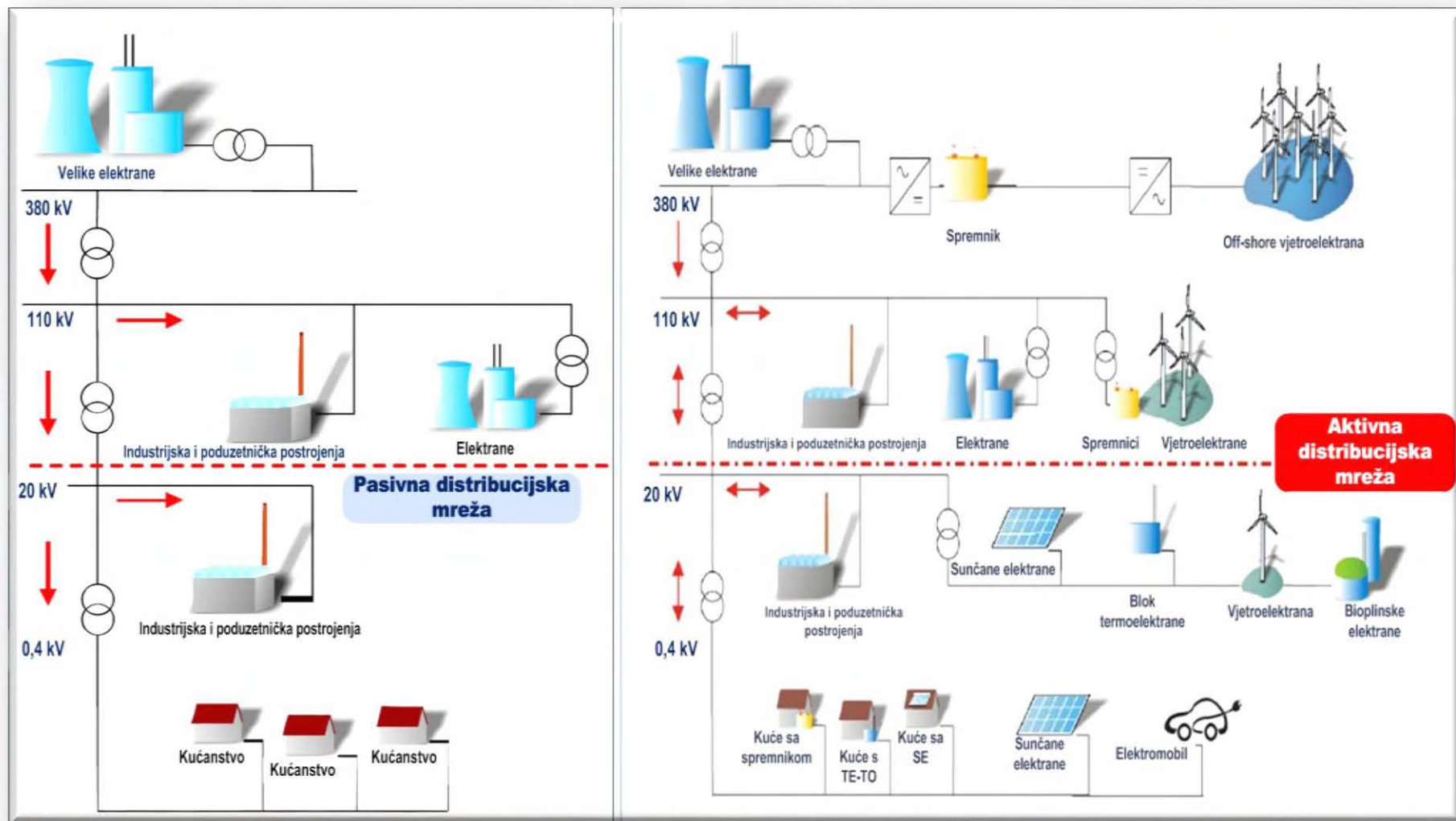
### **Što je pak aktivna distribucijska mreža?**

- ➔ **Aktivna distribucijska mreža je svaka distribucijska mreža u kojoj su korisnici mreže kupci i proizvođači električne energije, pri čemu su potonji tehnički i energetske najbolje objedinjeni s mrežom - izazov.**
- ➔ **Aktivna distribucijska mreža rađa se kroz pretvorbu klasičnog načela opskrbe električnom energijom: sustav centralne proizvodnje u prijenosnoj mreži i decentralizirane potrošnje u distribucijskim mrežama.**
- ➔ **Razina „aktivnosti“, brojnost i dinamičnost pogonskih događaja u mreži raste s većim brojem proizvodnih postrojenja različitih značajki, raspršenih u proizvoljnim točkama njenih sastavnica.**
- ➔ **Aktivna mreža ima neke nove fizikalne značajke od kojih se vrlo često, kao znak prepoznavanja, ističe dvosmjerni tok djelatne električne energije kroz mrežu i kroz transformatore na sučeljima naponskih razina mreže, kao i tokovi struje kvara mrežom u odnosu na mjesto kvara.**
- ➔ **Aktivna mreža je mreža sa složenim značajkama sastavnica i pogona.**

## **Put razvitka od pasivnih do aktivnih mreža – izazov**



## Pasivna i aktivna distribucijska mreža



## **Je li aktivna mreža neupravljana posljedica ili cilj?**

- ➔ Kod neupravljanja najboljim rješenjima objedinjavanja elektrana s mrežom i kakvoćom opskrbe, mreža bi i dalje, neizbježno, održavala neke značajke aktivne mreže, ali s brojnim neželjenim stanjima.
- ➔ Kako je distribuirana proizvodnja iz elektrana na OIE naše opredjeljenje, neizbježno je i **aktivna distribucijska mreža cilj**.
- ➔ Aktivna mreža je neizbježna, a pristup ovladavanju svih izazova i zahtjeva je njihovo stručno razumijevanje,
- ➔ **Aktivna mreža je neizbježni embrion uspostave napredne distribucijske mreže** koja se mora početi stvarati u ranoj fazi razvitka njene aktivne prirode primjenom naprednih rješenja i inovacija.
- ➔ Pored promjene paradigme mreže, nezaobilazna jest i promjena paradigme funkcija operatora mreže, a u skladu s načelom: **aktivna mreža traži aktivnog operatora**.

## **Izazovi slabije ili snažnije aktivne mreže**

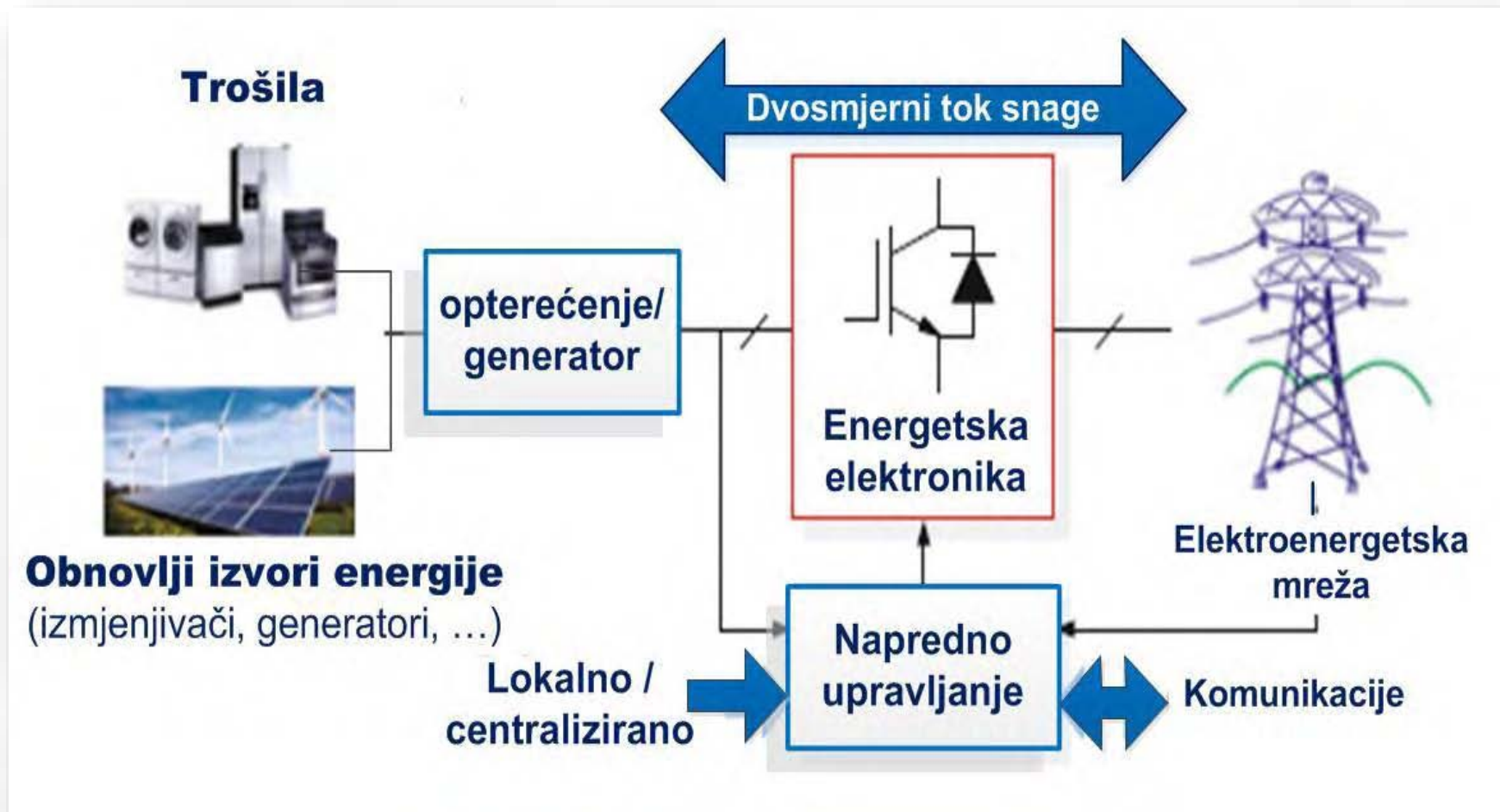
Područja izazova, tehničke i/ili poslovne prirode, pogona aktivne mreža, :

- **pristup mreži** – omogućiti razvidan i nepristran pristup mreži korisniku mreže svake vrste, potreba stalna prilagodba pravila,
- **korištenje mreže** – osigurati visoku razinu kakvoće opskrbe, u uvjetima dvosmjernih i kolebljivih tokova snage,
- **vođenje pogona mreže** – osigurati učinkovitost rada, uravnoteženost potreba korisnika sa sposobnosti mreže, potporu stabilnosti cijelog EES-a,
- **ponašanje korisnika mreže** – prilagodba potrošnje kupaca tržišnoj cijeni energije i ravnoteži s proizvodnjom, a proizvođača raspoloživom kapacitetu mreže i stanju bitnih značajki mreže (napon, opterećenje, ...).

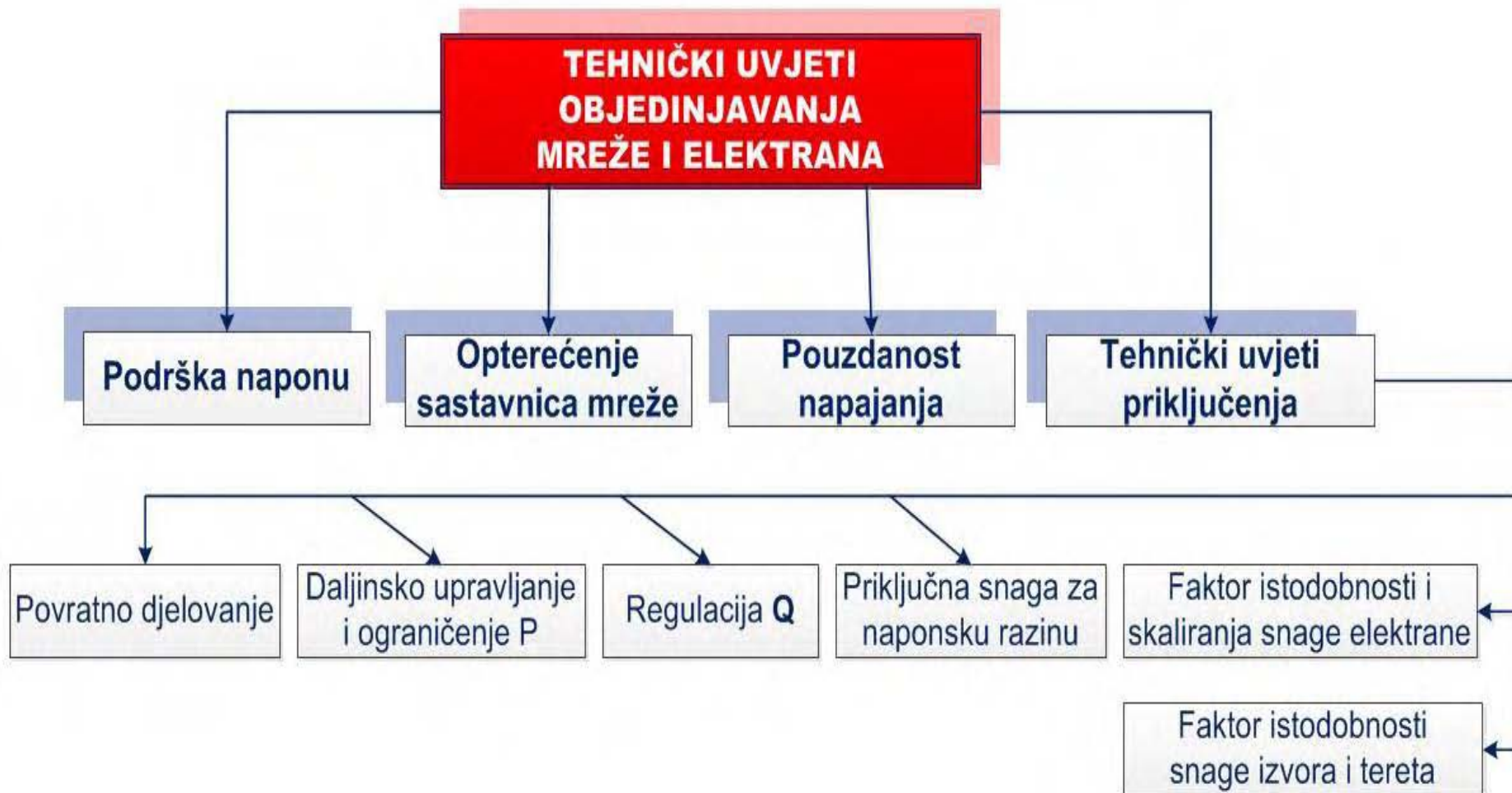
Izazovi tehničke prirode su u fizikalnom smislu vrlo različiti, neki nisu, a neki jesu, potpuna nepoznanica dosadašnjeg pogona DEES-a, ali i EES-a.

## Izazovi od posebni značajki novih sastavnica mreže

Energetska elektronika sve u dilj mreže – generatori, trošila, ...



## Presudan odgovor izazovima: Pravila objedinjavanja i pogona elektrana s mrežom



## Odgovor izazovima – **klasični ili inovativni postupci**

- ➔ **U svakom DEES-u treba prepoznati izazov** i prosuditi o djelotvornosti klasičnih, te ih usporediti s **inovativnim odgovorima** izazovima.
- ➔ ODS se može **prikloniti klasičnim postupcima** osiguravanja kakvoće opskrbe koji mogu biti gospodarski opravdani. Među njima su:
  - izgradnja/proširenje kapaciteta trafostanica VN/SN ili SN/SN,
  - izgradnja novih trafostanica SN/NN, zamjena transformatora većom snagom,
  - novi vod (danas najčešće kabel) u SN i NN mreži
  - zamjena postojećih nadzemnih, kablskim vodovima i ...
- ➔ Pokazuje se kako **klasični postupci najčešće imaju svoja tehnička ograničenja kao i vrijeme trajanja.**

Najčešći činitelji narečenih ograničenja su: *gustoća i instalirana snaga, promjenljivost i nepredvidljivost proizvodnje, te mogućnost regulacije značajki pogona distribuiranih izvora.*

