

Poboljšanje otpornosti elektroenergetskoga sustava brzim frekvencijskim odzivom aktivnoga elektroenergetskoga distribucijskoga sustava

Bojana Barać

mentor: izv. prof. dr. sc. Tomislav Capuder



**Snažna oluja
zahvatila balkansku
regiju nakon
višednevnih vrućina**



**Uragan Milton testirao
granice otpornosti -
mreže podbacile,
milijuni u mraku**



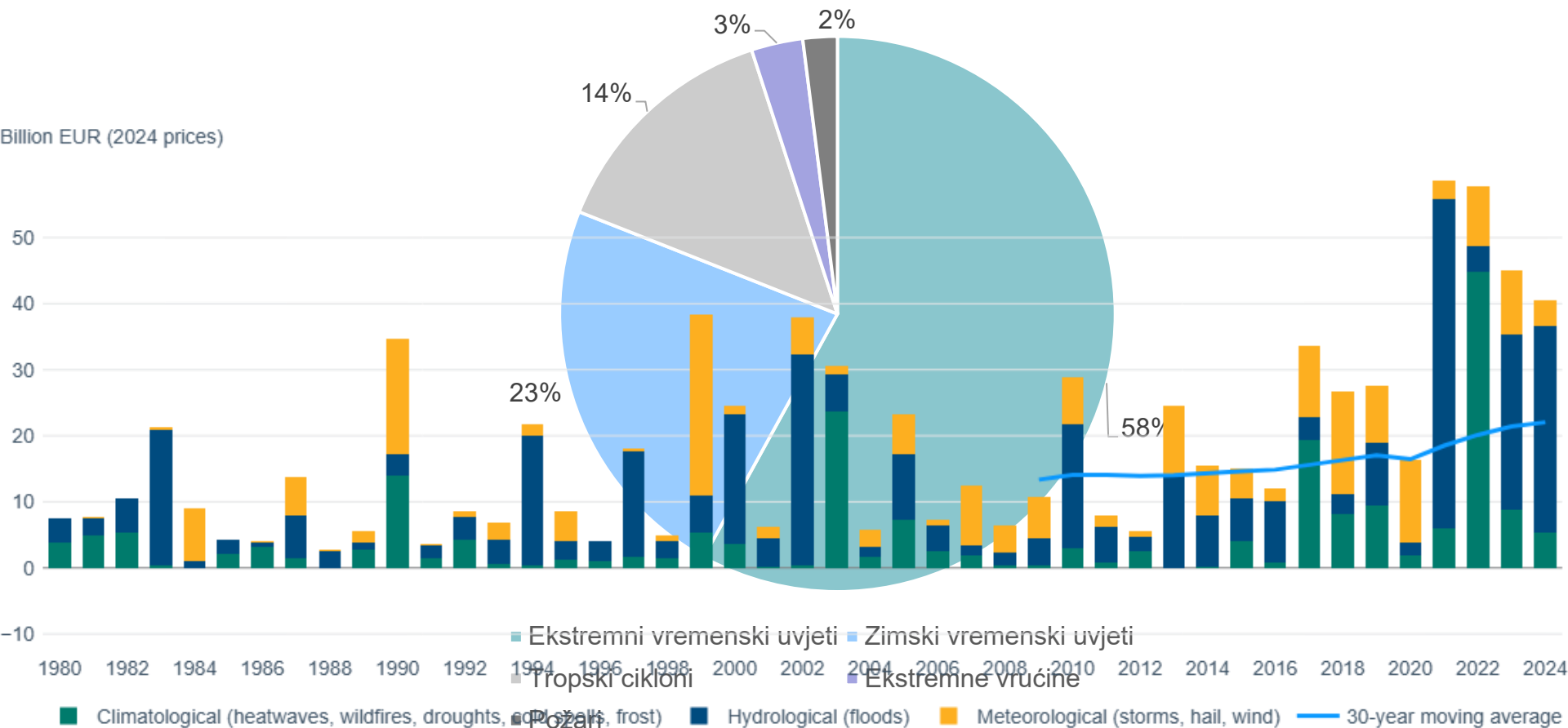
**Beryl zamračio Teksas
- 2,7 milijuna bez struje**



