



Energy Positioning: Control and Economics

Hrvoje Pandžić



UNIVERSITY *of*
WASHINGTON

Zagreb, 02. listopada 2012.

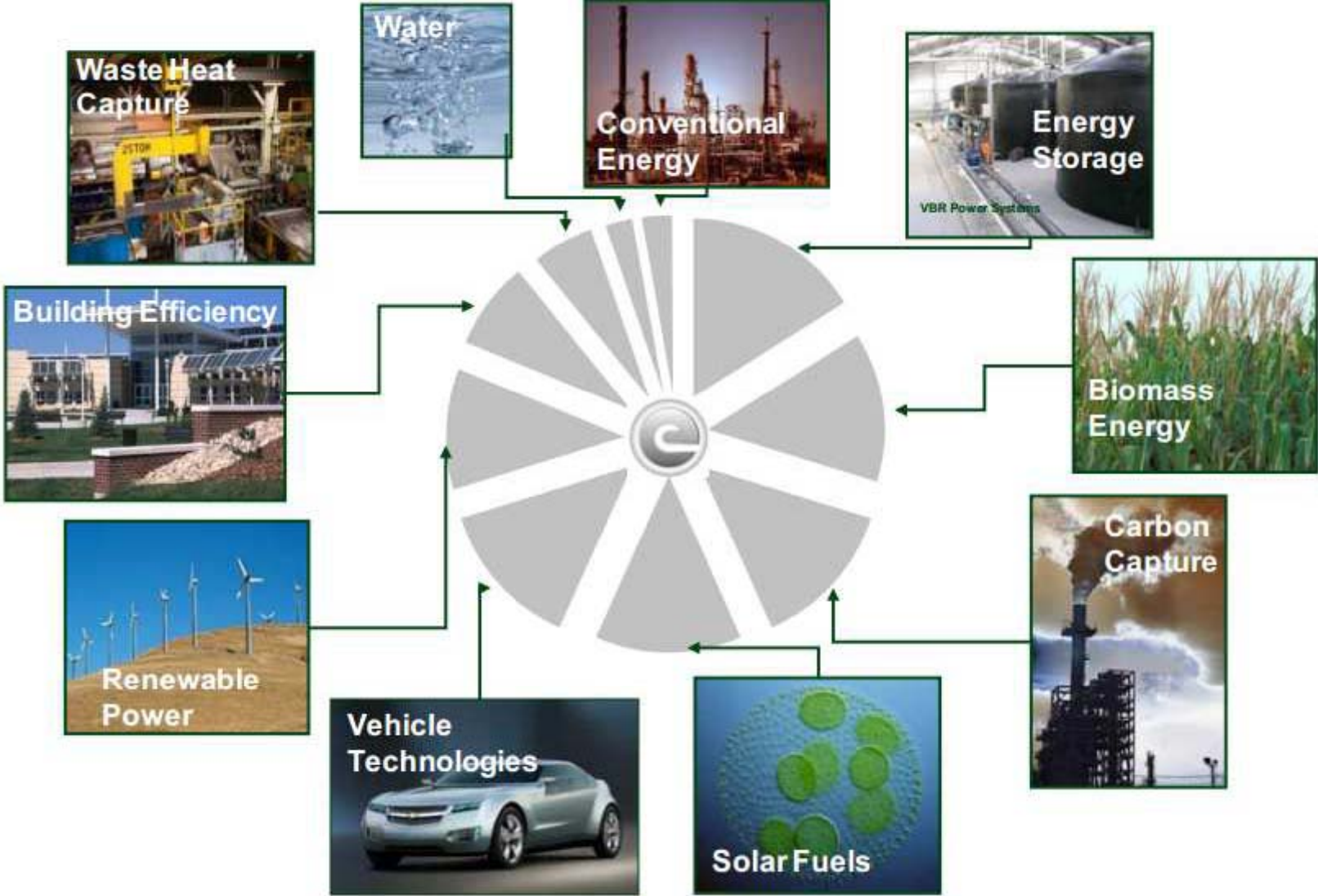
O projektu

- Nacionalna akademija SAD-a 2006. godine izdala je izvještaj *Rising Above the Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future*
- Posljedica je osnivanje *Advanced Research Projects Agency—Energy* (ARPA-E) unutar Ministarstva energetike (*Department of Energy – DOE*)

O projektu

- Preko pola milijarde dolara za financiranje projekata iz područja energetike
- Osobiti naglasak na primjenjivost projekata – *Technology to the Market*
- Projekt je u sklopu programa *Green Electricity Network Integration* – GENI
- Cilj programa je poboljšati prijenosni sustav u svrhu integracije obnovljivih izvora