## Odgovor izazovima – **klasični ili inovativni postupci**

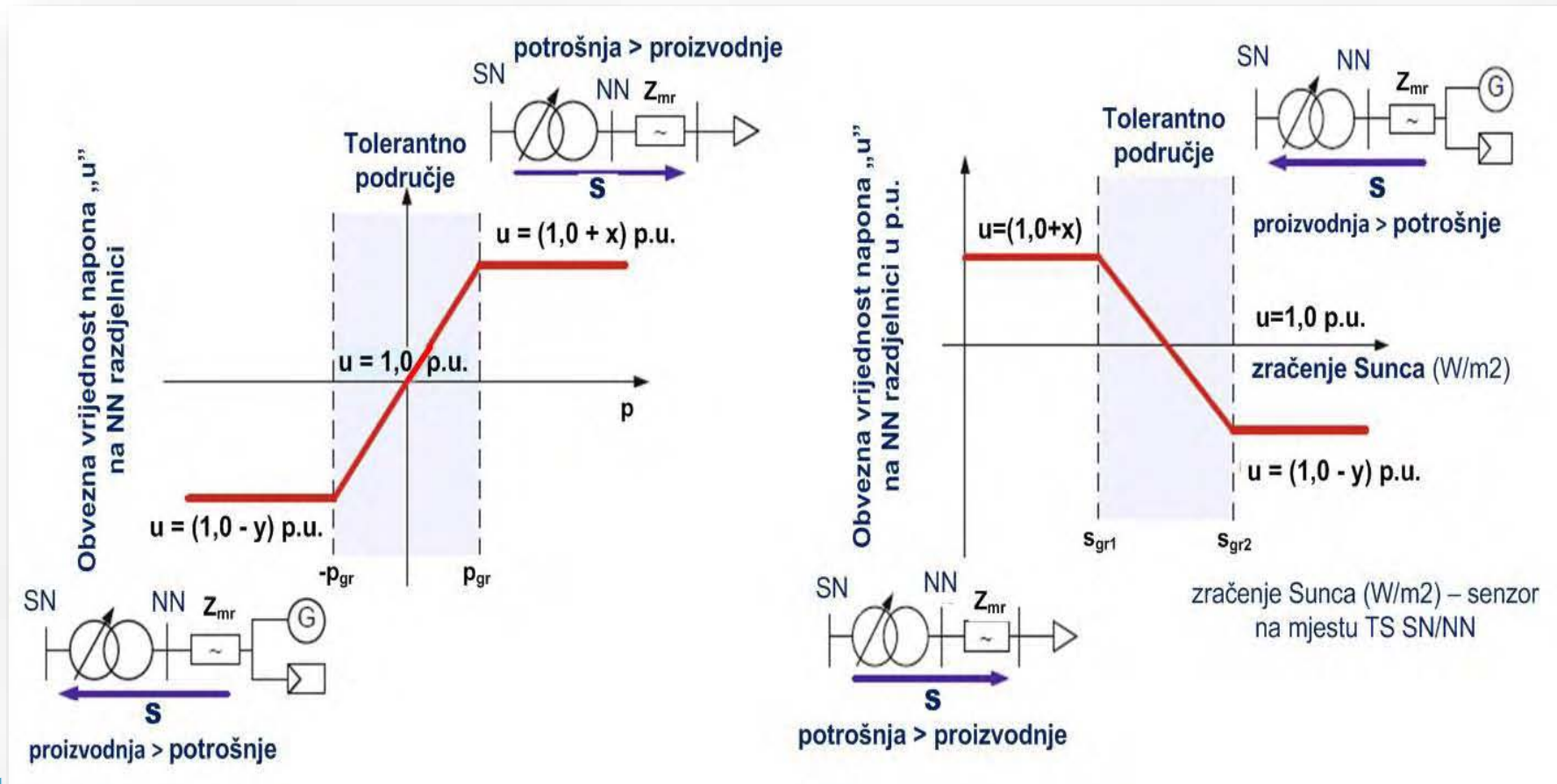
- ➔ Stručnjaci ODS-a moraju **vladati stanjem inovativnih odgovora** i za njih usvojiti djelotvorne postupke kao što su:
  - dinamička regulacija izlaznog napona transformatora VN/SN i SN/NN,
  - podrška naponu generatora (izmjenjivača) po funkciji  $Q(U)$ ,  $\cos \phi (P)$ ,
  - upravljanje tokovima i raspodjelom jalove snage – podrška elektrana,
  - uporaba uzdužne regulacije napona u vodu,
  - koordinirana regulacija napona,
  - uporaba spremnika električne energije,
  - upravljanje potrošnjom (uravnoteženje, tržišni zahtjevi, ...),
  - održivi otočni pogon dijela mreže,
  - pružanje usluga sustavu, ...
- ➔ Gotovo svaki inovativni odgovor, napredno rješenje, ima više postupaka s kojim se, ovisno od posebnih značajki izazova, rješava problem.
- ➔ Neki inovativni odgovori su neizbježni i kod primjene klasičnih rješenja (npr. uporaba spremnika, ...)

## Primjeri primjene i djelovanja naprednih postupaka

Naziv naprednog postupka	Djelovanje		Naponska razina aktivne mreže			
	Napon	Rasterećenje	VN	SN	NN	Više razina/ povratno djelovanje
Upravljanje s Q	x		x	x	x	x
Regulacija napona – sabimice TS	x			x	x	x
Regulacija napona - trafo SN/NN	x			x	x	x
Regulacija napona - uzdužna u vodu	x			x	x	(x)
Statičko upravljanje napajanjem	x	x	(x)	(x)	x	x
Dinamičko upravljanje napajanjem	x	x	x	x	x	x
Potpora mreži spremnikom	x	x	(x)	(x)	(x)	x
Regionalna tržišna prilagodljivost	x	x	x	x	x	x
Smanjenje snage kod kvara		x	x			
Nadzor vodova		x	x			
Decentralizirani sustav automatizacije mreže	Preduvjet za primjenu različitih tehnologija			x	x	x

## Primjeri naprednih postupaka podrške naponu mreže

Dinamičko upravljanje naponom NN sabirnica pomoću regulacijskog trafoa SN/NN koristeći smjer toka snage i jačinu zračenja Sunca kao mjerila regulacije (jedno/višesenzorski sustavi regulacije).



## Inovativni odgovori i napredne mreže idu ruku pod ruku

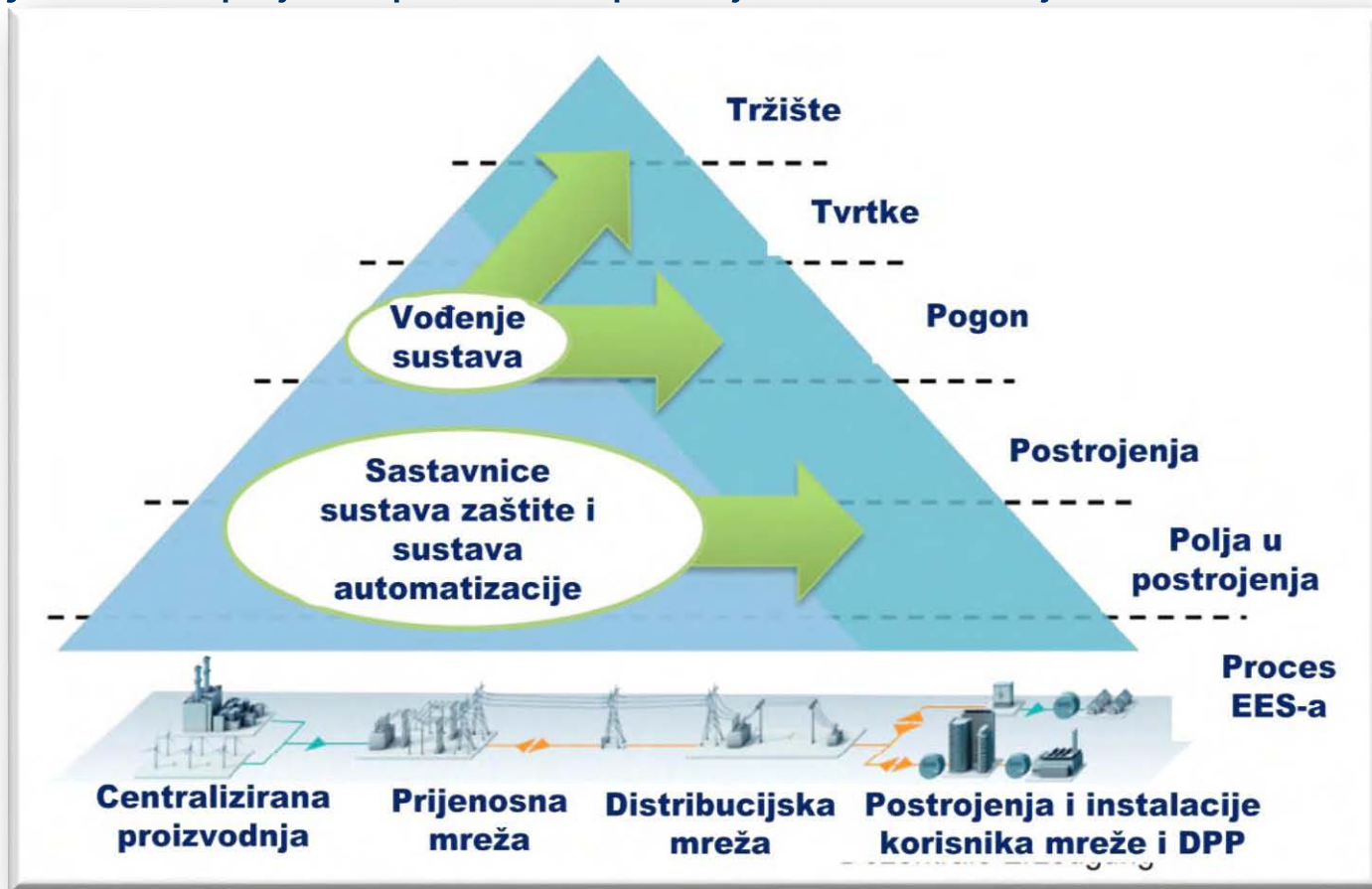
- ➔ Energetska evolucija i njeni izazovi kroz aktivne mreže, opravdavaju i daju smisao naprednim mrežama,
- ➔ **Bez naprednih inovacija učinkovit pogon aktivne mreže je neprovediv, a time i visoka razina udjela OIE u podmirenju bruto potrošnje neostvariva.**
- ➔ Napredne mreže se više ne promatraju kao tehničke tvorevine utemeljene na tehnološkim promjenama, već na potrebi ostvarenja velikog cilja – energetske evolucije.
- ➔ Energetska evolucija u RH u stanju je embriona, a distribucijska mreža, u ovom trenutku, jest bez važnih značajki napredne mreže pa primjena naprednih tehničkih rješenja može odgovoriti svim izazovima.
- ➔ Potpuno otvaranje tržišta će promijeniti odnose u korist neraskidivih veza između mreže i tržišta pa nam je već sad **potrebno krenuti stvaranju proaktivne tehničke i tržišne platforme napredne mreže.**

## Sadržaj

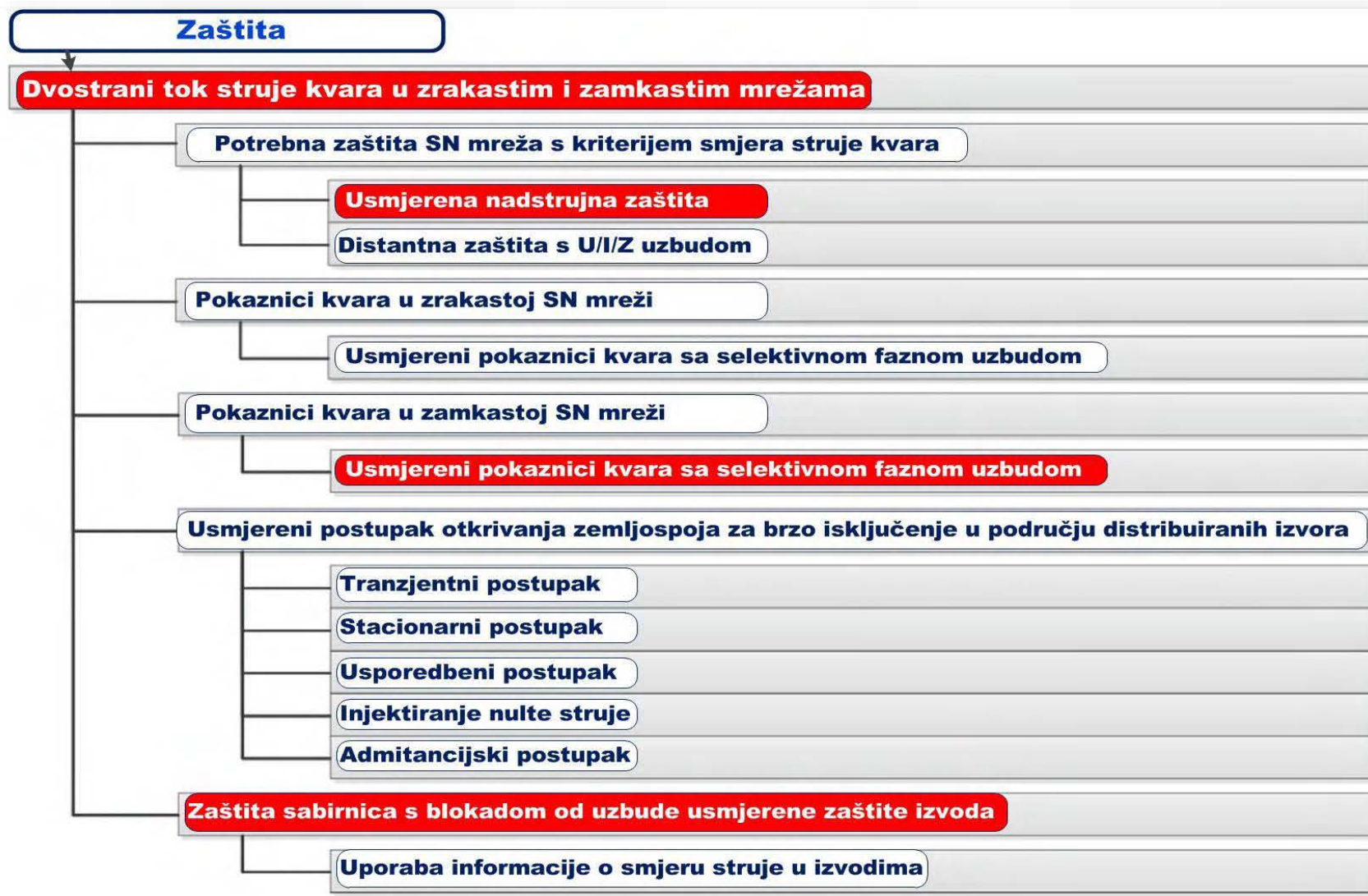
1. Uvod
2. Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža
- 3. Vođenje, zaštita i automatizacija pod izazovima aktivne mreže**
4. Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža
5. Zaključna motrišta
5. Literatura

## Izazovi aktivnih mreža za ustaljene funkcije pogona

Ustaljene funkcije u distribucijskom sustavu, dakako i druge, su izazvane značajkama aktivne mreže, te je potrebno odgovoriti njihovom prilagodbom, unaprjeđenjem, a iz prijeke potrebe i promjenom filozofije, ....