**Požari na Cipru oštetili
mrežu - Limassol i
Paphos djelomično
bez struje**

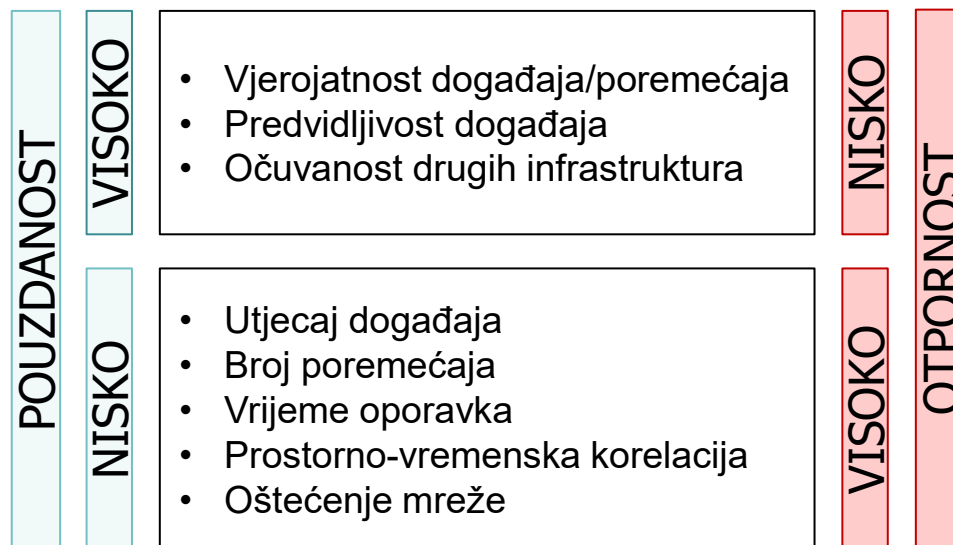


Veliki prekidi opskrbe električnom energijom u SAD-u



Otpornost elektroenergetskog sustava

- Otpornost elektroenergetskog sustava odnosi se na sposobnost sustava da apsorbira, prilagodi se i oporavi od ekstremnih događaja (olujni vjetrovi, potresi, požari, cyber napadi...)



- Strategije za poboljšanje otpornosti elektroenergetskog sustava:
 - Metode temeljene na planiranju
 - Operativne metode

Otpornost elektroenergetskog sustava

Operativne metode

- Otpornost prijenosnog elektroenergetskog sustava:
 - Proaktivna preraspodjela proizvodnje
 - Uklapanje/isklapanje vodova za preusmjeravanje tokova snage
 - Obrambeni prijelaz u otočni pogon
 - Koordinacija mobilnih izvora energije
- Otpornost distribucijskog elektroenergetskog sustava:
 - Preraspodjela proizvodnje DIE
 - Rekonfiguracija mreže
 - Formiranje mikromreža
 - Optimiziranje mjesta i veličina DIE
- Otpornost sustava izražena kroz smanjenje opterećenja ili njegov trošak



- ✓ Studije otpornosti prostorno ograničene
- ✓ Fleksibilnost DIE promatrana samo u kontekstu otpornosti distribucijskog elektroenergetskog sustava
- ✓ Studije otpornosti uglavnom su ekonomski orijentirane