ARPA-E Programi



O projektu

- Naziv: Energy Positioning: Control and Economics
- Voditelj: prof. Daniel Kirschen (UW)
- Ustanove: UW (Kirschen) i UM (Hiskens)
- Službeni početak projekta: 1. ožujka 2012.
- Trajanje projekta: 3 godine
- Financiranje: 1.4 milijuna dolara

Opis projekta

- Osnovna značajka elektroenergetskog sustava današnjice je da proizvodnja slijedi potrošnju
- Takvi sustavi uspješno postoje desetljećima, no javljaju se čimbenici zbog kojih je sve teže upravljati takvim sustavom:
 - Energija vjetra (i Sunca) nije pogodna za praćenje potrošnje;
 - Elektrane na obnovljive izvore udaljene su od centara potrošnje što poskupljuje prijenosni sustav te uzrokuje zagušenja i kaskadne ispade.

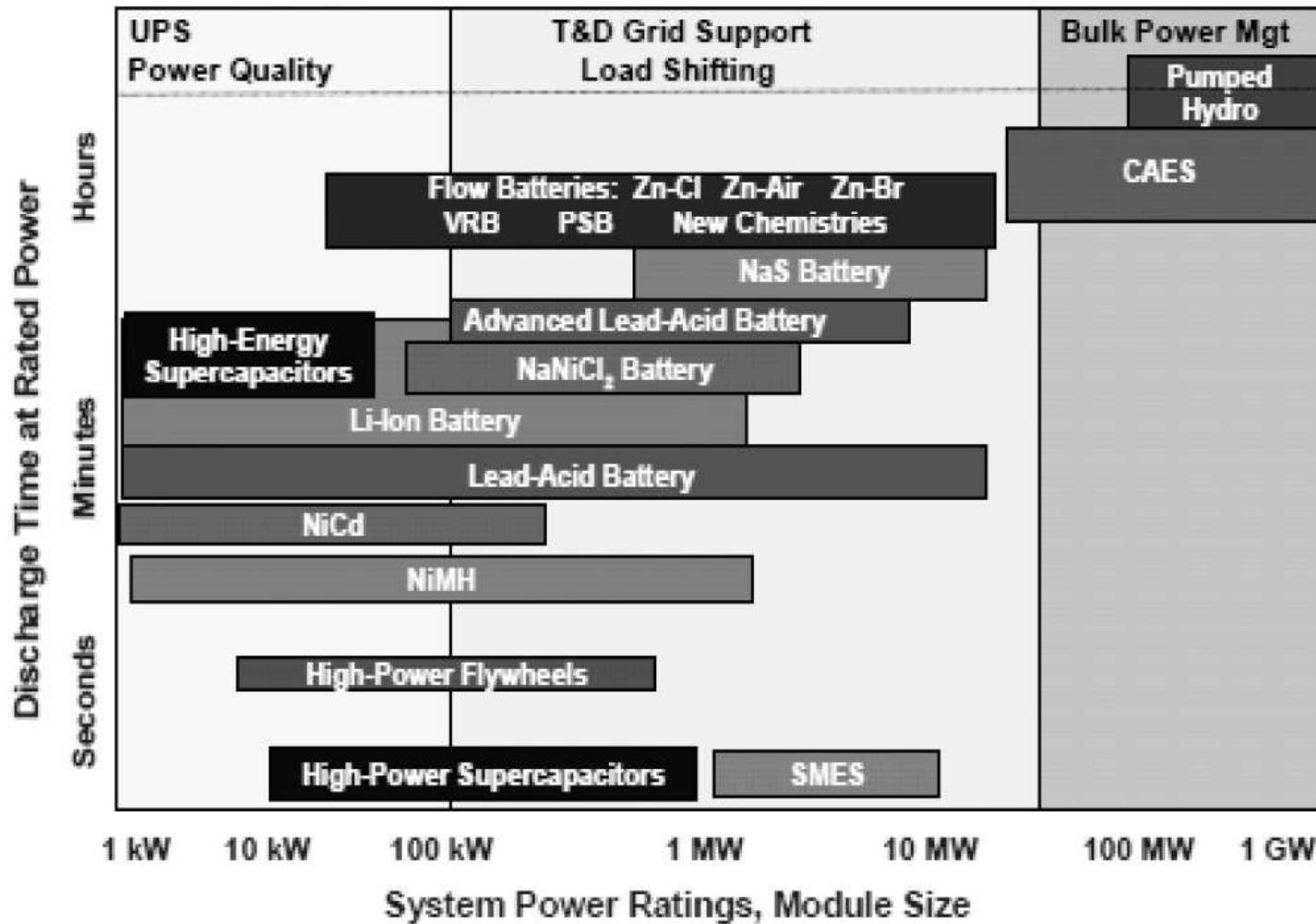
Opis projekta

- Rješenje: optimalno raspoređena i dimenzionirana energetska skladišta
- Rezultat:
 - Značajno veća penetracija obnovljivih izvora
 - Smanjenje ulaganja u prijenosnu mrežu
- Energy Positioning:
 - Snaga -> Energija
 - Trajektorija stanja skladišta tijekom vremena