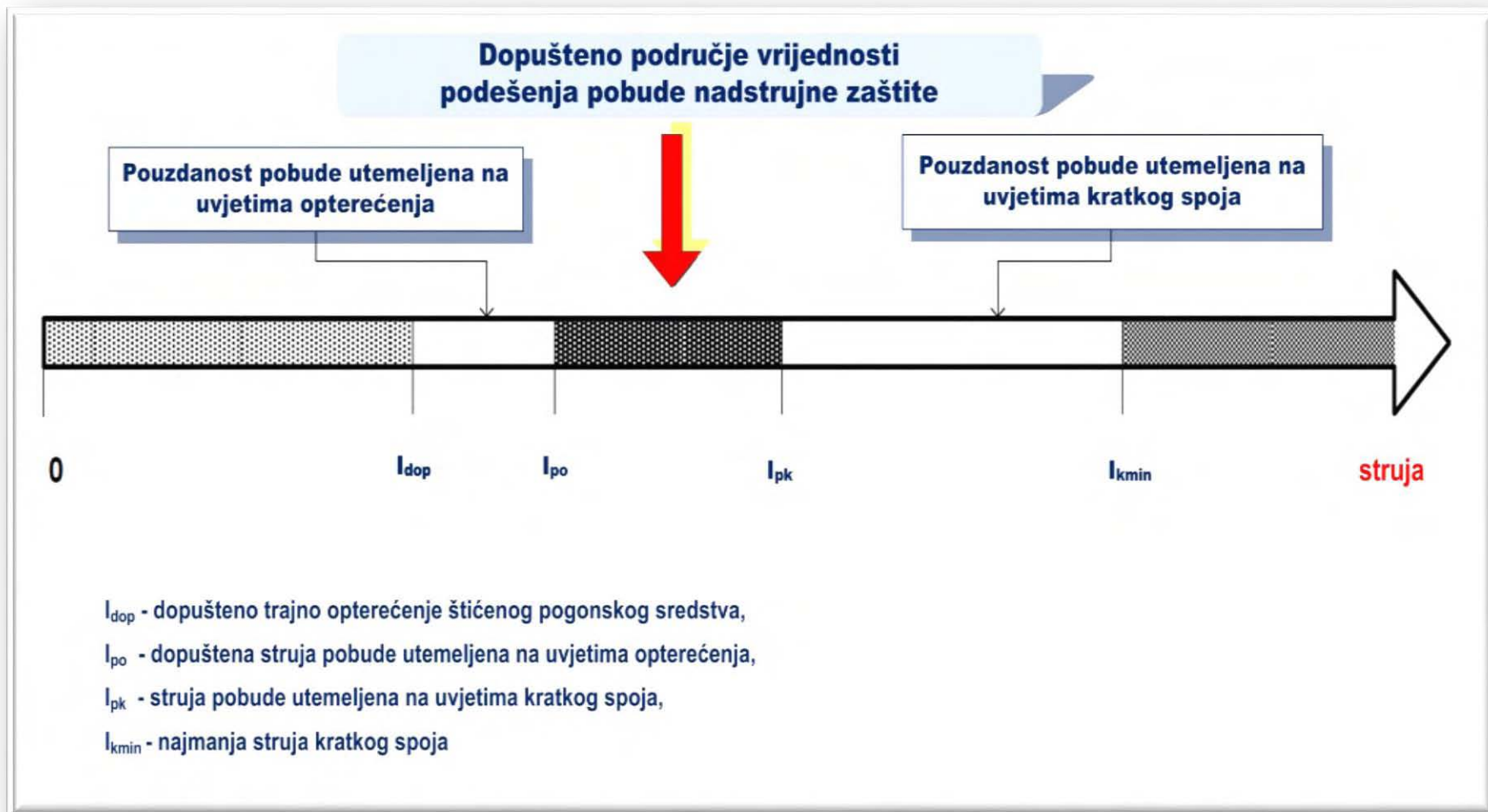


## Izazovi aktivnih mreža – funkcije zaštite



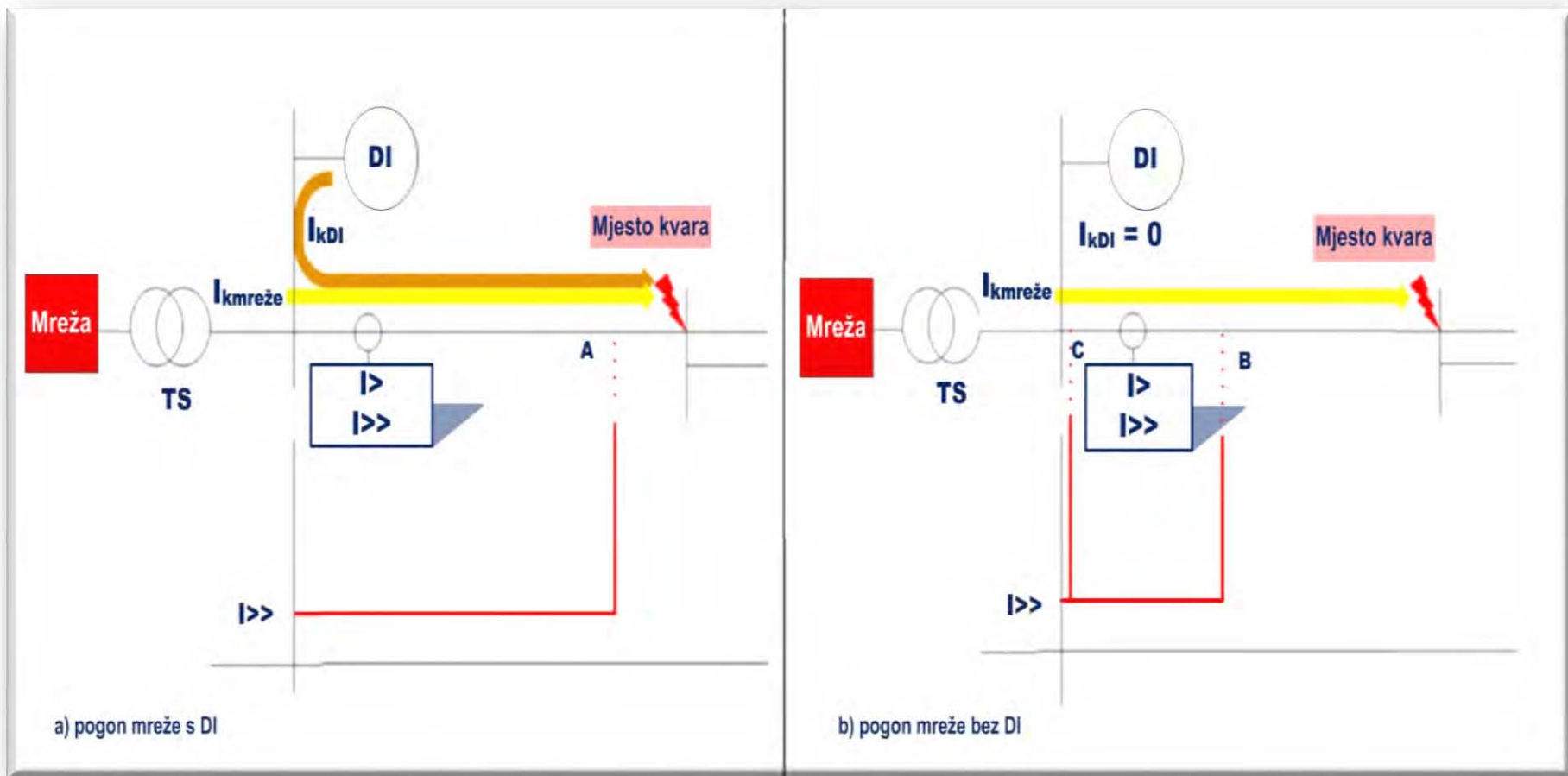
## Smanjenje vrijednosti struje opterećenja i kratkog spoja

Pouzdanost i sigurnost pobude >I zaštite – promjenjivi tokovi snage, potiskivanje struje kvara.



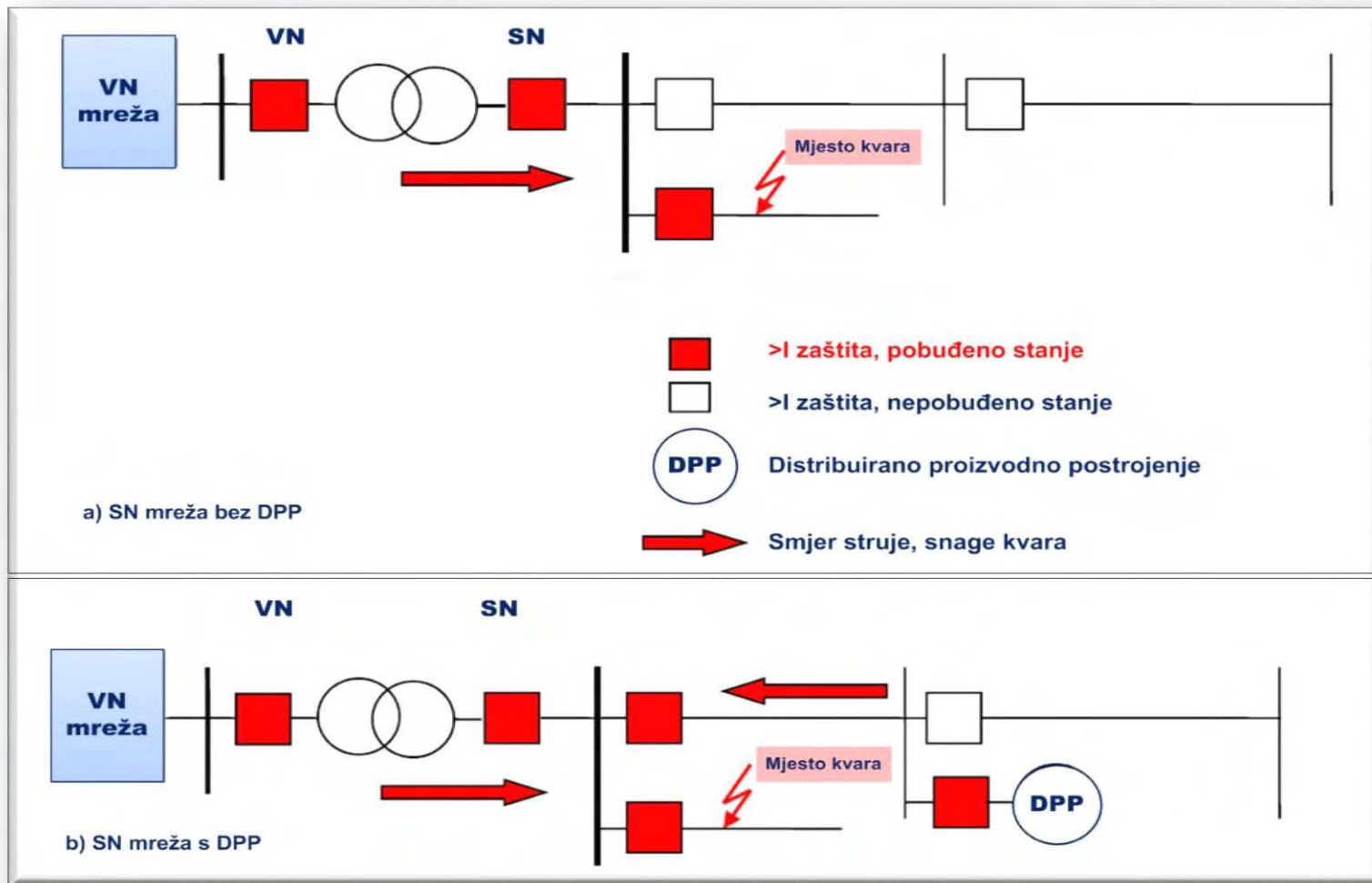
## Ponašanje >>I zaštite kod doprinosa struji KS udjelom elektrane

Primjer utjecaja na doseg kratkospojne zaštitu I>>.



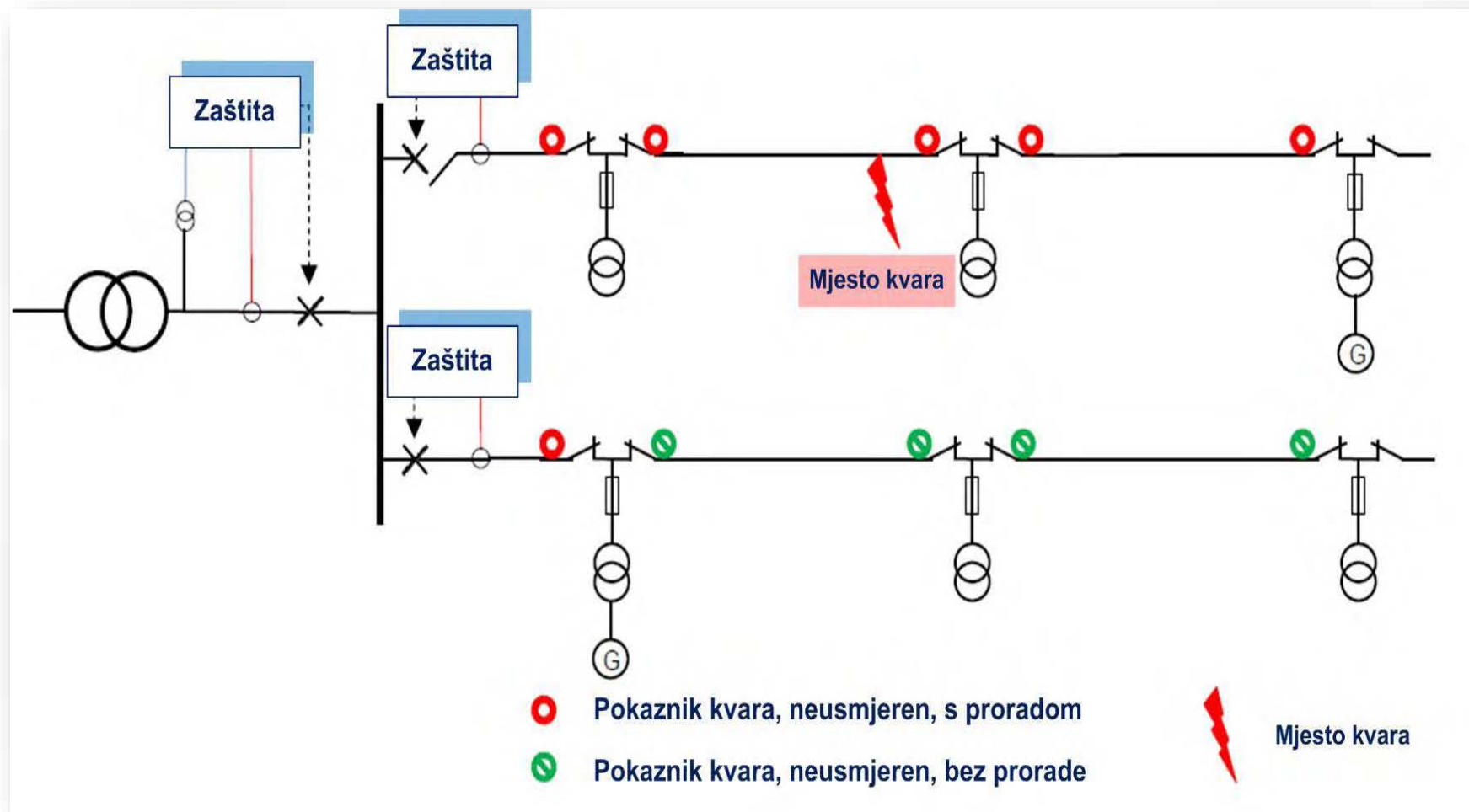
## Dvostrano napajanje strujom KS u zrakastoj SN mreži

### Dosljedna uporaba usmjerene >I zaštite u SN mreži



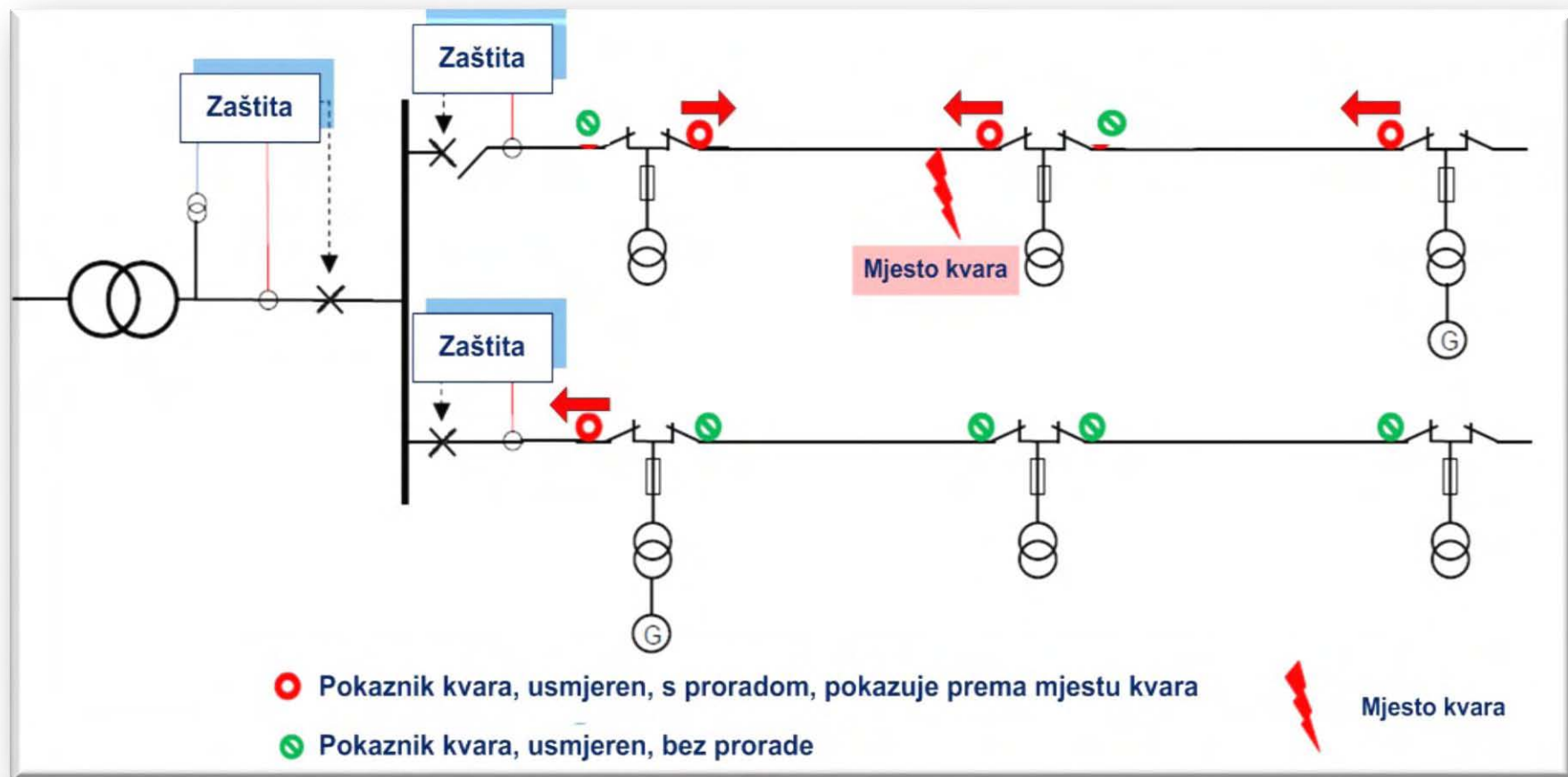
## Uporaba neusmjerenih pokaznika kvara **u zrakastoj SN mreži s elektranama**

**Odziv pokaznika funkciji vođenja daje krivu sliku o dijelu mreže u kvaru!**



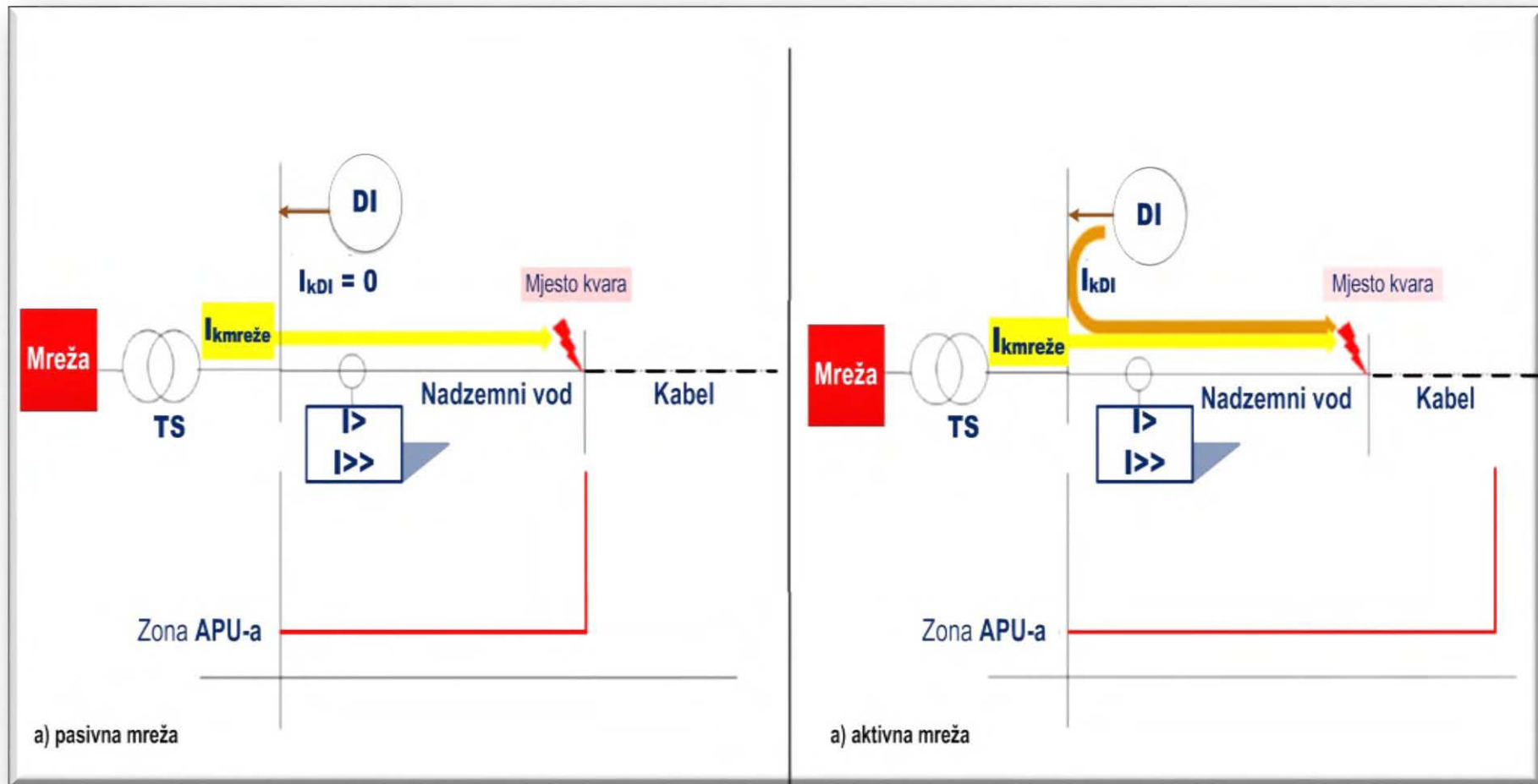
## Uporaba usmjerenih pokaznika kvara u zrakastoj SN mreži s elektranama

Usmjerenjem i selektivnom faznom uzбудom, poništavaju se negativni učinci napajanja kvara iz elektrane na prepoznavanje odsječka voda u kvaru.