17



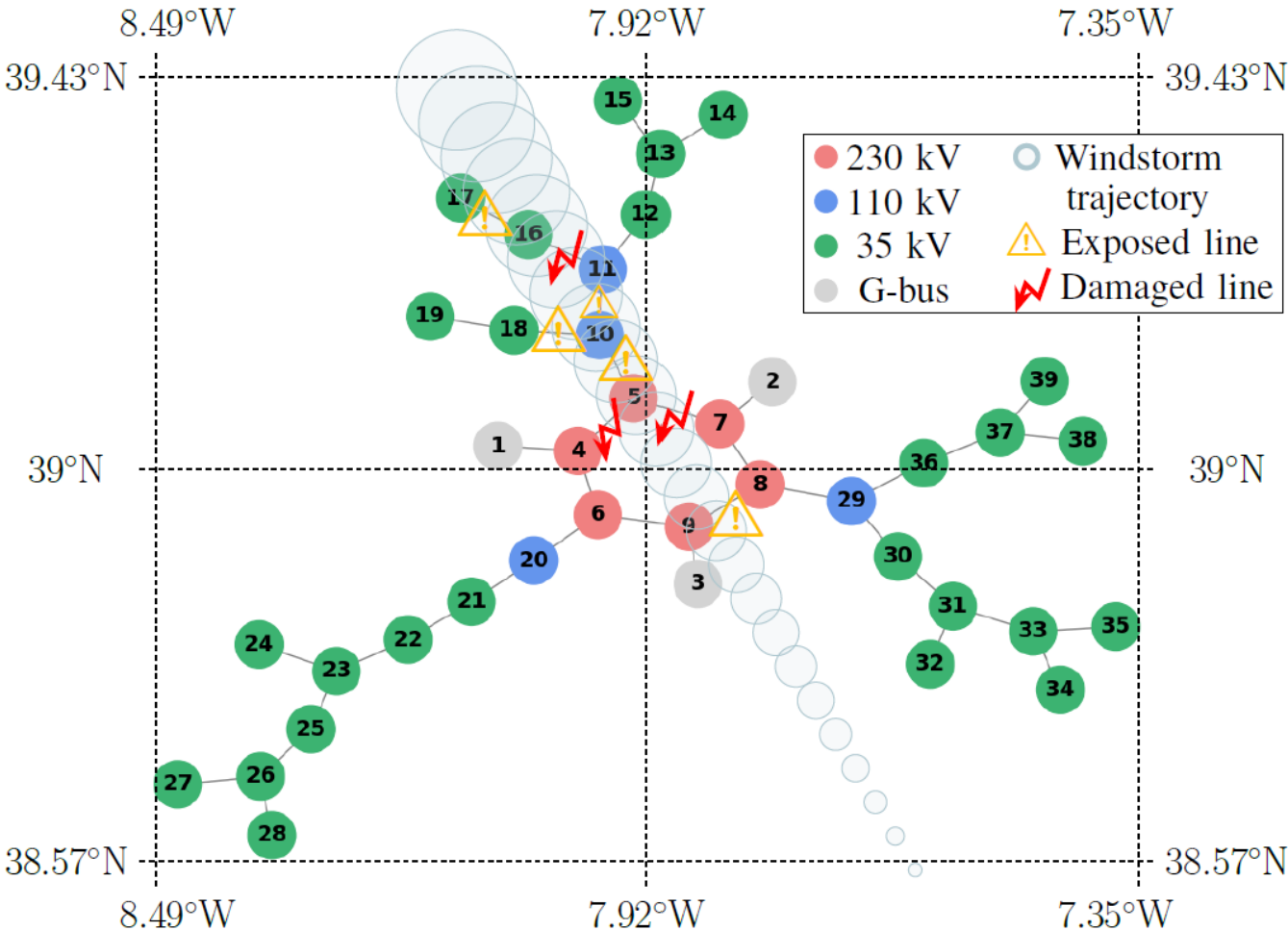
SAVJETOVANJE HRO CIGRE
HRO CIGRE SESSION
ŠIBENIK, 9.–12. STUĐENOGA 2025./NOVEMBER 9–12, 2025