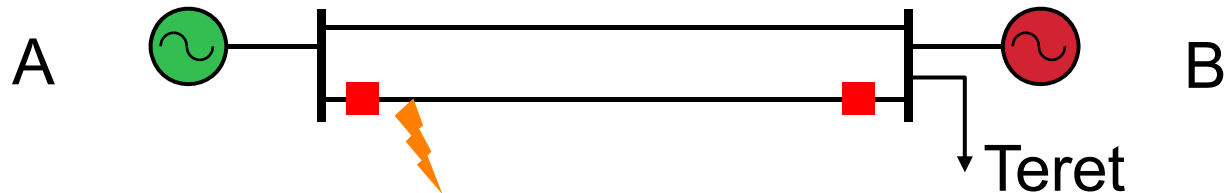
Opis projekta

- Energetska skladišta imaju značajnu ulogu prilikom kvarova u mreži (brz odziv)
- Omogućuju ekonomičniji pogon sustava
- Preventivna sigurnost -> Korektivna sigurnost

Tehnologije

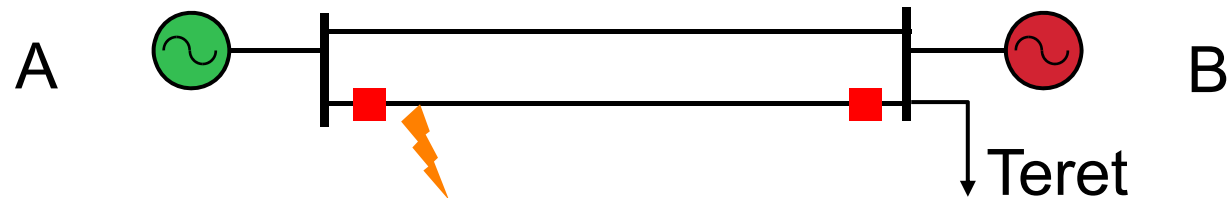


Preventivna sigurnost ($n-1$)



- Kapacitet svakog voda: 200 MW
- Budući da agregat B ne može dovoljno brzo povećati proizvodnju, svaki vod mora biti u mogućnosti prenijeti cjelokupnu proizvodnju agregata A
- Proizvodnja agregata A ograničena je na 200 MW (trajna prijenosna moć vodova)

Korektivna sigurnost ($n-1$)



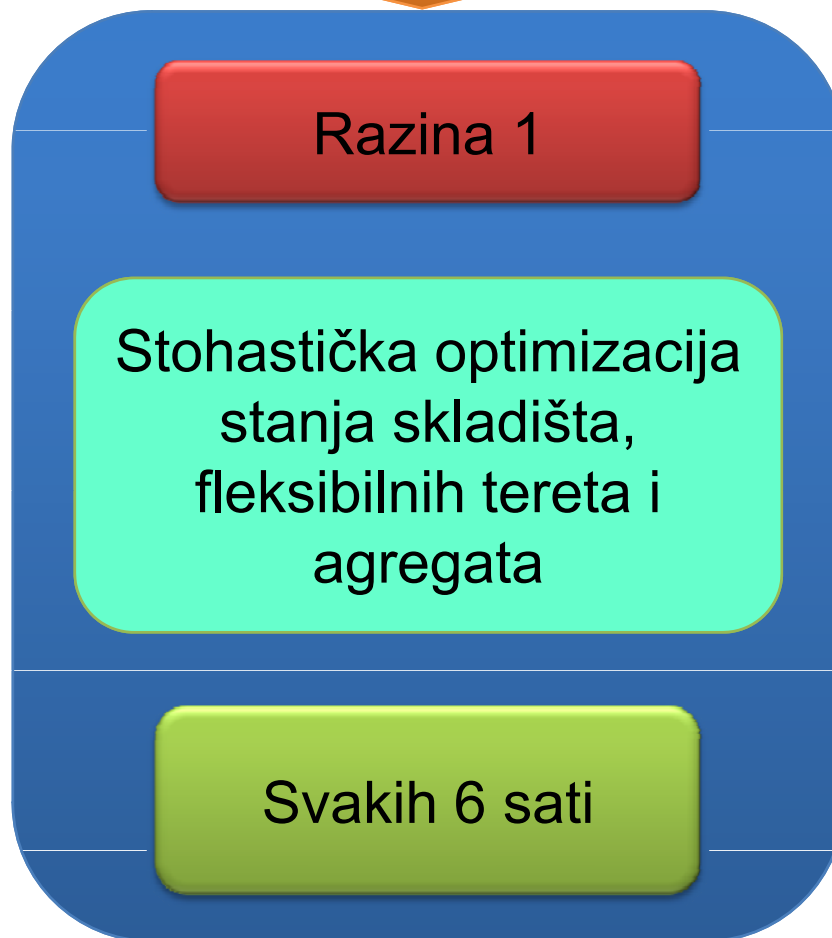
- Uzima u obzir kratkotrajno termičko preopterećenje vodova
- Proizvodnja agregata A ograničena je na 250-280 MW (kratkotrajna prienosna moć vodova)