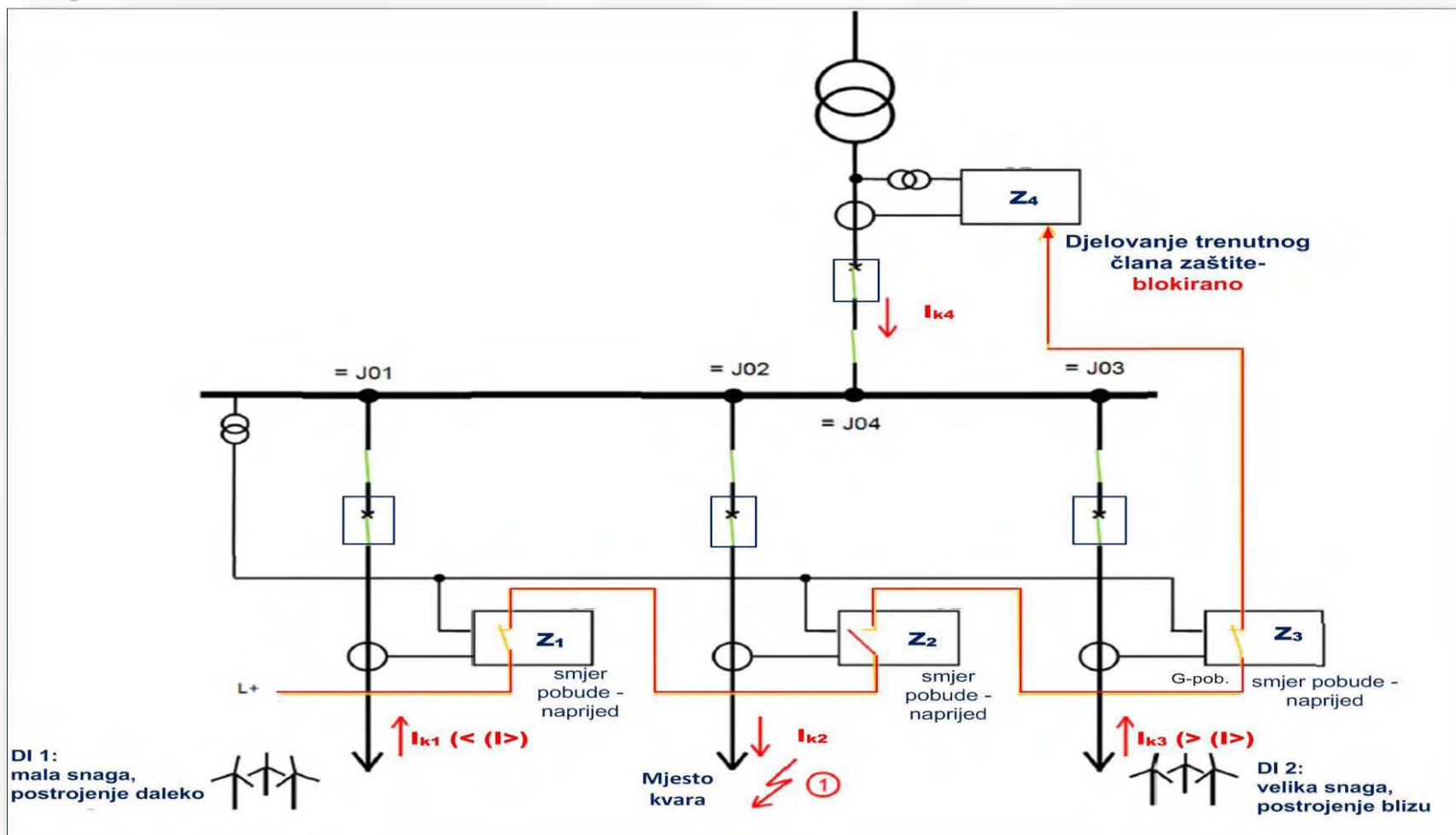
## Utjecaj elektrana na povećanje struje KS na rad APU-a

### Primjer utjecaja kod primjene APU-a na mješovitom dalekovodu



## Zaštita sabirnica s blokadom od uzbude usmjerene zaštite izvoda

Utjecaj elektrana na uzbudu zaštite sabirnica kod kvara u mreži.



## Aktivne mreže - preporuke za zaštitu od smetnji i kvarova

- ➔ U SN mreži **uporaba usmjerene zaštite** od KS i zemljospojeva.
- ➔ Dodatna povratna blokada s informacijom o smjeru.
- ➔ Provjera utjecaja izgradnje mreže i **priključenje elektrana na pouzdanost pobude i doseg zaštite u SN mreži**.
- ➔ Osigurati djelotvoran sustav rezervne zaštite, a na mjestima i uvođenje zaštite od zatajenja prekidača.
- ➔ Nadzor utjecaja toka jalove snage na ograničenje djelovanja zaštita koje za pobudu koriste postupak ovisan o faznom kutu pobudnih veličina.
- ➔ Za praktične potrebe proračuna podešenja zaštite koristiti programe tranzijentnih, dinamičkih i kvazistacionarnih proračuna tokova struja kvara.
- ➔ Prema potrebi, **hrabro uvoditi zaštite** s do sada u DEES-u ne primjenjivanim kriterijem djelovanja (uzdužna  $\Delta I$ , usporedba signala, ...).
- ➔ Kod elektrana velike snage s frekvencijskim izmjenjivačima provjeriti okolnosti tranzijentnih stanja od utjecaja na zaštitu.
- ➔ U mreži s frekventnom zaštitom, provjeriti stanje viših harmonijskih titraja u naponu i njihov mogući utjecaj na ove zaštite.

## Zahtjevi, rješenja i preporuke za funkcije vođenja



## Zahtjevi, rješenja i preporuke za funkcije vođenja



## Ključna pitanja pogona elektrana u aktivnoj mreži

### Jačanje uloge aktivne distribucijske mreže

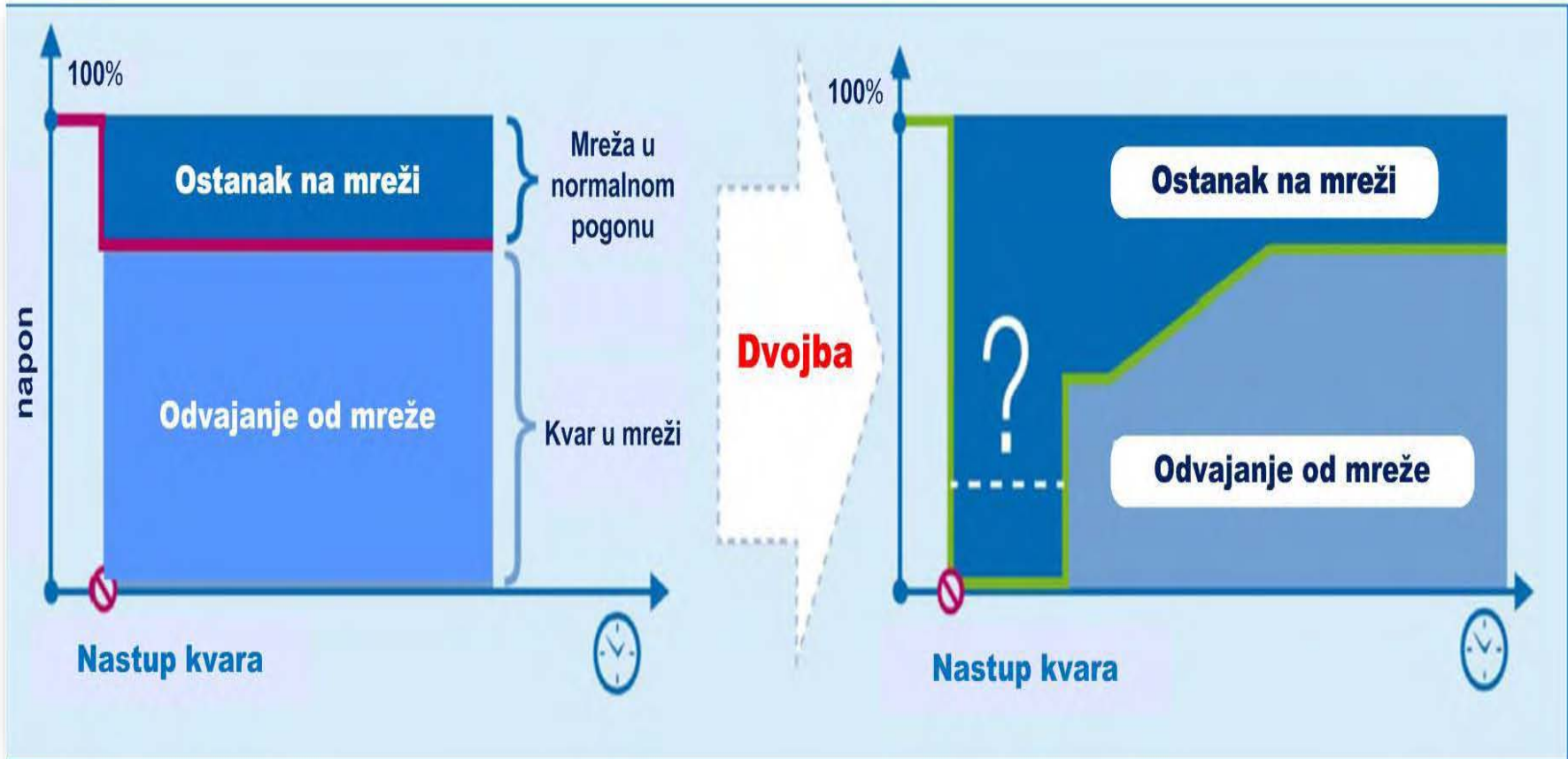
- ➔ SN i NN aktivna mreža s brojnim elektranama ukupne snage mjerodavne za EES, od bitnog je značenja za **stabilnost pogona prijenosne mreže**.
- ➔ Utjecaj kratkih spojeva u prijenosnoj mreži najviših napona na **gubitak napajanja iz aktivne distribucijske mreže se povećao**.

### Posljedica – zahtjevi prema elektranama

- ➔ Jačanjem uloge aktivne mreže moraju se proširiti zahtjevi prema ponašanju elektrana u pogonu distribucijskog sustava, a ključni su :
  - ✚ ponašanje elektrana u slučaju kvara *u prijenosnoj mreži*,
  - ✚ otočni pogon elektrana s dijelom mreže i
  - ✚ podrška naponu mreže.
- ➔ Sposobnost proizvodnih jedinica elektrana, napose izmjenjivača kao statičkih generatora, danas je takva da se mogu prilagoditi mnogim pogonskim zahtjevima. Otuda i dvojbe za ODS, ali i za HOPS.

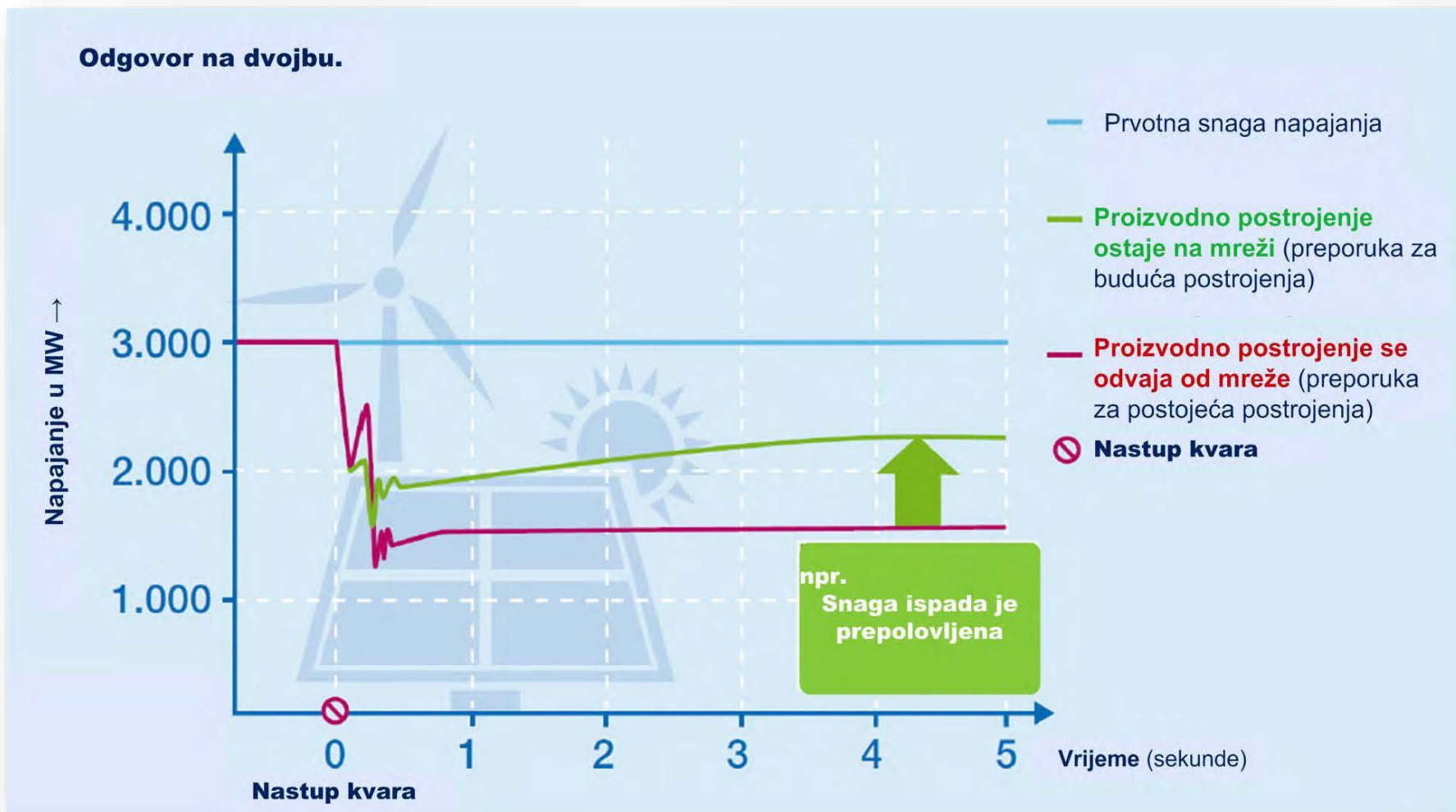
## Zahtjevi za ponašanje elektrana u slučaju kvara

Kod propada napona u aktivnoj distribucijskoj mreži ispod određene vrijednosti bezuvjetno odvojiti sve elektrane ili kod dubokih kratkotrajnih propada elektrane trebaju ostati na mreži, dvojba je sad?



## Zahtjevi za ponašanje elektrana u slučaju kvara

Danas odgovor ne podržava bezuvjetno odvajanje elektrane od mreže!



## Otočni pogon elektrane s dijelom mreže

### Što je pitanje svih pitanja otočnog pogona elektrane s dijelom mreže?

- ➔ Dok se još nedavno za sve pogonske slučajeve i svjesne razloge oblikovanja otočnog pogona odbacivala svaka mogućnost, danas se zagovara selektivan pristup, **filozofija održivosti pod nerizičnim uvjetima i u prijekoj potrebi** te to više nije tako heretičko pitanje.
- ➔ Otočni pogon elektrane s dijelom mreže valja razlikovati u pogledu uvjeta nastanka i njegovog održanja:
  - nakon isključenja kvara u mreži djelovanjem zaštite u mrežnom izvoru uz primjenu APU-a i
  - oblikovanje otočnog pogona u funkciji opskrbe el.en. u uvjetima dugotrajnog izostanka napajanja iz mreže.
- ➔ Otočni pogon elektrane(a) s dijelom mreže pod kvarom u mreži mora dovesti do odvajanje elektrane od mreže **bez obzira na uporabu ili ne APU-a.**
- ➔ Otočni pogon elektrane(a) s dijelom mreže pod nerizičnim tehničkim uvjetima postaje pravno pitanje odgovornosti o **kakvoći opskrbe.**

## Otočni pogon elektrane s dijelom mreže

### Vjerojatnost stabilnog i održivog otočnog pogona

- ➔ Iz mnogih istraživanja u mreži može se zaključiti kako su uvjeti za stvaranje spontanog stabilnog otočnog pogona (stalna ravnoteža proizvodnje i potrošnje pri nazivnom naponu i frekvenciji) teški, a vjerojatnost održanja stabilnog otočnog pogona relativno mala.
- ➔ Vjerojatnost održivosti ovisi o konkretnoj mreži i potpunosti mreže s izvorima različitih pogonskih osobina,
- ➔ Mnoga se istraživanja upravo usredotočuju na takva pitanja, a provedena imaju zaključke koji međusobno odstupaju. No u nečem su oni ipak podudarni, a to je:
  - ➔ vjerojatnost oblikovanja otočnog pogona dijelova mreže s izvorima je **prilično stvarna** i
  - ➔ vjerojatnost stabilnih pogonskih uvjeta je **u pravilu mala**,
  - ➔ svaki primjer mogućeg otočnog pogona treba **promatrati pojedinačno**.