Ciljevi istraživanja

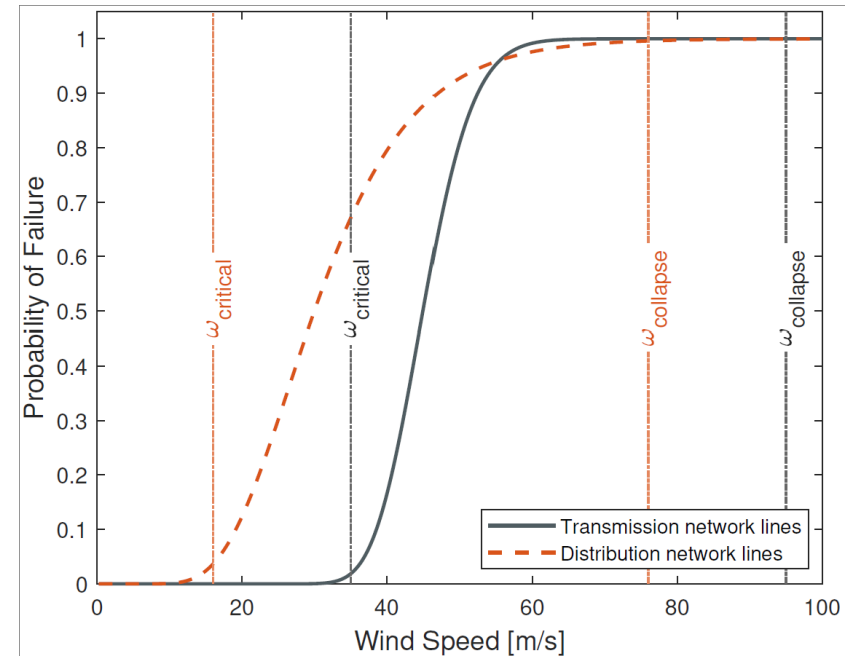
- **Okvir za poboljšanje otpornosti elektroenergetskog sustava:**
 - Integracija dinamičkih i operativnih aspekata u analize otpornosti elektroenergetskog sustava
 - Prostorno širenje ekstremnog događaja
 - Potencijal razmjene energije između operatora prijenosnog i distribucijskog sustava → **agregirani model distribucijskog sustava**

Okvir za poboljšanje otpornosti



Krivulje krhkosti

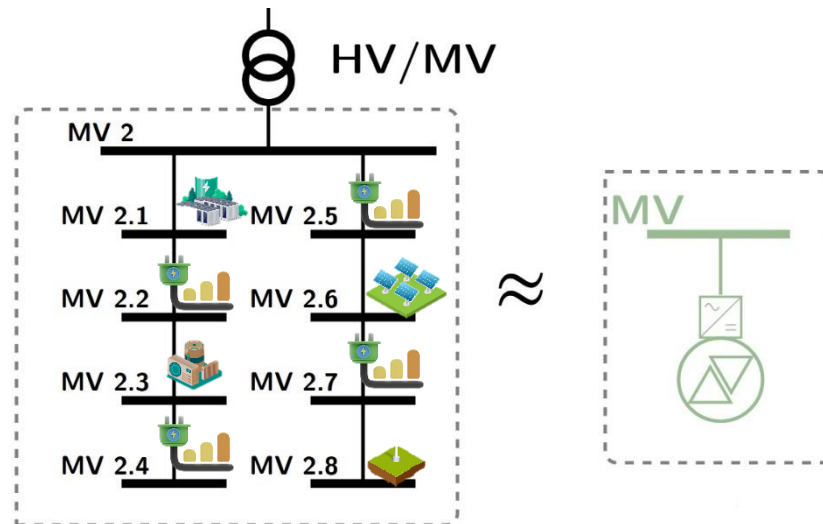
- Vjerojatnost ispada komponente sustava s obzirom na hazardni događaj
- Pristupi za određivanje:
 - Empirijski
 - Eksperimentalni
 - Analitički
 - Stručna procjena
 - Hibridni



Krivulje krhkosti vodova prijenosnog i distribucijskog sustava

Agregirani model aktivnog distribucijskog sustava

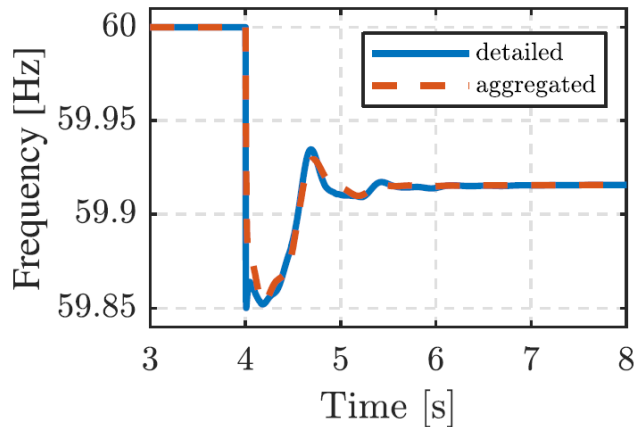
- Izazovi u modeliranju aktivnih distribucijskih sustava:
 - Visoka složenost sustava
 - Velik broj različitih tehnologija
 - Raznoliki profili opterećenja
 - Ograničena vidljivost i kontrola OPS-a nad distribucijom
 - Nedostatak potpunih i ažurnih podataka
 - Detaljni modeli - često nepraktični za primjenu