Metoda istraživanja

- Istraživanje je podijeljeno na tri razine
- Razina 1
 - Optimizacija sustava za sljedeća 24 sata
 - Ponavlja se svakih 6 sati
 - Zbog golemog broja varijabli koristi se istosmjerni model
 - Predaje razini 2 optimalnu trajektoriju sustava

Razina 1

Predviđanje



Optimalna trajektorija sustava

Metoda istraživanja

- Razina 2
 - Periodično provjerava stvarno stanje sustava i usklađuje s optimalnom trajektorijom
 - U slučaju povoljnije proizvodnje obnovljivih izvora postiže bolje uvjete od uvjeta iz trajektorije preuzete od razine 1
 - Izmjenični model
 - Osigurava odgovarajuće resurse za korektivno upravljanje u odgovarajućim čvorištima mreže

Razina 2

Stvarni
uvjeti

Razina 2

Optimalna
trajektorija
sustava

Prilagodba stvarnim
uvjetima i praćenje
optimalne trajektorije
sustava

Ciljane
vrijednosti
varijabli

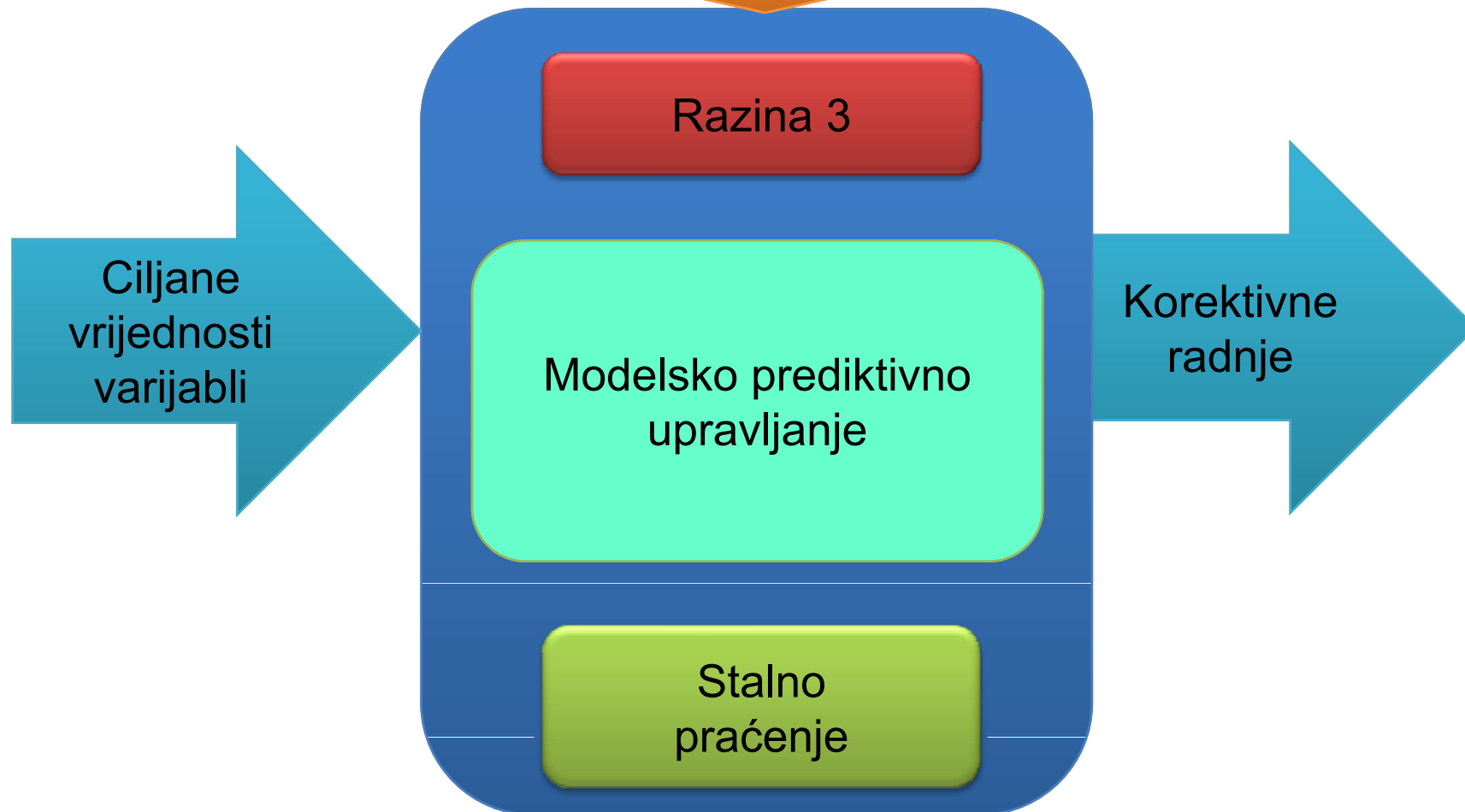
Svakih 15 minuta

Metoda istraživanja

- Razina 3
 - Kontinuirano prati stanje sustava
 - Otkriva prekoračenja upravljačkih ograničenja uzrokovana ispadima elemenata mreže
 - Određuje i provodi korektivne radnje

Razina 3

Prekoračena
ograničenja



Metoda istraživanja

- Među razinama postoje povratne veze
- Model razine 2 je precizniji od modela razine 1 te se ograničenja sustava ažuriraju i u razini 1
- Ukoliko se u razini 2 ustanovi da je stvarno stanje sustava udaljeno od idealne trajektorije, razina 1 će ponovno optimizirati i izračunati optimalnu trajektoriju sustava