## Otočni pogon elektrane s dijelom mreže

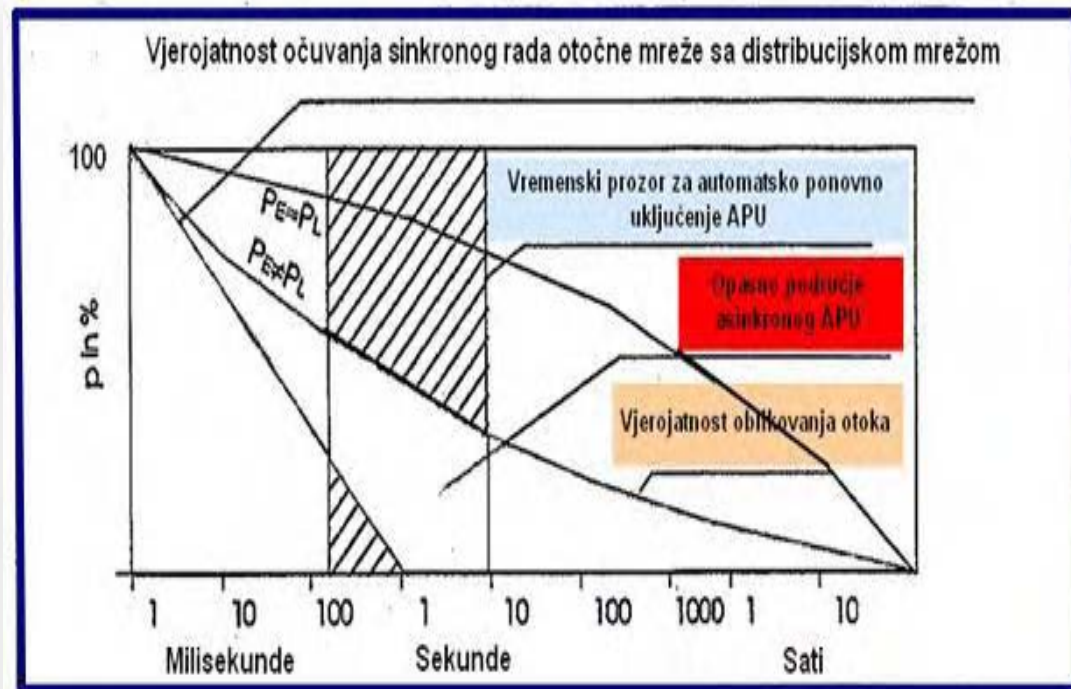
- ➔ Nedvojbeno utvrditi mjerila što to podrazumijevamo pod željeni, odnosno neželjeni otočni pogon.
- ➔ Sa željenim treba biti oprezan, a **od neželjenog se 100% osigurati!**



## Otočni pogon elektrane s dijelom mreže

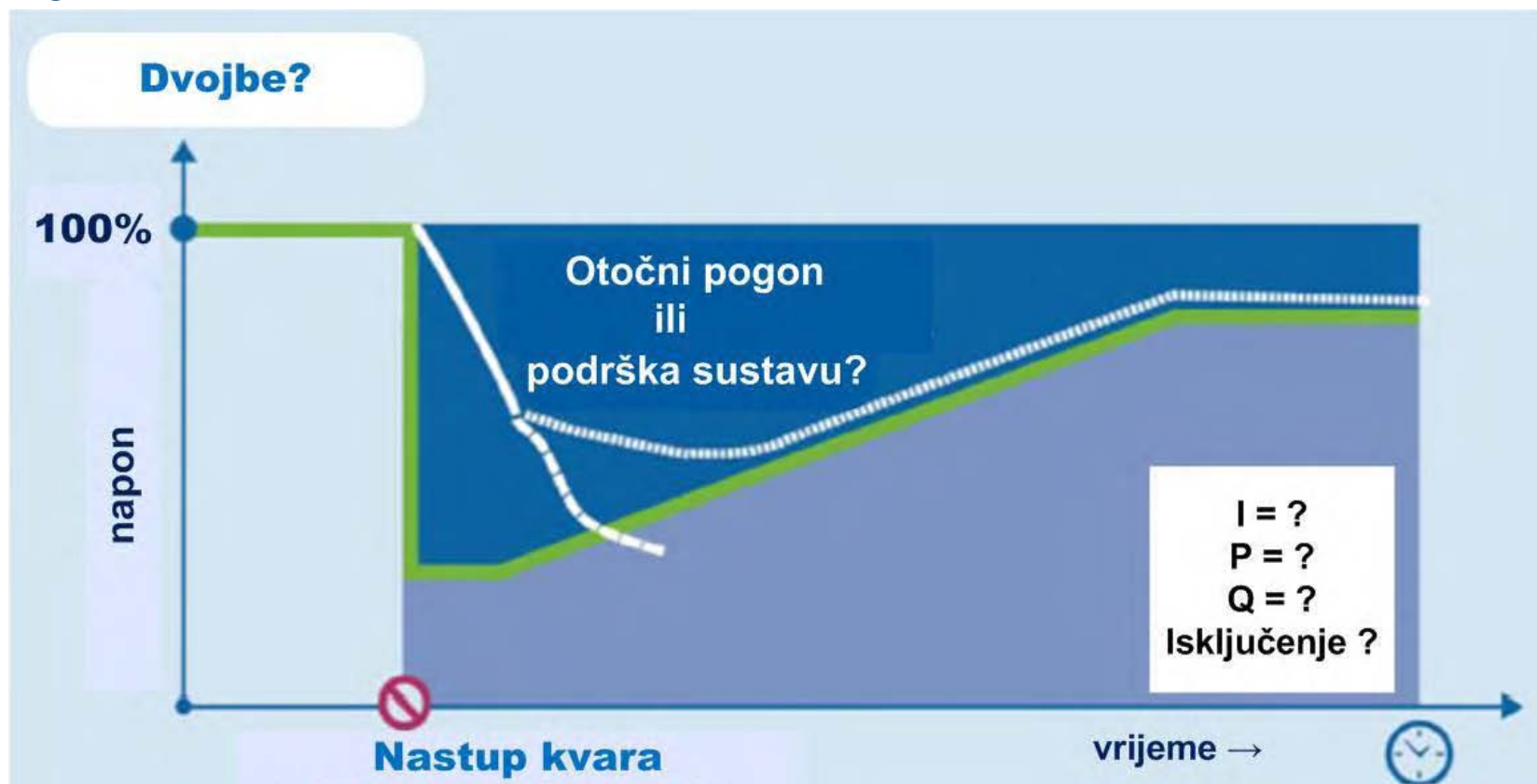
### Vjerojatnost očuvanja sinkronog rada otočne i distribucijske mreže

- ➔ Vjerojatnost očuvanja sinkronog rada otočne s distribucijskom mrežom pri APU sa strane mreže, nakon vremena BN stanke, je mala i nakon 100 ms ne postoji. Razlike faznog položaja ovisi o vremenu BN stanke.
- ➔ Ugroza elektrane APU-om može se isključiti uporabom provjere sinkronizma.
- ➔ Stabilan otočni pogon bez kvara u mreži ovisi o odnosu snage elektrane i moguće regulacije, te o potrošnji.
- ➔ **Neizostavno:** mora se prepoznati nastanak i stanje otočnog pogona.



## Dvojbe oko otočnog pogona elektrane s dijelom mreže

- ➔ Je li moguća istodobna dinamička podrška mreži i prepoznavanje otočnog pogona elektrane?.
- ➔ Može li se doskora još povećati sposobnost otkrivanja neželjenog otočnog pogona?

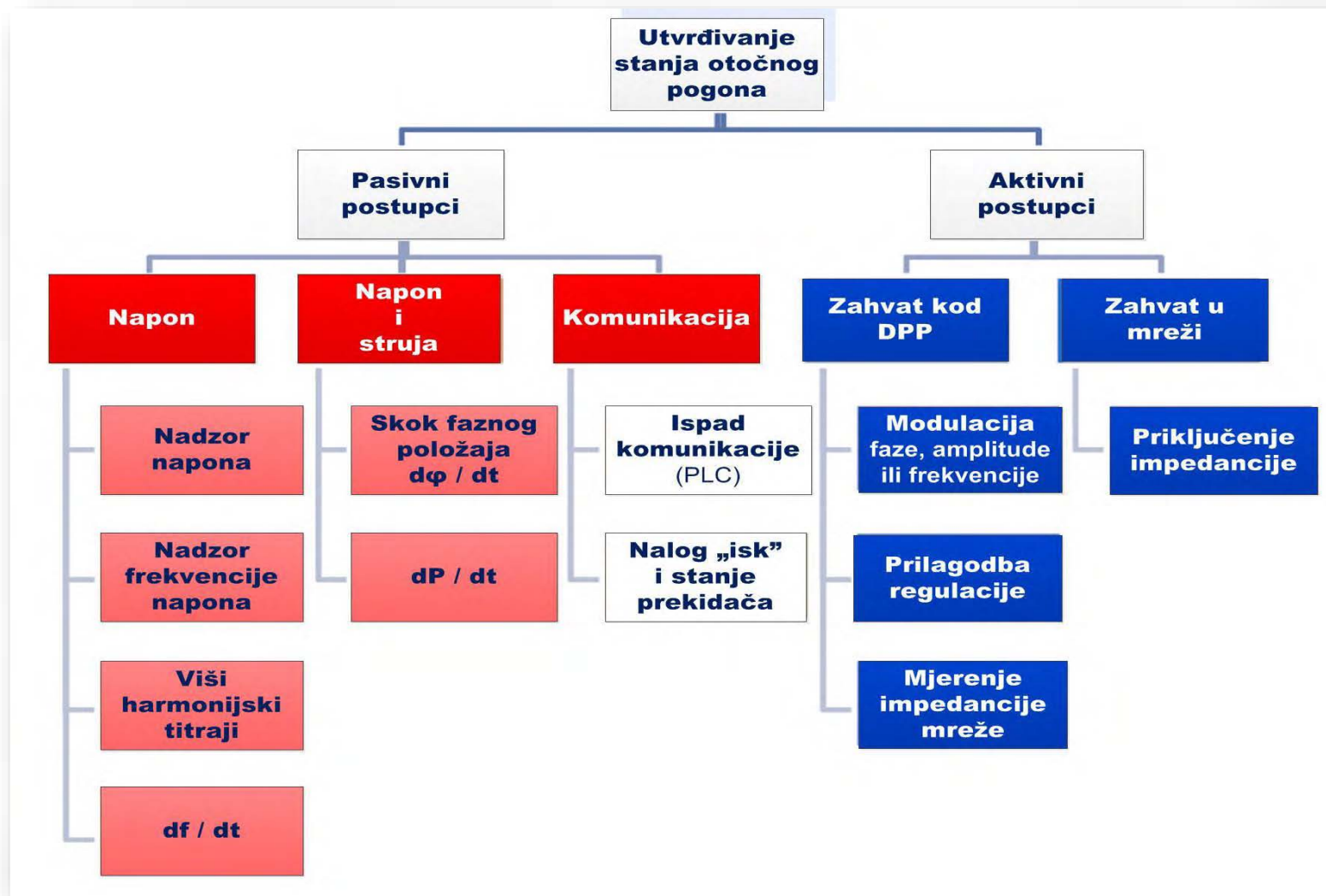


## Prepoznavanje otočnog rada i dinamička podrška mreži

- ➔ Ima opravdanja zastati s postupkom otkrivanja otočnog pogona tijekom dinamičke potpore mreži jer se potonja preporučuje za provedbu.
- ➔ Oblikovanje otočnog pogona pogrešno je tumačiti kao podršku mreži tijekom kvara, ako prioritet ima dinamička podrška mreži.

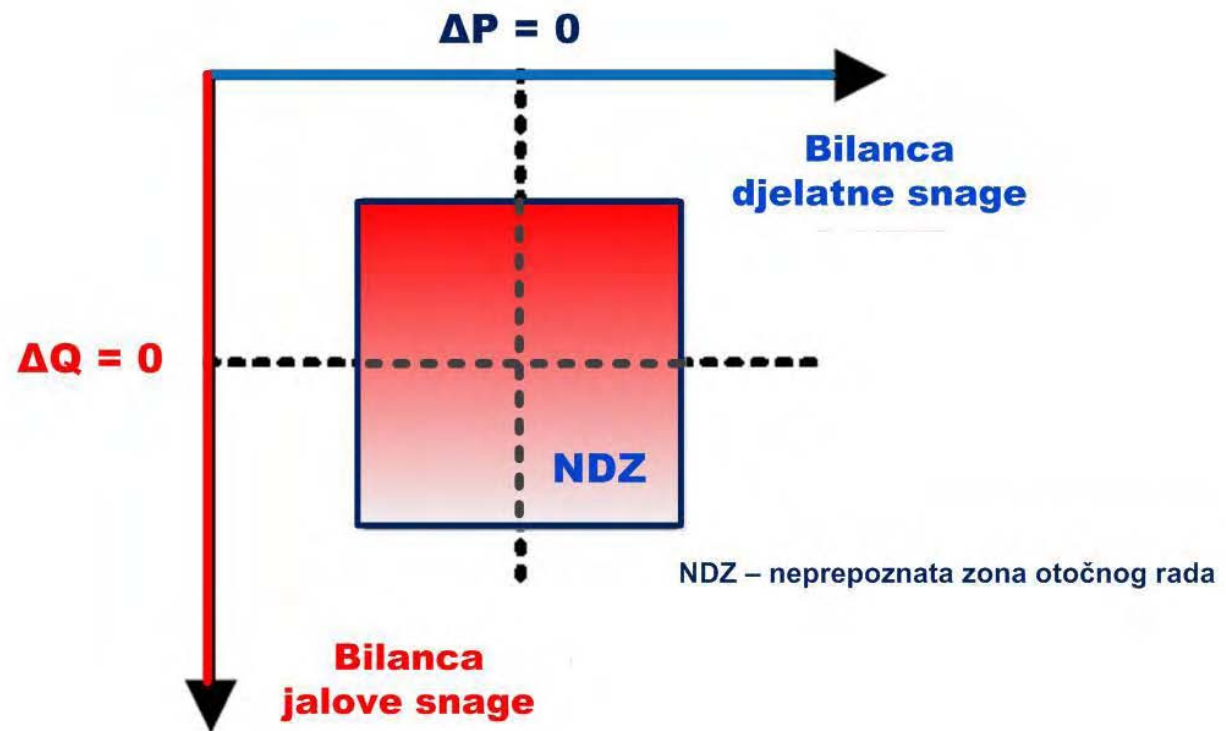


## Otočni pogon elektrane s dijelom mreže – postupci otkrivanja



## Otočni pogon DPP s dijelom mreže – postupci otkrivanja

Najčešće primjenjivane pasivni zaštitni postupci za prepoznavanje otočnog pogona imaju određenu neprepoznatu zonu (NDZ) koja je definirana minimalnom neravnotežom snaga ( $\Delta P$ ,  $\Delta Q$ ) potrebnih za siguran rad postupka otkrivanja.



## Otočni pogon elektrana s dijelom mreže - zaključno

- ➔ Cilj je prepoznati otočni rad dijela mreže dovoljno brzo čak i u trenutku ravnoteže snaga ( $P$  i  $Q$ ) proizvodnje i potrošnje bez nepotrebnih isključenja DPP u slučaju kvara ili poremećaja na vanjskoj mreži,
- ➔ Najčešće primjenjivane pasivne zaštitne metode za pojedini slučaj priključenja imaju određenu neprepoznatu zonu (NDZ) koja je definirana minimalnom neravnotežom snaga ( $\Delta P$ ,  $Q$ ) potrebnih za siguran rad metode, no i dalje ih se može koristiti.
- ➔ Zbog dinamike mreže potpuna ravnoteža je statistički gotovo nevjerojatno stanje, ali zbog nove regulative koja zahtjeva regulaciju snage na distribuiranim izvorima stanje jako blizu ravnoteže je vrlo vjerojatno.
- ➔ Zbog potrebe za stabilnošću cijelog EES-a postrožava se mrežna regulativa te se uvjetuju neke nove funkcionalnosti distribuiranih izvora koje koriste i stabilnošću otočnog pogona.
- ➔ **Aktivna mreža ima razloga** tragati za najboljim rješenjima prepoznavanja nastanka, stanja i održivosti otočnog pogona.

## Zahtjevi, rješenja i preporuke za funkcije vođenja Podrška naponu mreže

### Kakvoća napona kamen temeljac kakvoće opskrbe

- ➔ Kakvoća napona je zahtjev svih zahtjeva prema zadacima ODS-a, u pasivnoj i aktivnoj mreži.
- ➔ Usluga održavanja napona u distribucijskoj mreži je usluga kojom se naponi u mreži održavaju unutar propisanih granica. Zato se pred ODS glede ove usluge postavlja **hamletovsko pitanje**:  
**Biti ili nebiti unutar  $\pm 10\% U_n$**
- ➔ **Pasivna mreža evoluirala u aktivnu mrežu** na starim mrežnim temeljima, s postojećim naponskim razinama, presjecima vodova, mogućnostima regulacije napona, ... - **misija održavanja kakvoće napona je teško ostvariva.**
- ➔ Povećanje udjela napajanja iz OIE u distribucijskim, posebno ruralnim mrežama, ima za posljedice:
  - ✚ Značajne probleme s naponskim okolnostima (povišenje napona).
  - ✚ Preopterećenje pogonskih sredstava (vodova, transformatora).

## **Podrška naponu mreže**

Za održanje dopuštenih tehničkih parametara pogona aktivne mreže, rekostmo, ***moгуća su dva puta***

**1. Uobičajeni (klasični) postupak – izgradnja, ZIR mreže, ... i**

**2. Inovativni postupak naprednom tehnologijom**

- dinamička regulacija izlaznog napona transformatora VN/SN
- uporaba dinamičke regulacije kod transformatora SN/NN,
- upravljanje raspodjelom jalove snage,
- uzdužna regulacija u vodu,
- uporaba spremnika električne energije
- upravljanje potrošnjom.