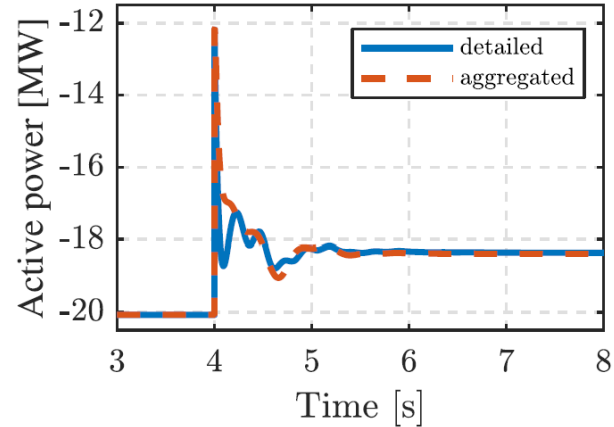
Aggregirani model aktivnog distribucijskog sustava (2)

- Agregirani model brzog frekvencijskog odziva aktivnog distribucijskog sustava koji uključuje različite DIE
- Pružanje uvida u fleksibilnost
- Agregirani model temeljen na virtualnom sinkronom stroju (VSM)
- Mogućnost korištenja standardnih pravila agregiranja
- Ekvivalentnost između VSM-a i drugih upravljačkih struktura unutar aktivnog distribucijskog sustava

Agregirani model aktivnog distribucijskog sustava (3)



(a)

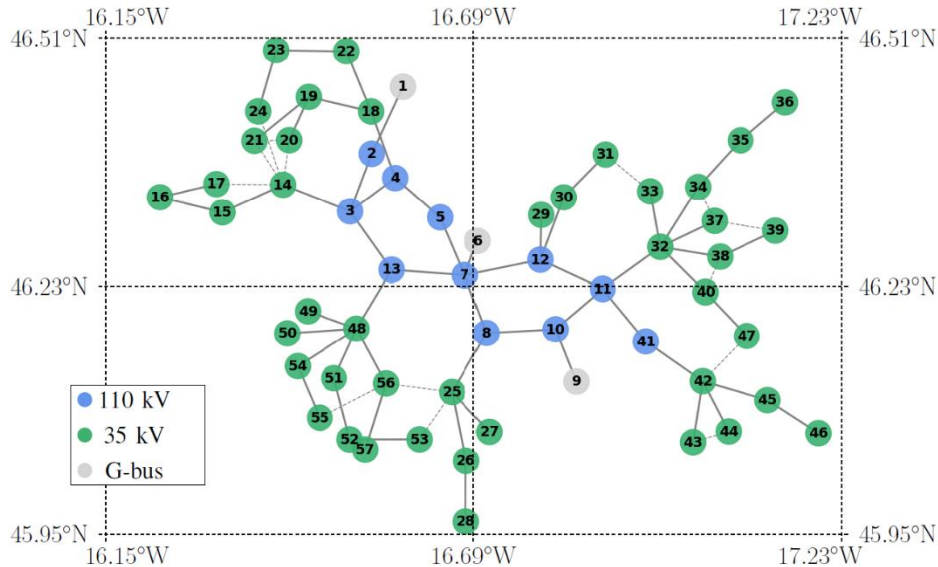


(b)

Odziv aktivnog distribucijskog sustava na ispad generatora u prijenosnom sustavu: a) frekvencija, b) razmjena snage na sučelju OPS-a i ODS-a

- pojednostavljeno modeliranje
- smanjen broj potrebnih parametara
- povećana sigurnost i razlučivost dijeljenih podataka između operatora distribucijskog i prijenosnog sustava