- Razina 3 šalje signal razini 2 ukoliko su provedene korektivne radnje

Metoda istraživanja

- U okomito ustrojenom elektroenergetskom sustavu razina 1 je zadaća planera sustava za dan unaprijed, a razina 2 je zadaća dispečera
- U tržišnom okruženju operator tržišta provodi razinu 1 na temelju licitacija na tržištu, a razina 2 je zadaća operatora sustava (uz jasno naznačene penale u slučaju odstupanja)
- Razina 3 je distribuirana i visoko automatizirana pod nadzorom operatora sustava

Ljudi uključeni u projekt

- UW: prof. Kirschen + 1 postdoc + 2 PhD studenta
- UM: prof. Hiskens + 1 postdoc + 2 PhD studenta
- Industry Advisory Board
- UW je zadužen za razinu 1 i dio razine 2, a UM za dio razine 2 i razinu 3

Izvješćivanje

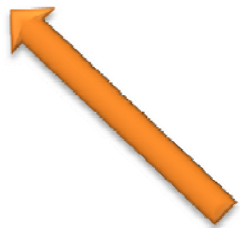
- *Deliverables* svaka 3 mjeseca – sve napravljeno u sklopu istraživanja (mora biti u skladu s planom istraživanja)
- Kvartalni izvještaji – uključuju istraživačke i administrativne dokumente
- Nakon predaje izvještaja sastanak s kontrolnim odborom

Unit
Commitment
(UC)

Raspored pogona agregata
u svrhu zadovoljenja opterećenja
uz minimalne troškove



Kombinacija binarnih i
kontinuiranih varijabli



Ne uzima u obzir ograničenja mreže

Unit
Commitment
(UC)



Dodavanje skladišta i
fleksibilnih tereta

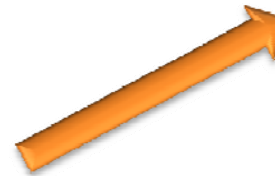
“Napredni”
UC

Dispečiranje agregata
(točan iznos proizvodnje)



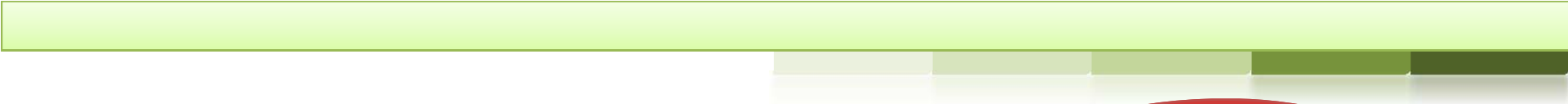
Optimal Power
Flow (OPF)