Značajke mreže, kolebljiva proizvodnja i krivulje potrošnje čine pristup održanju napona u svakom konkretnom primjeru posebnim pa zato postoje načelna rješenja koja se vazda moraju prilagođavati, unaprijediti, ... inovirati.

**Stvarno stanje zahtjeva našu stručnu dovitljivost i inovativnost.**

## **Podrška napona mreže**

### **Naponski paradoks**

Jedni od uzročnika može biti nezadovoljavajuće kakvoće napona u aktivnoj distribucijskoj mreži su distribuirani izvori čime si sami ograničavaju mogućnosti proizvodnje i nove izgradnje. Dva su načina otklanjanja negativnih obilježja ovog paradoksa:

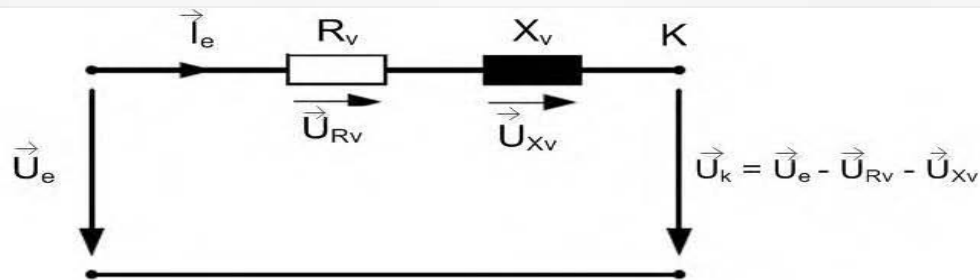
- ➔ napredni postupak regulacije napona kroz sastavnice mreže kao statička podrška naponu, i
- ➔ pogon elektrana sa značajkama održanja kakvoće napona u mreži.

Operator mora poduzeti potrebne pothvate kojima će ostvariti istodobno dva cilja:

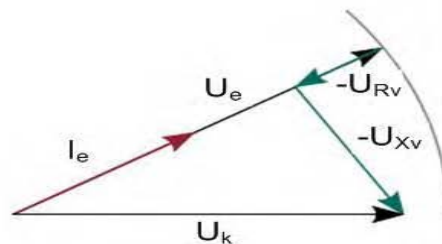
- ➔ kakvoću napona sukladnu zahtjevima propisa (EN 50160)
  - ✚ efektivna vrijednost napona,
  - ✚ stupanj nesimetrije napona i
  - ✚ stabilnost napona (titrajno ponašanje napona kod regulacijskih pothvata)
- ➔ ostvarenje pretpostavki za priključenje novih OIE pod održivim uvjetima.

## Primjeri naprednih postupaka – aktivna elektrana

Zahtjev operatora proizvođaču za pripremu jalove snage – osnove **statičke regulacije s  $\Omega$** .



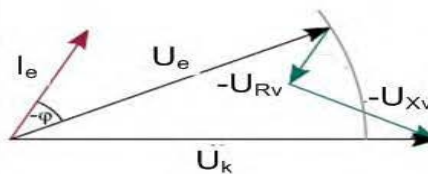
**$\cos \varphi = 1$**



Povećanje napona uzduž voda se kod predaje djelatne snage smanjuje

**$\cos \varphi < 1$ , poduzbuda**

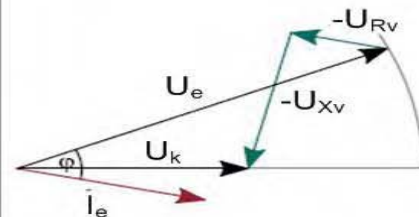
Ponašanje: kao induktivitet



Preuzimanje induktivne jalove snage djeluje na smanjenje napona.

**$\cos \varphi > 1$ , naduzbuda**

Ponašanje: kao kapacitet

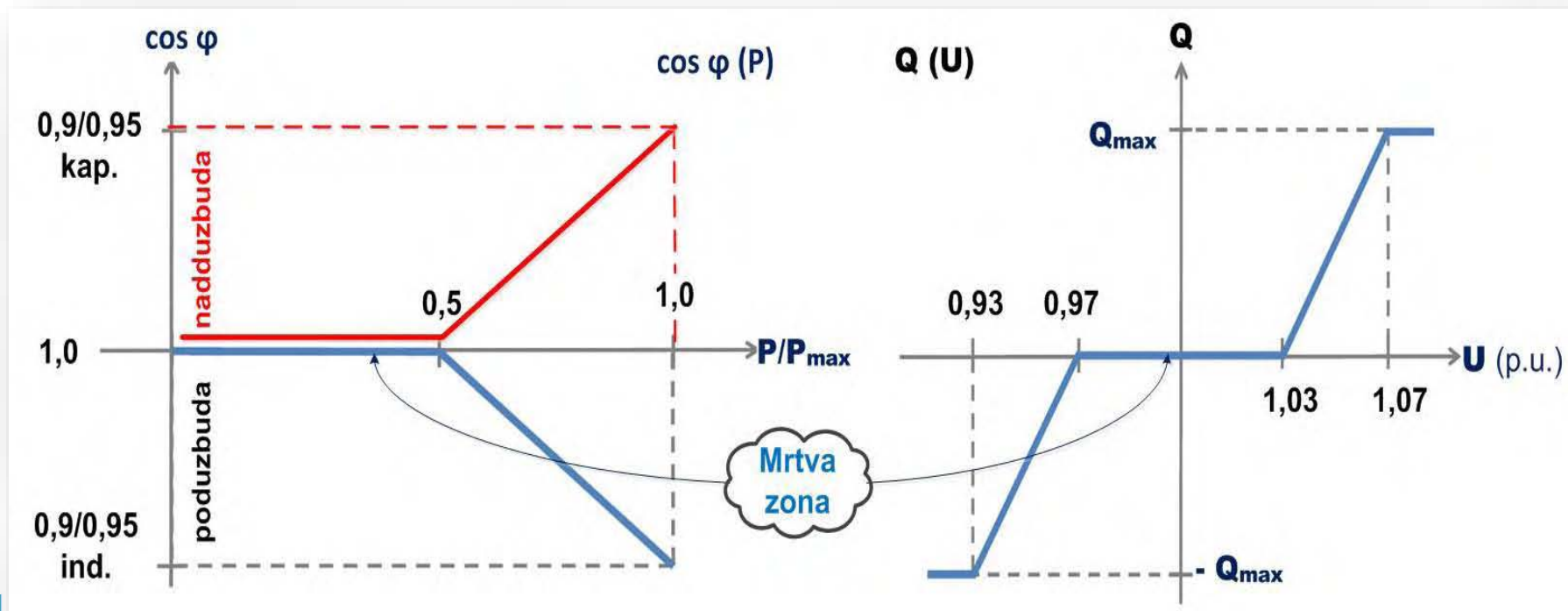


Preuzimanje kapacitivne jalove snage djeluje na povećanje napona.

## Podrška naponu mreže – aktivne elektrane

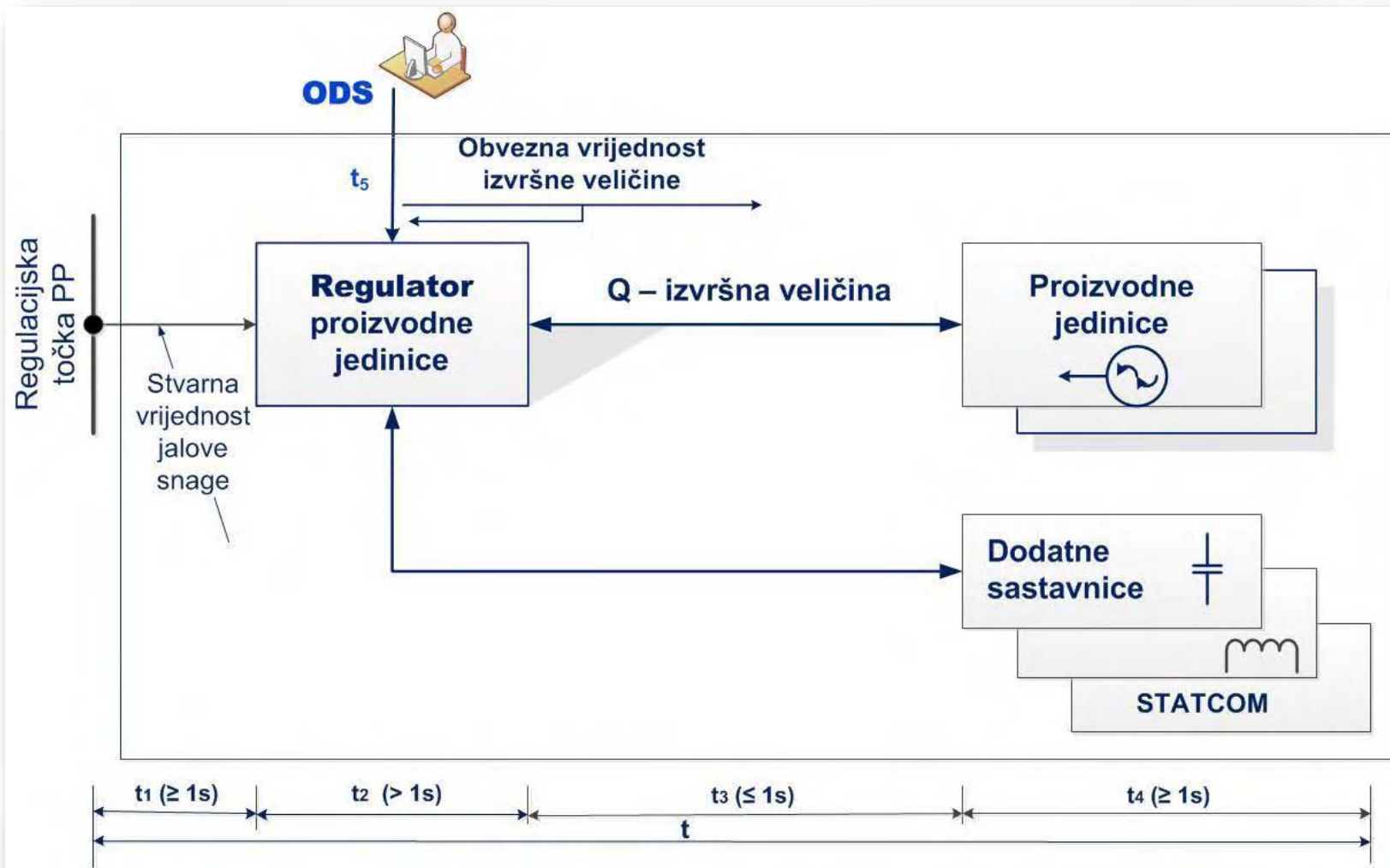
Rezultati istraživanja djelotvornih postupaka regulacije proizvodnih jedinica u SN i NN aktivnoj mreži, ne dvoje oko zaključka:

- ➔ načela regulacije  $Q(U)$  i  $\cos \varphi$  (P) omogućuju sličan rast integracijskih sposobnosti mreže od gotovo 80%,
- ➔ s regulacijom  $Q(U)$  potrebno je 82% manje jalove energije nego li kod primjene koncepta  $\cos \varphi$  (P).



## Podrška naponu u aktivnoj mreži – upravljanje s Q

Q-prilagodljivost proizvodnih postrojenja filozofiji regulacije



## **Podrška naponu mreže – aktivne elektrane i mreža**

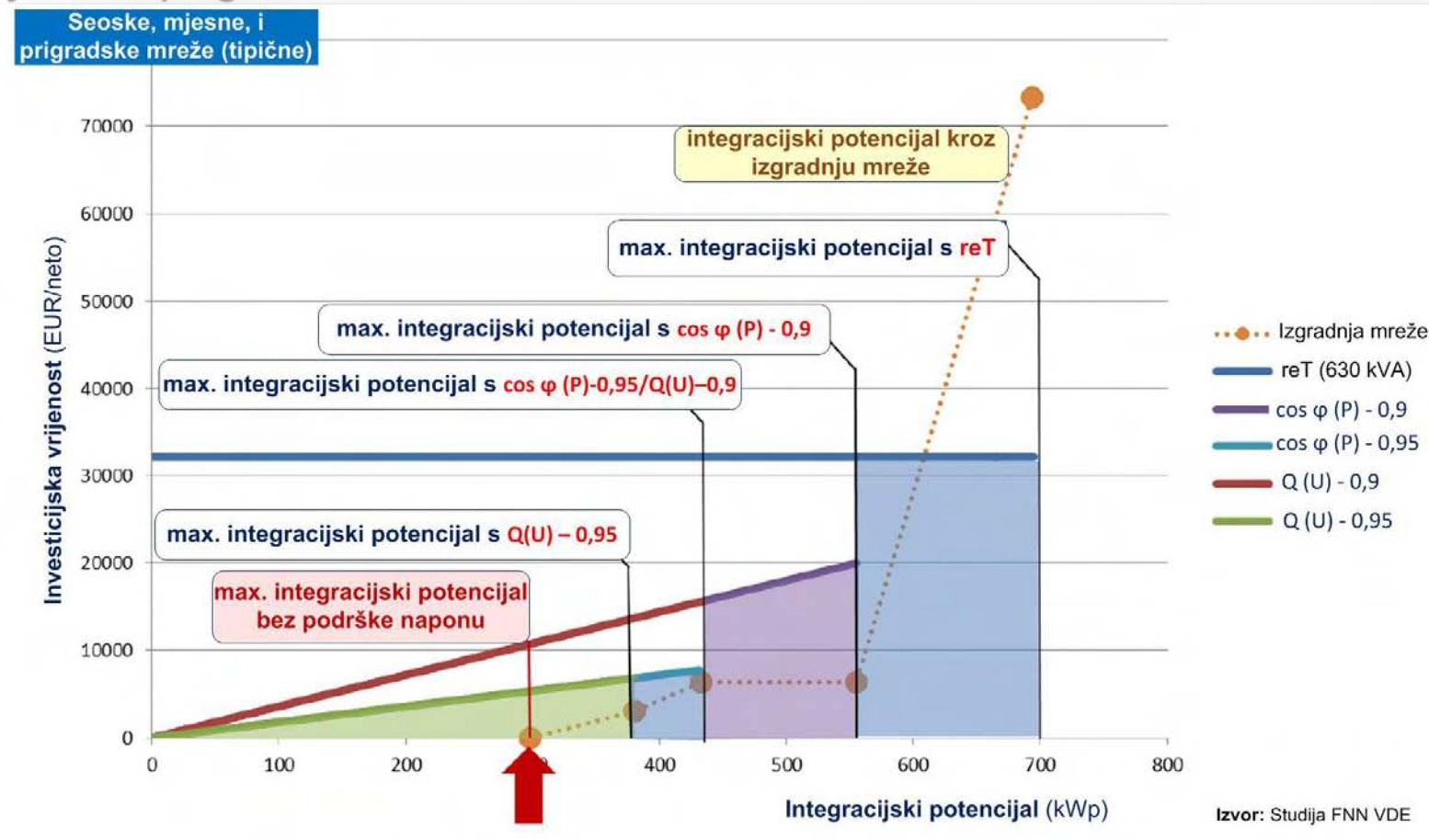
Dobre značajke regulacije  $Q(U)$  proizvodnih jedinica u podršci napona NN mreži dodatno se oplemenjuju koordinacijom s aktivnom regulacijom napona na stezaljkama transformatora SN/NN (reT) uz slijedeće značajke:

- ➔ kod male do srednje izgrađenosti elektrana u mreži, koncept  $Q(U)$  regulacije je sam svekoliko učinkovit.
- ➔ primjena regulacijskih transformatora (reT) je izrazito učinkovita u područnim, a manje u gradskim mrežama,
- ➔ u područnim mrežama s visokom razinom izgradnje elektrana djelotvornost regulacije s regulacijskim transformatorom je u prednosti, a koncept koordinacije s  $Q(U)$  regulacijom elektrana najbolje rješenje,
- ➔ koncept  $Q(U)$  s izabranim podešenjem u koordinaciji s regulacijskim transformatorom pruža najbolju podršku naponu te siguran i stabilan pogon mreže.