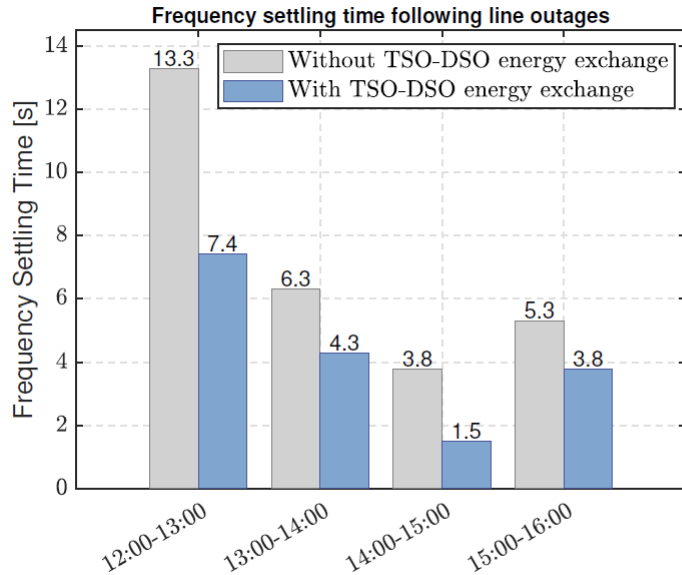
Primjena okvira za poboljšanje otpornosti sustava



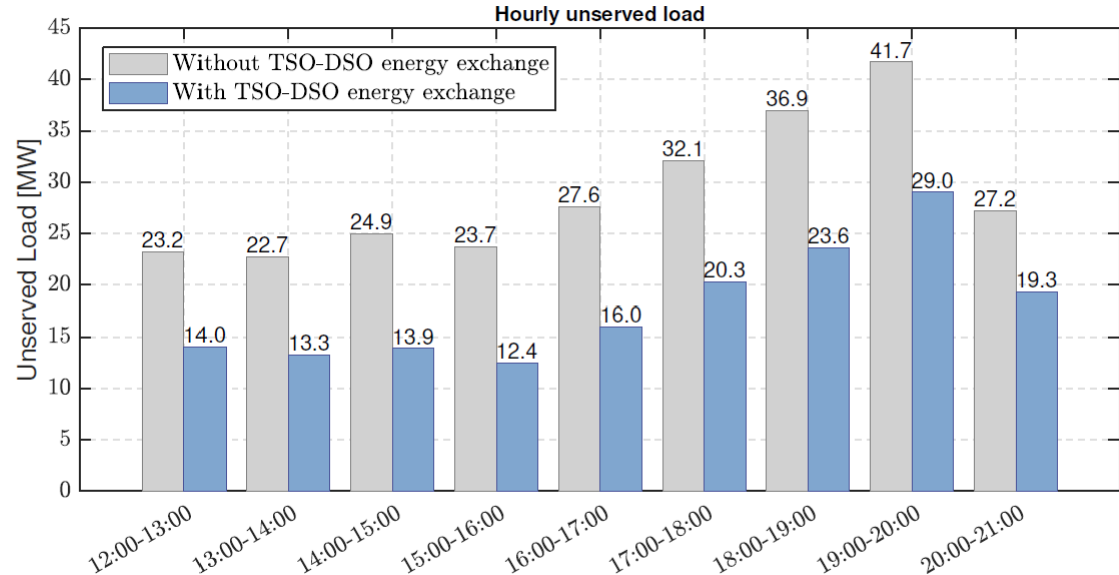
- Promjenjivi uvjeti u mreži
- Stvarna 24-satna mjerenja opterećenja i proizvodnje DIE
- Scenarij oluje s udarima vjetra do 50,88 m/s na promatranom području

Prostorni model promatranog dijela hrvatske elektroenergetske mreže

Primjena okvira za poboljšanje otpornosti sustava (2)



(a)



(b)

a) Vrijeme stabilizacije frekvencije nakon ispada vodova; b) Neposluženo opterećenje tijekom trajanja ispada vodova

Zaključak i budući rad

- Dinamika distribucijskog sustava utječe na ponašanje cijelog sustava
- Potreban holistički pristup planiranju otpornosti
- Distribucijske strategije trebaju doprinijeti sustavnoj otpornosti
- Ključno za buduće sustave s niskom tromosti
- Ranjivost čvorišta DIE na ekstremne događaje
- Utjecaj vrste i intenziteta hazardnog događaja na dostupnost i rad DIE

Hvala na pažnji!

bojana.barac@fer.hr