Uzimaju se u obzir
ograničenja meže



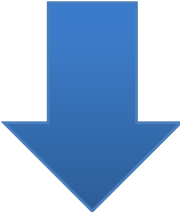
Uglavnom kontinuirane varijable



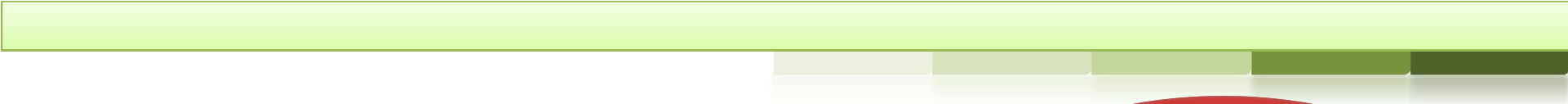


Optimal Power
Flow (OPF)

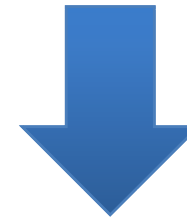
Dodavanje $n-1$
ograničenja



Security
Constrained OPF
(SCOPF)

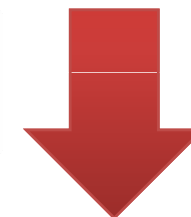


Optimal Power
Flow (OPF)

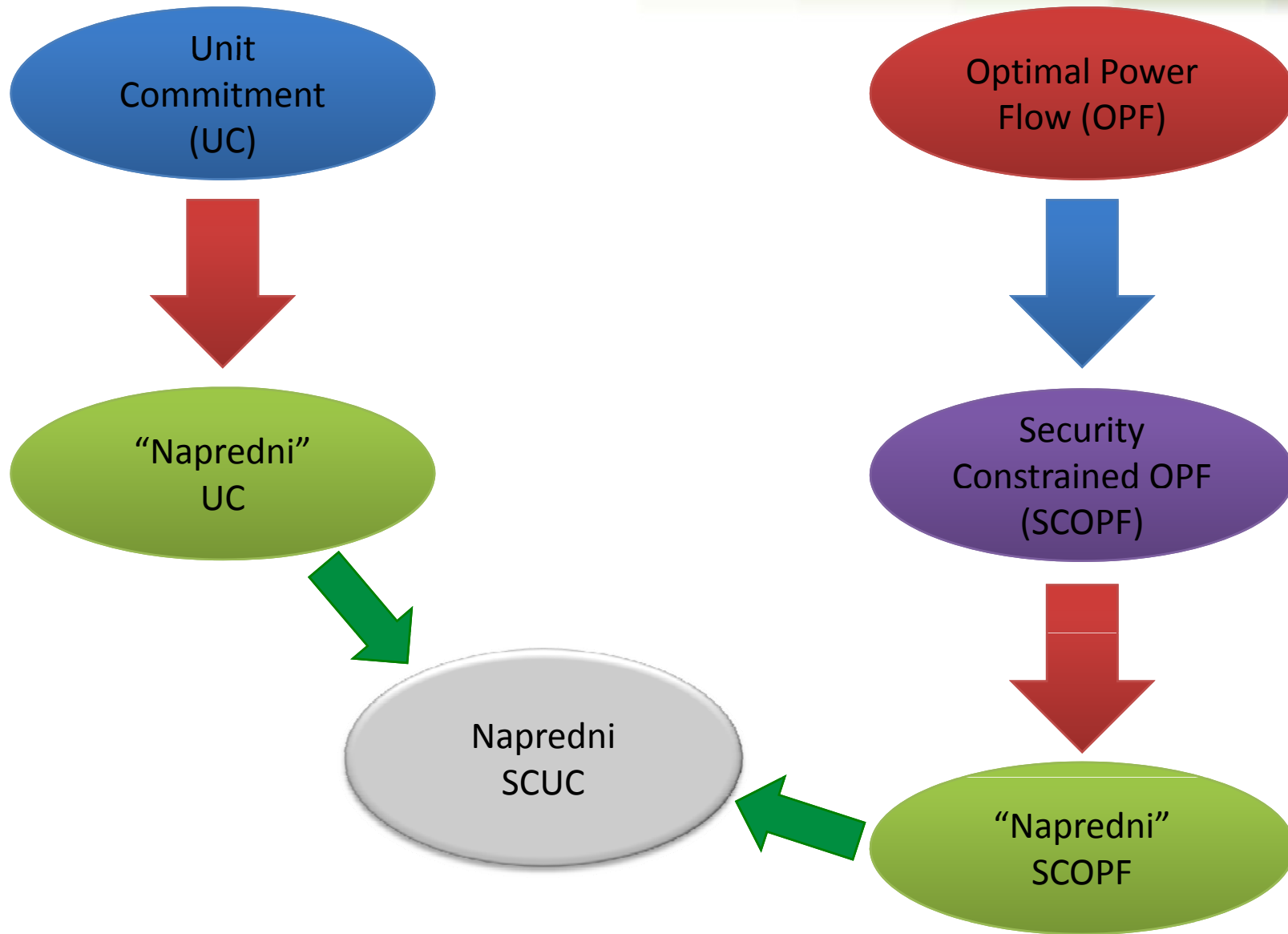