**$Q(U)$  koncept aktivne elektrane treba propisati Mrežnim pravilima.**

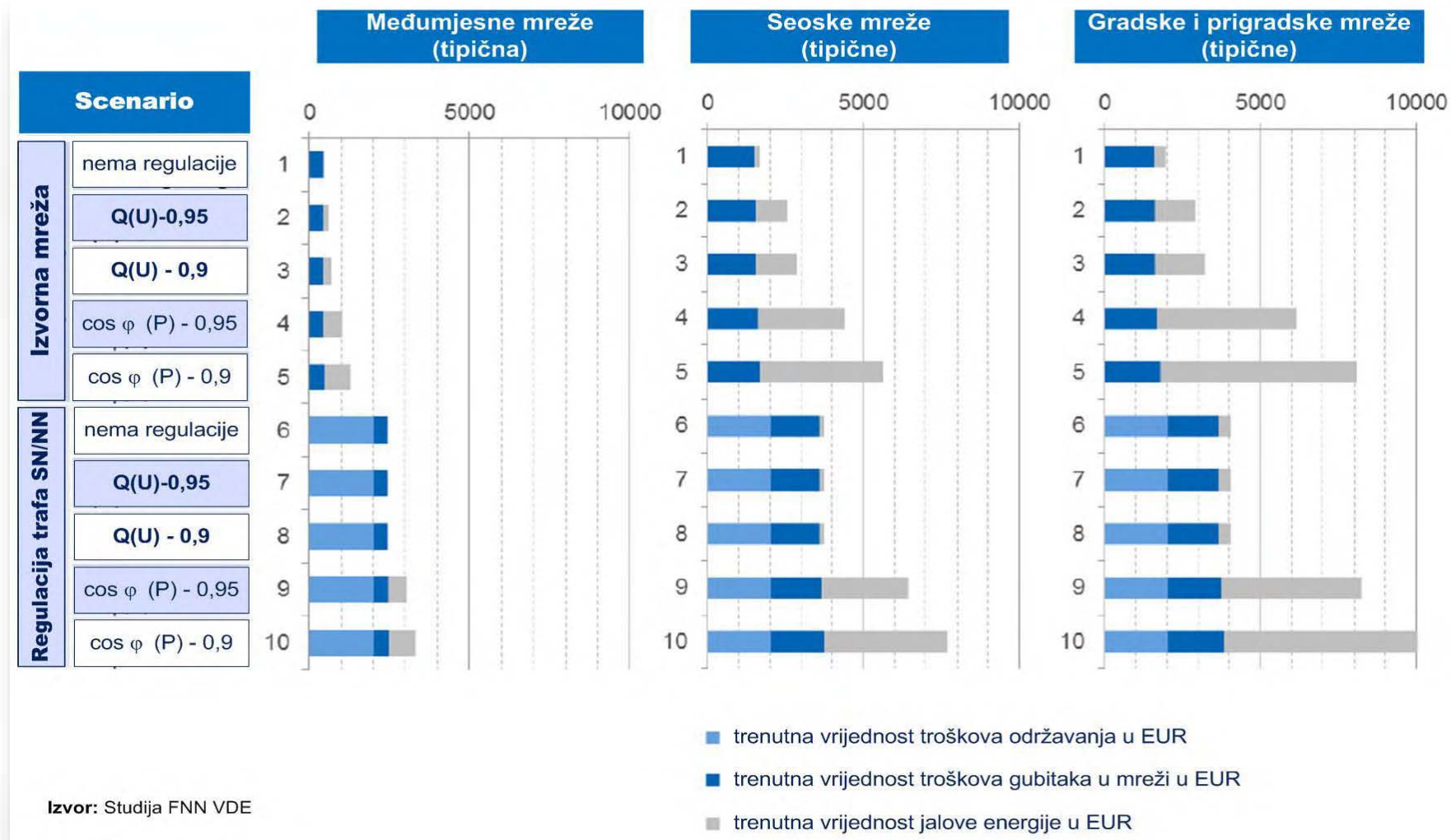
## Podrška naponu mreže – troškovi i potencijal za OIE

Podrška naponu utemeljena na upravljanju s  $Q(U)$  i  $\cos \varphi (P)$  i regulacije napona SN/NN (reT), ima povezano sposobnost objedinjavanja OIE s investicijskim i pogonskim troškovima.



## Podrška naponu mreže – pogonski troškovi

Usporedba pogonskih troškova bez i sa sustavom napredne podrške naponu.



Izvor: Studija FNN VDE

## Podrška naponu u aktivnoj mreži – upravljanje s Q

### Zaključno o ulozi jalove snage u aktivnoj mreži

- ➔ Kroz danas provedena istraživanja, sa studijskim i praktičnim obilježjima, potvrđene su značajne koristi od upravljanja uporabom jalove energije u distribucijskim mrežama, a to su:
  - poboljšanje kakvoće opskrbe kroz statičku i dinamičku podršku kakvoći napona,
  - povećanje sposobnosti objedinjavanja distribuiranih izvora s postojećim stanjem distribucijske mreže,
  - smanjenje gubitaka snage u distribucijskoj mreži i postupku opskrbe iz prijenosne mreže i posljedično navedenom
  - smanjenje emisije CO<sub>2</sub>.
- ➔ Nema dvojbe kako će jalova snaga postati i sredstvo pružanja pomoćne usluge sustavu pri čemu će se primijenjenom metodologijom vrednovanja jalove snage rješavati problem osiguranja pomoćne usluge  $U - Q$  regulacije tržišnim pristupom.
- ➔ Jalova snaga će prestati biti neka električna veličina iz mrežne zabiti jer će objediniti značajke regulacijske, tržišne, strateške veličine svih razina EES.

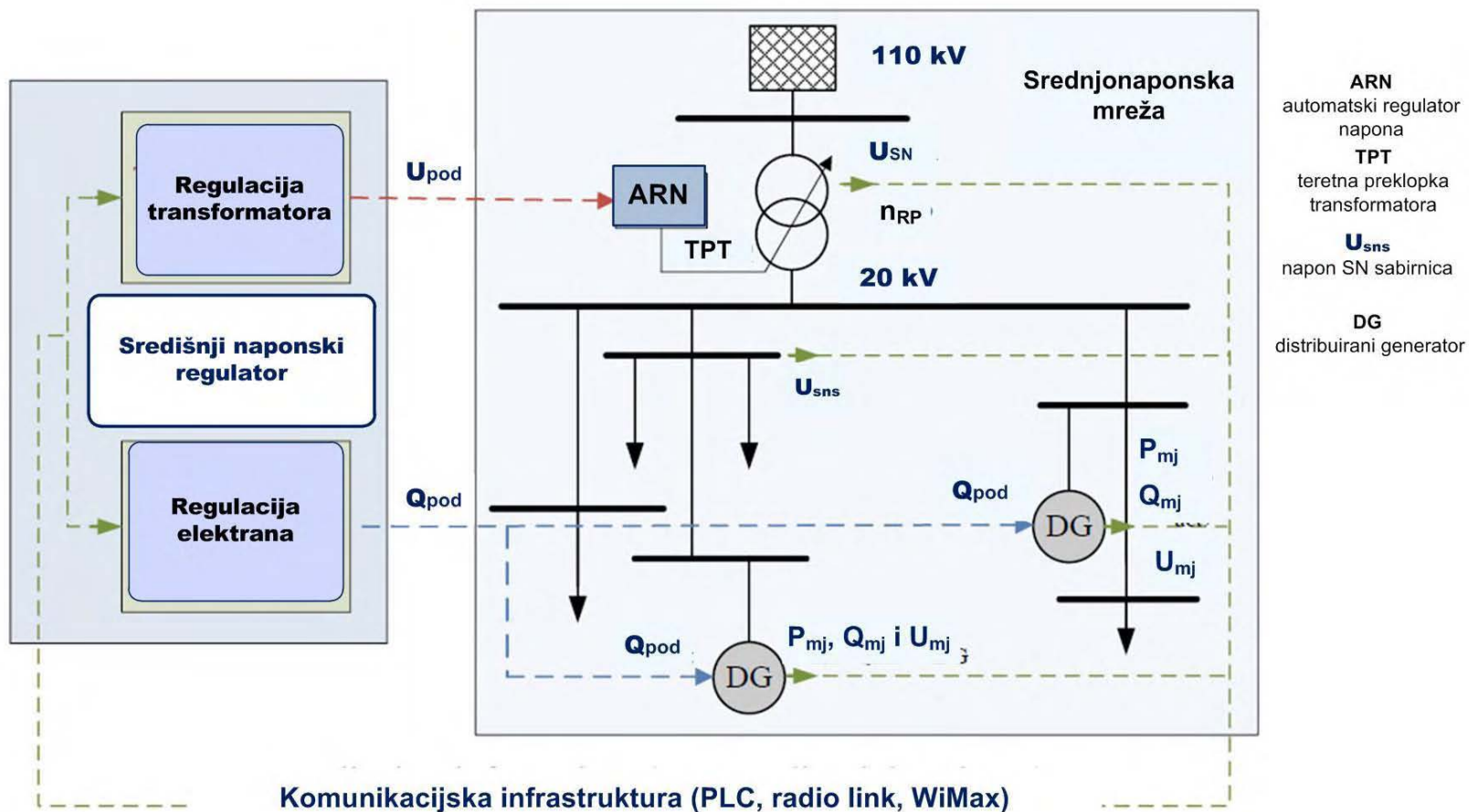
## Podrška naponu mreže – koordinacija pothvata

### Što je koordinirani sustav regulacije napona?

- **Regulacija napona na energetsom transformatoru**
  - ➔ SN/NN – promjena prijenosnog odnosa u pogonu i s čvrstim prijenosnim odnosom,
  - ➔ SN/SN – čvrsti prijenosni odnos, a u prijekoju potrebi promjena u pogonu,
  - ➔ VN/SN – promjena prijenosnog odnosa u pogonu vođena računalom s podacima o naponu u karakterističnim točkama SN mreže.
- **Vođenje pogona distribuiranih proizvodnih postrojenja**
  - ➔ Današnji „generatori” imaju veliki regulacijski potencijal kako napona tako i P-Q, a Q i u oba smjera.
  - ➔ ODS mora novim Mrežnim pravilima dobiti pravo korištenja regulacijskog potencijala DPP pa i kroz pomoćnu uslugu.
- **Upravljanje tokovima snaga**
  - ➔ Kroz funkciju vođenja pogona mreže.
  - ➔ **Upravljanje tokovima jalove snage kao sredstvom podrške.**

## Podrška naponu mreže – koordinacija pothvata

Novi koncept regulacije – koordinacija regulacije napona i jalove snage u svim složenim primjerima daje željene rezultate – korak prema naprednosti.



## Zahtjevi, rješenja i preporuke za funkcije automatizacije

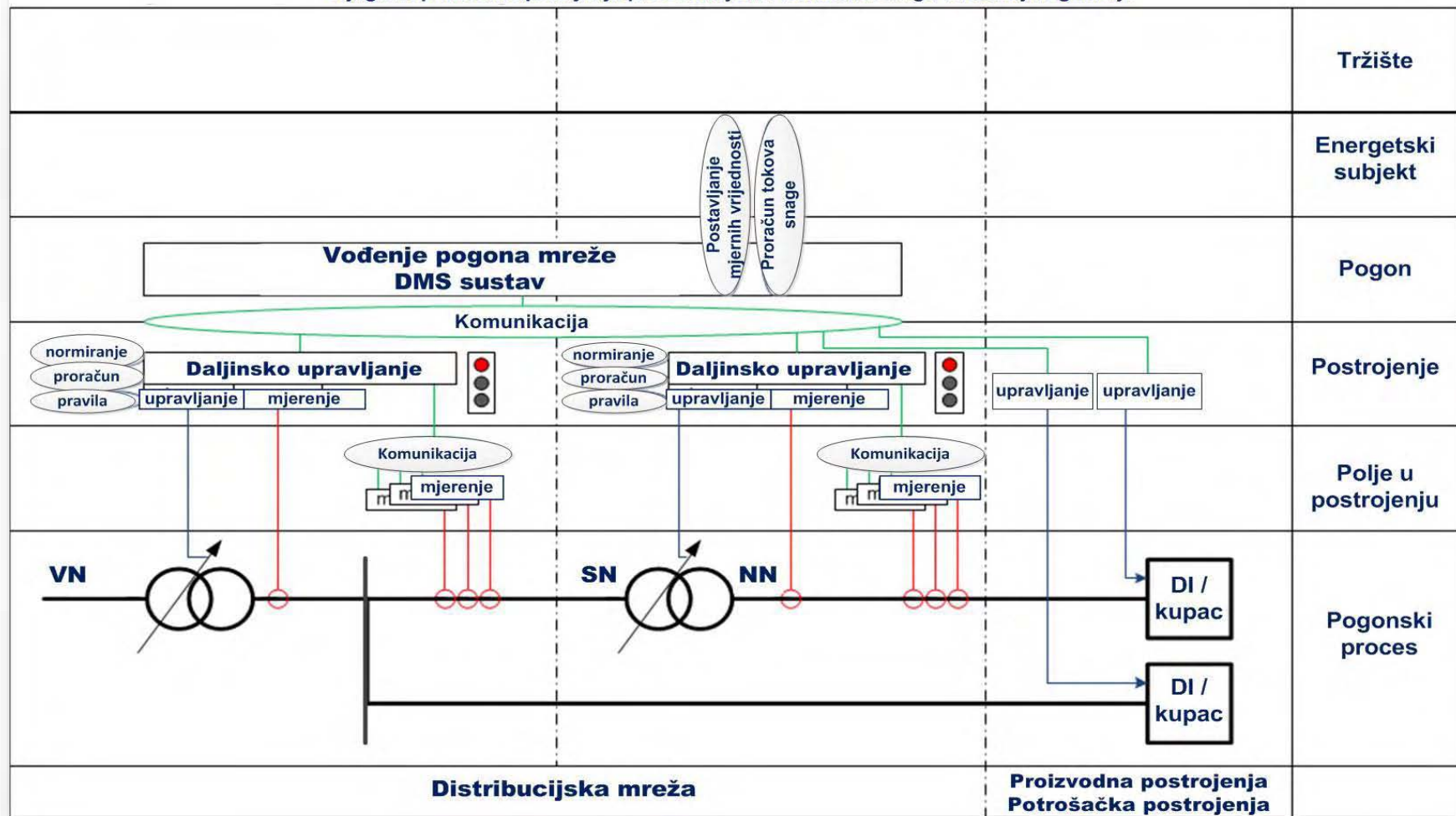
### Preporuke za automatizaciju u aktivnoj mreži

- ➔ Uvođenje postupaka automatizacije distribucijske mreže je **snažan čimbenik ostvarenja kakvoće opskrbe.**
- ➔ Automatizacijom se treba dati **potpora potencijalima postojeće mreže**, a tek nakon što se iscrpe potencijali automatizacije pristupiti zahvatima u mreži.
- ➔ ODS s aktivnom mrežom mora odrediti cilj svakog pojedinačnog postupka automatizacije, uz njih utvrditi potrebne prateće pothvate (npr. digitalizacija komunikacija) te uvjete kod kojih se pristupa provedbi.
- ➔ Nadležna tijela za stvaranje regulatornog okvira poslovanja moraju povezati međusobnu zavisnost propisa kojim se određuje kakvoća opskrbe sa stupnjem automatizacije mreže i iznosa naknade za korištenje mreže.
- ➔ Automatizacija u aktivnoj distribucijskoj mreži mora dobiti svoj standard ili preporuku oslanjanja na međunarodne standarde (npr. IEC 62913).
- ➔ Odgovorno pristupiti ulozi informatičko komunikacijske tehnologije kao i sigurnosti njihove uporabe.

## Aktivna mreža i funkcije automatizacije

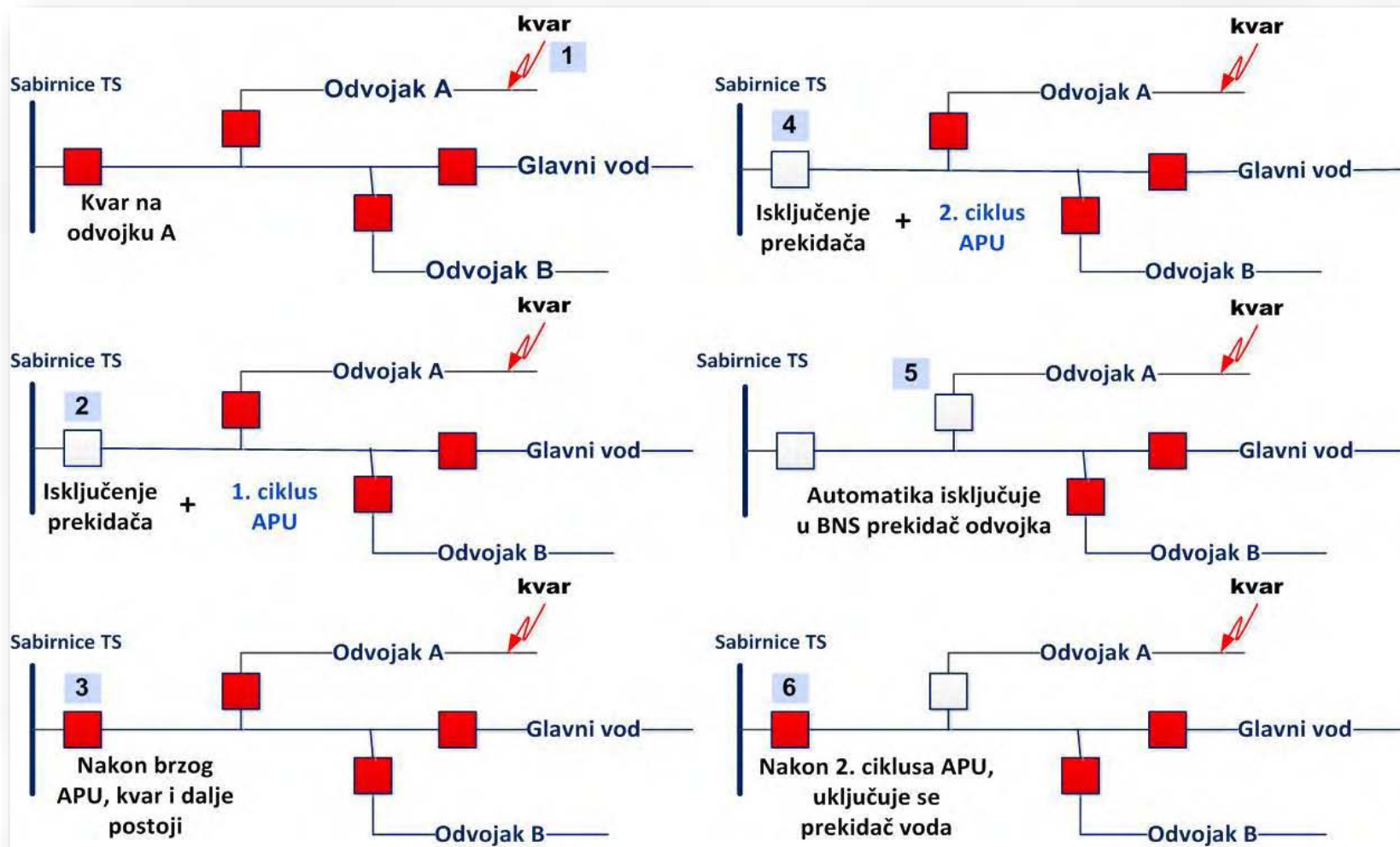
### Podrška naponu mreže automatizacijom upravljanja snagom P

Dijagram pothvata upravljanja proizvodnjom i tokovima snaga u funkciji regulacije



## Aktivna mreža i funkcije automatizacije

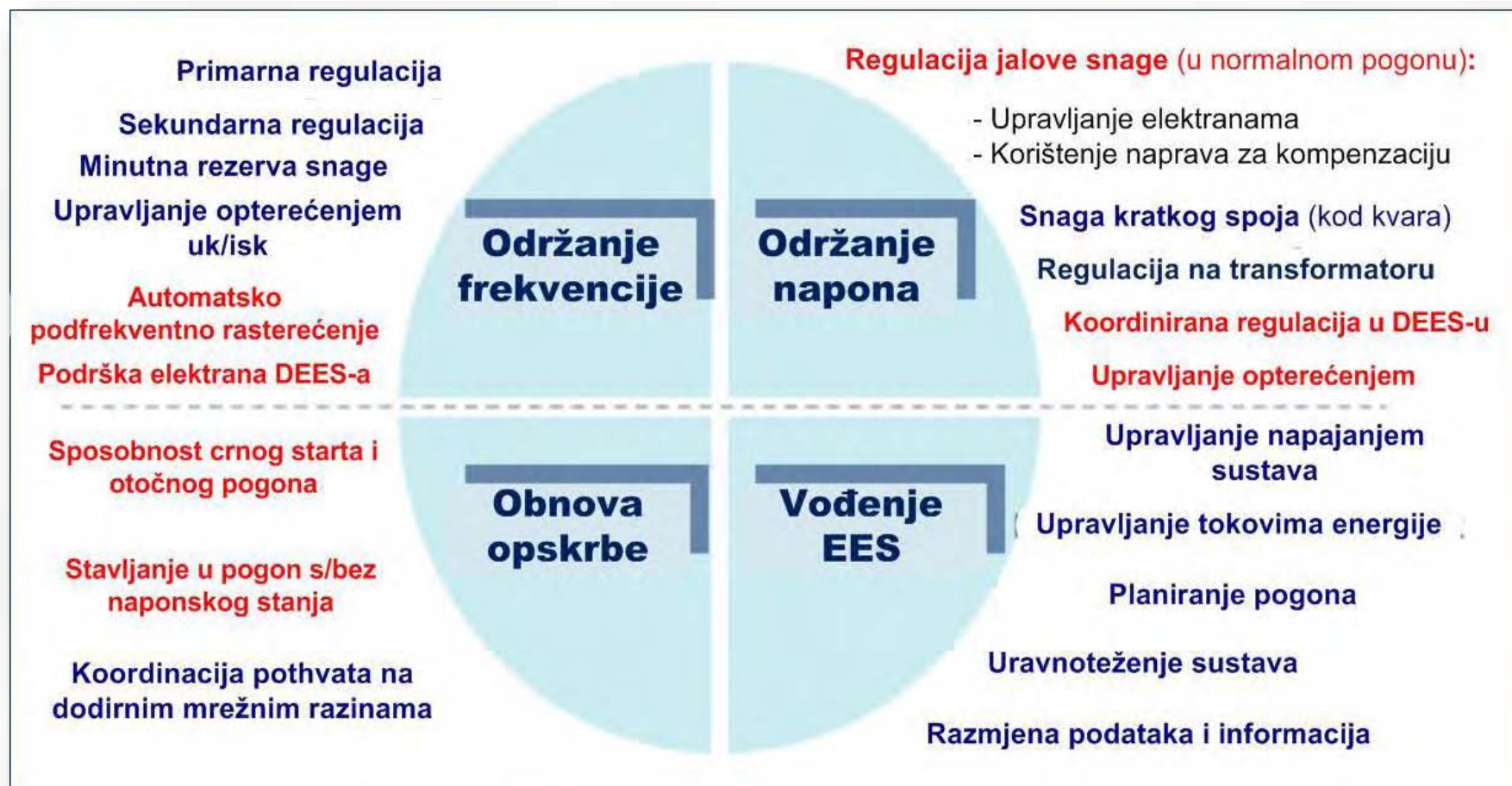
### Optimiranje automatskog ponovnog uključanja u aktivnim SN mrežama



## Sadržaj

1. Uvod
2. Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža
3. Vođenje, zaštita i automatizacija pod izazovima aktivne mreže
4. **Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža**
5. Zaključna motrišta
5. Literatura

## Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža Podrška pogonu EES-a - pomoćne usluge



## Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža

### Podrška stabilnosti pogonu EES-a elektromobilima

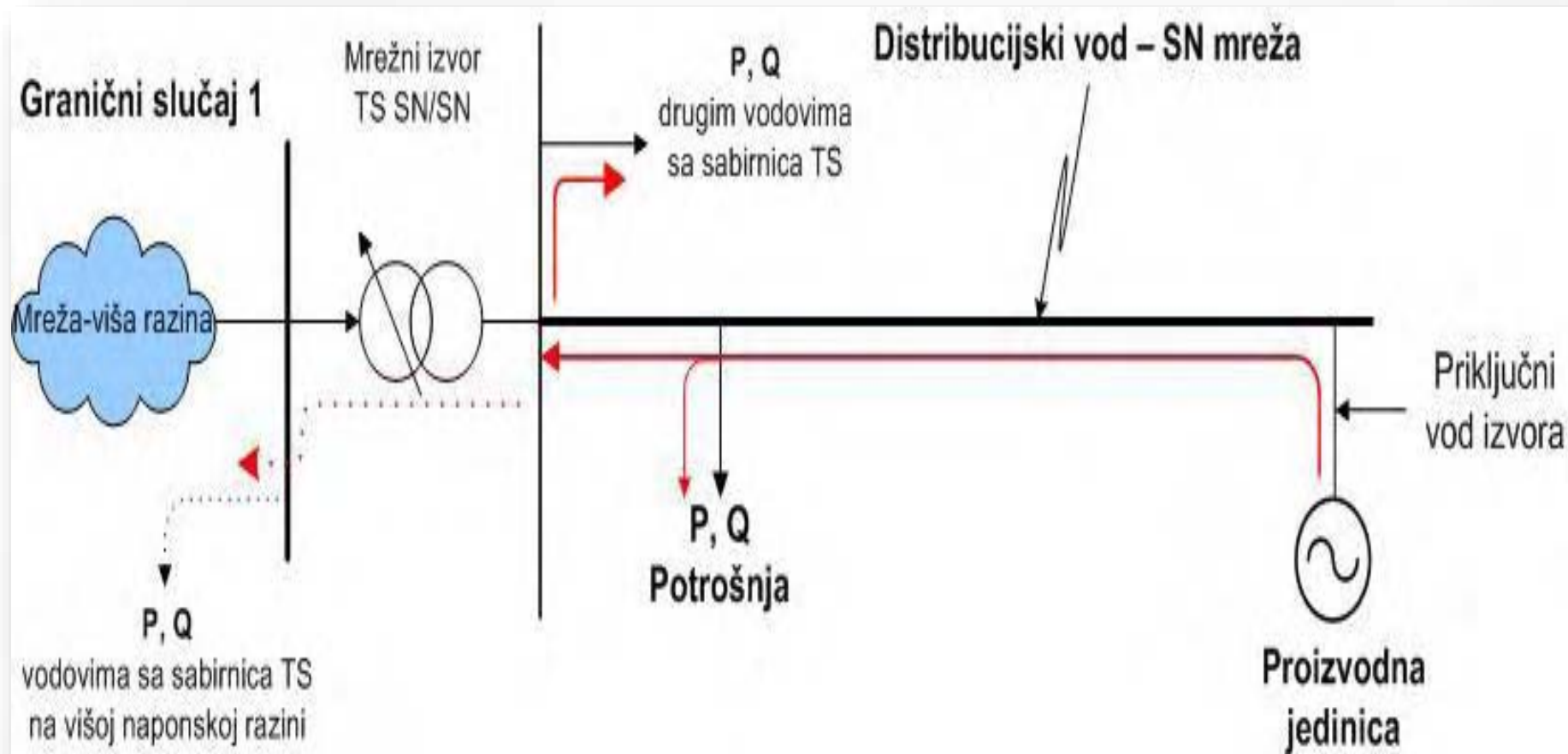
- ➔ Električni mobilnost je već danas važan element za učinkovito korištenje obnovljivih izvora energije u prometu.
- ➔ **S gledišta mreže njegova budućnost je u ulozi dvosmjernog, upravljivog korisnika mreže: trošila obnovljive energije i spremnika za pohranu obnovljive električne energije.**
- ➔ Ovakva funkcija usložnjava tehnologiju elektromobila, a zahtjeva i naprednu vezu s operatorom mreže unutar funkcije vođenja pogon mreže.
- ➔ Elektromobilnost pruža prilagodljivost novom tržištu električne energije, a upravljivo korištenje mreže doprinosi stabilizaciji pogona sustava.
- ➔ Možemo govoriti o za mrežu „prijateljskom ponašanju“ što se podržava povoljnostima naknade za korištenje mreže.

## **Posebna motrišta - gubitci u aktivnim mrežama**

- ➔ Pogon izvora, raspršenih po mreži, takozvana decentralizirana proizvodnja, dovodi **do promjene gubitaka u mreži** temeljem promijenjenih tokova snage.
- ➔ Promjena gubitaka može u promatranom dijelu mreži imati **značajku porasta ali i smanjenja gubitaka**, a ovisno o:
  - značajkama mreže,
  - položaju težišta opterećenja u odnosu na mjesto priključenja izvora na mrežu,
  - sukladnosti raspoložive ukupne snage izvora i opterećenja,
  - pogonu izvora glede regulacije napona i pokriću potrošnje jalove snage,
  - promjeni tokova snage u mreži u paralelnom pogonu s mrežom promatranih izvora,
  - promjeni tokova snage u odnosu na mrežu više naponske razine kada postoji povratno napajanje s niženaponske strane.

## Gubitci u aktivnim mrežama – granični slučaj povećanja

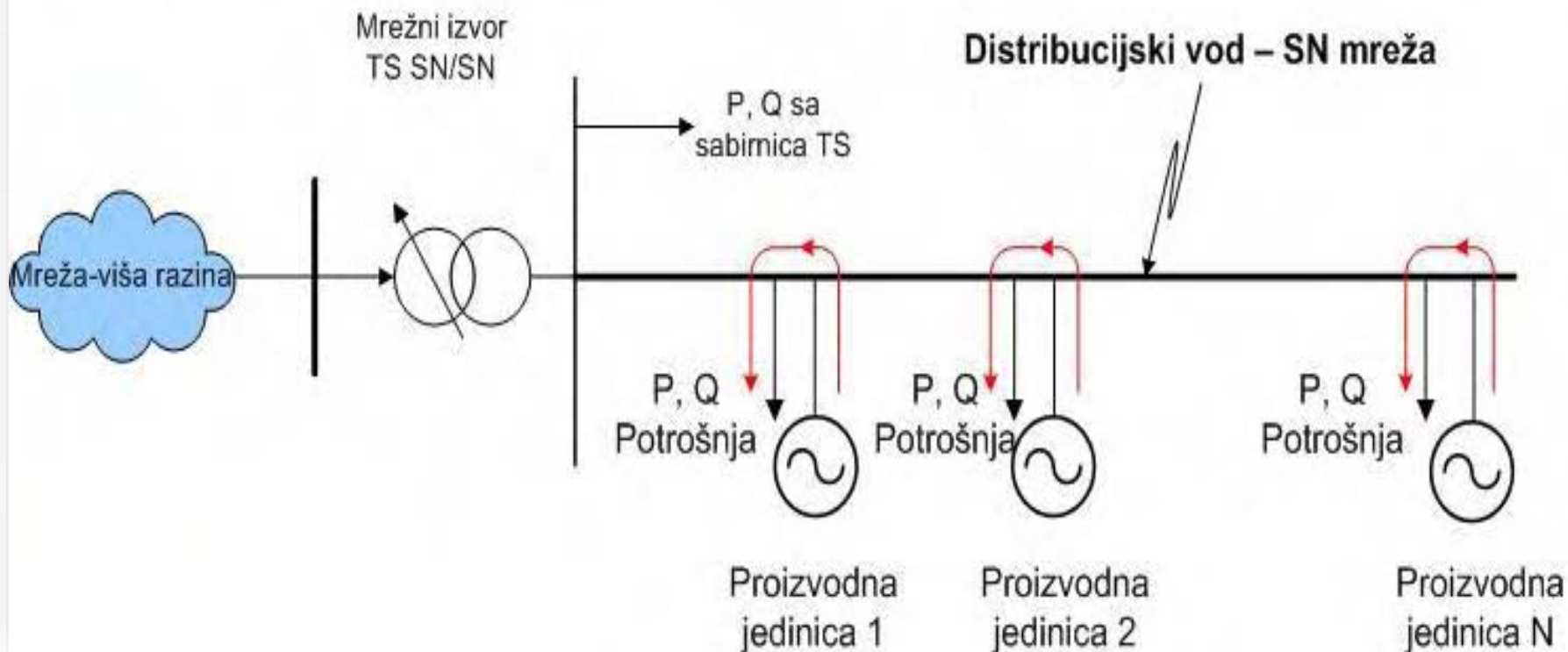
Međuviznost utjecajnih činitelja iznosa gubitaka - granični slučaj 1, svaki slučaj u kojem se može bilježiti najveći porast gubitaka u promatranoj mreži.



## Gubitci u aktivnim mrežama – granični slučaj smanjenja

Međuviznost utjecajnih činitelja iznosa gubitaka - granični slučaj 2, svaki slučaj u kojem se može bilježiti najveće smanjenje gubitaka u promatranoj mreži.

### Granični slučaj 2



## **Gubitci električne snage u aktivnim mrežama**

- ➔ Gubitci su mjerilo energetske učinkovitosti u elektroenergetskom sektoru
- ➔ Gubitci predstavljaju **trošak za operatora sustava**, oni se namiruju iz naknade za korištenje mreže koju plaćaju svi kupci kao korisnici mreže.
- ➔ Proizvođači ne sudjeluju u plaćanju gubitaka jer ne plaćaju naknadu za korištenje mreže pa je tim više bitan doprinos elektrane smanjenju gubitaka.
- ➔ Mora postojati utjecaj ODS-a na smanjivanje gubitaka u mreži, ali kroz primjenu opravdanih pravila za kupce i proizvođače – prije svega propisivanjem tehničkih uvjeta za priključenje i pogon. s opravdanom razinom troškova.
- ➔ Pogon decentralizirane proizvodnje treba se voditi s ciljem smanjenja gubitaka u mreži, ali u skladu s opravdanim zahtjevom prema elektrani glede pogonskih značajki i vrednovanju tih značajki u pogonu (pomoćne usluge proizvođača).
- ➔ Mrežna pravila trebaju svojim odredbama podupirati utjecaj na smanjenje gubitaka u aktivnoj mreži.

## Sadržaj

1. Uvod
2. Izazovi i zahtjevi aktivnih distribucijskih mreža
3. Vođenje, zaštita i automatizacija pod izazovima aktivne mreže
4. Posebna motrišta uz daljnji razvoj aktivnih mreža
- 5. Zaključna motrišta**
5. Literatura

## **Zaključno o izazovima aktivne distribucijske mreže**

- ➔ Energetska evolucija ima za posljedicu preobrazbu pasivne i jednostavne u aktivnu i složenu distribucijsku mrežu.
- ➔ Aktivna mreža je pred stalnim izazovom novih sastavnica i korisnika mreže kao što su danas elektromobili i pohrana električne energije.
- ➔ Kako nastanak aktivne mreže ne bi doveo do „mrežnog kaosa” svim se promjenama mora upravljati uvođenjem naprednih rješenja.
- ➔ Aktivna mreža zahtjeva i aktivnog operatora mreže, ali i regulatorna tijela.
- ➔ Kako bi proveo korjenite promjene DEES-a, u vrtlogu okolnosti koje će donijeti aktivna mreža, ODS mora biti odgovoran i samostalan u odlučivanju.
- ➔ Energetsko zakonodavstvo RH je nepotpuno, međusobno neusklađeno i s nedovoljno prisutnim mišljenjem obveznika primjene što je zapreka odgovora izazovima.
- ➔ Aktivna distribucijska mreža i njen operator, uz podršku propisa, moraju svoje osnažene sposobnosti staviti u funkciju podrške pogonu EES-a.

## Motrišta i pitanja vezana za buduću distribucijsku mrežu?

### 1. Razvitak mreže voditi uvažavajući osobine sastavnica mreže (elektrane, trošila, pohrana, ...) i napredna rješenja funkcija

- ➡ **Okolnosti:** istodobna prilagodba novim sastavnicama može uzrokovati visoku razinu potrebnih zahvata u mreži i njenim ustaljenim funkcijama.
- ➡ **Ključno pitanje:** Koliki su razmjeri izazova za razvitak mreže?

### 2. Razina usklađenosti izgradnje OIE i razvitka mreže

- ➡ **Okolnosti:** Raspršenost OIE ima visok utjecaj na razvitak mreže.
- ➡ **Ključno pitanje:** Kako izgradnju OIE i razvitak mreže djelotvorno uskladiti?

### 3. Razvitak mreže s motrišta nove uloge ODS-a

- ➡ **Okolnosti:** u budućnosti, usluge sustavu, u funkciji podrške pogonskim uvjetima, sve više će se isporučivati iz distribucijske mreže.
- ➡ **Ključno pitanje:** koja pravila ugraditi u propise, a koja za planiranje razvitka mreže, koja će se koristiti za usluge sustavu iz DEES-a?

### 4. Prilagodba ODS-a novoj ulozi

- ➡ **Okolnosti:** brojni izazovi, a traže se odgovori s inovativnim rješenjima.
- ➡ **Ključno pitanje:** Kako osigurati znanje, samostalnost u odlučivanju i odgovarajuće financiranje?



Distribucijska mreža nije samo dio elektroenergetske infrastrukture, ona je žila života naše svakodnevnice. Ona donosi energiju u pravom trenutku, na mjesto za njenom potrebom, svih sati svakog dana. Tako nam stvara uvjete za kakvoću osobnog i društvenog života.

S obnovljivim izvorima energije, njihovim značajkama i naprednim ustaljenim funkcijama, DEES postaje kamen temeljac stabilnosti pogona EES-a.

Za postizanje stabilnog pogona EES-a u uvjetima velikog udjela OIE, glavni potporni stup leži u našoj sposobnosti svladavanja tehničkih problema koje će donijeti aktivna distribucijska mreža.

Autor

Hvala na **nazočnosti** i pozornosti!

Damir Karavidović, dipl.ing.el.