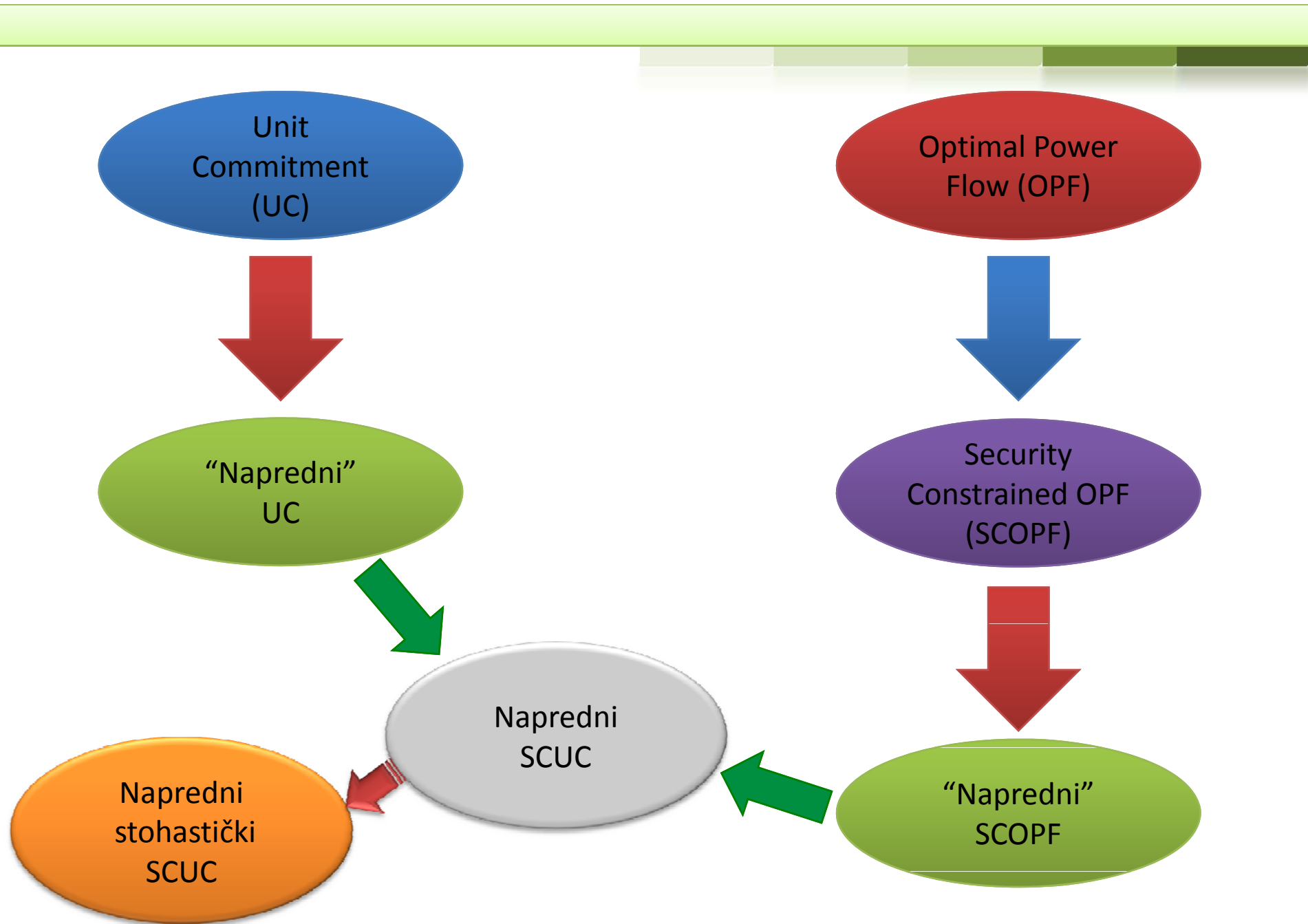
Security
Constrained OPF
(SCOPF)

Dodavanje skladišta
i fleksibilnih tereta



“Napredni”
SCOPF





UC modeli

- Testna mreža je IEEE RTS-96 (96 generatora, 120 vodova, 73 sabirnice)
- Implementirana 4 UC modela (deterministički)
- Trenutno se radi na implementaciji stohastičkih parametara
- Stohastička optimizacija je neučinkovita (golemo vrijeme računanja), uvođenje robustne optimizacije

UC modeli

	3BIN_ORG	3BIN_MINUD	3BIN_SUC	1BIN_ORG
Funkcija cilja	Min troškova	Min troškova	Min troškova	Min troškova
Bin. Varijable	3	3	3	1
SU/SD binarna logika	Da	Da	Da	Ne
Snaga generatora	Da (linearizirana po dijelovima)	Da (linearizirana po dijelovima)	Da (linearizirana po dijelovima)	Da (linearizirana po dijelovima)
Min. up/down	Da	Poboljšano	Da	Da
Promjena snage	Da	Da	Da	Da
Brojač OFF	Da	Da	Ne	Ne
SUC	Da	Da	Poboljšano	Poboljšano
Ograničenja mreže	Da	Da	Da	Da

3BIN_ORG – Arroyo, Conejo

3BIN_MINUD – Rajn, Takriti

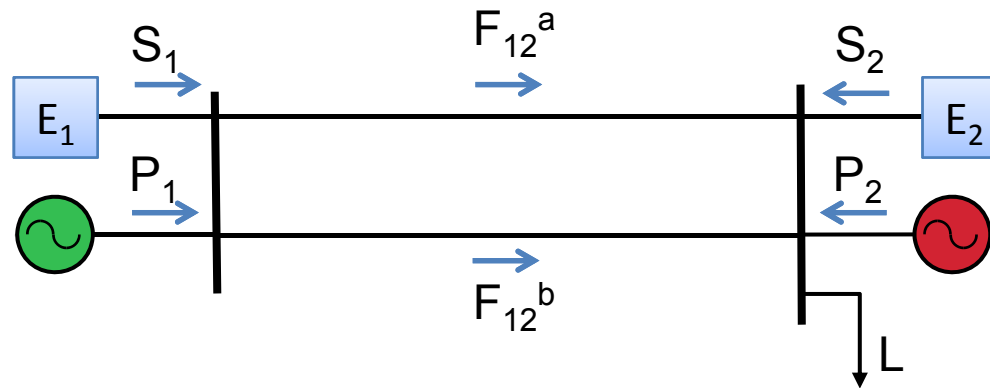
3BIN_SUC – Simoglou, Biskas, Bakirtzis

1BIN_ORG – Carrion, Arroyo

UC rezultati

<i>t</i>	Funkcija cilja	3BIN_ORG	3BIN_MINUD	3BIN_SUC	1BIN_ORG
1	87569,84	8,5 s	7,5 s	7,3 s	7,5 s
2	164690,62	8,6 s	9,5 s	7,8 s	8,1 s
3	236953,49	8,0 s	8,0 s	7,8 s	9,1 s
4	307609,27	8,5 s	9,3 s	8,1 s	10,1 s
5	378265,06	11,3 s	9,0 s	8,8 s	11,7 s
6	450545,72	15,7 s	11,9 s	10,3 s	19,6 s
7	545910,20	18,0 s	24,2 s	16,9 s	59,6 s

SCUC model



$$P_1 = L$$

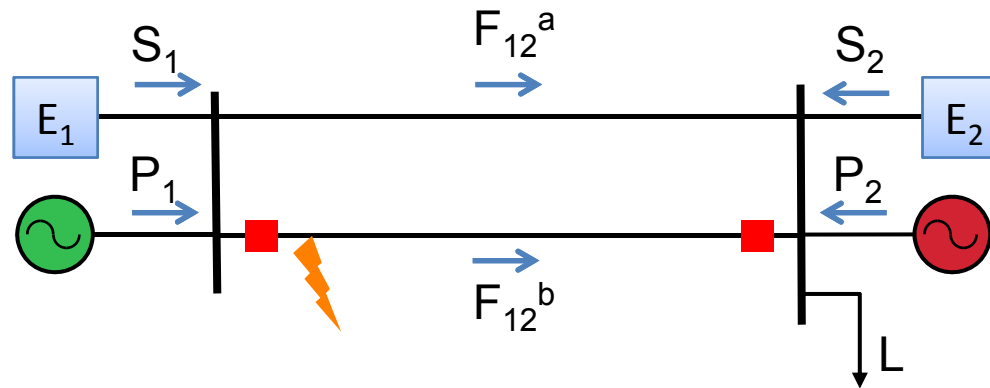
$$P_2 = 0$$

$$S_1 = 0$$

$$S_2 = 0$$

$$F_{12}^a = F_{12}^b = 1/2 P_1$$

SCUC model



$$F_{12}^b = 0$$

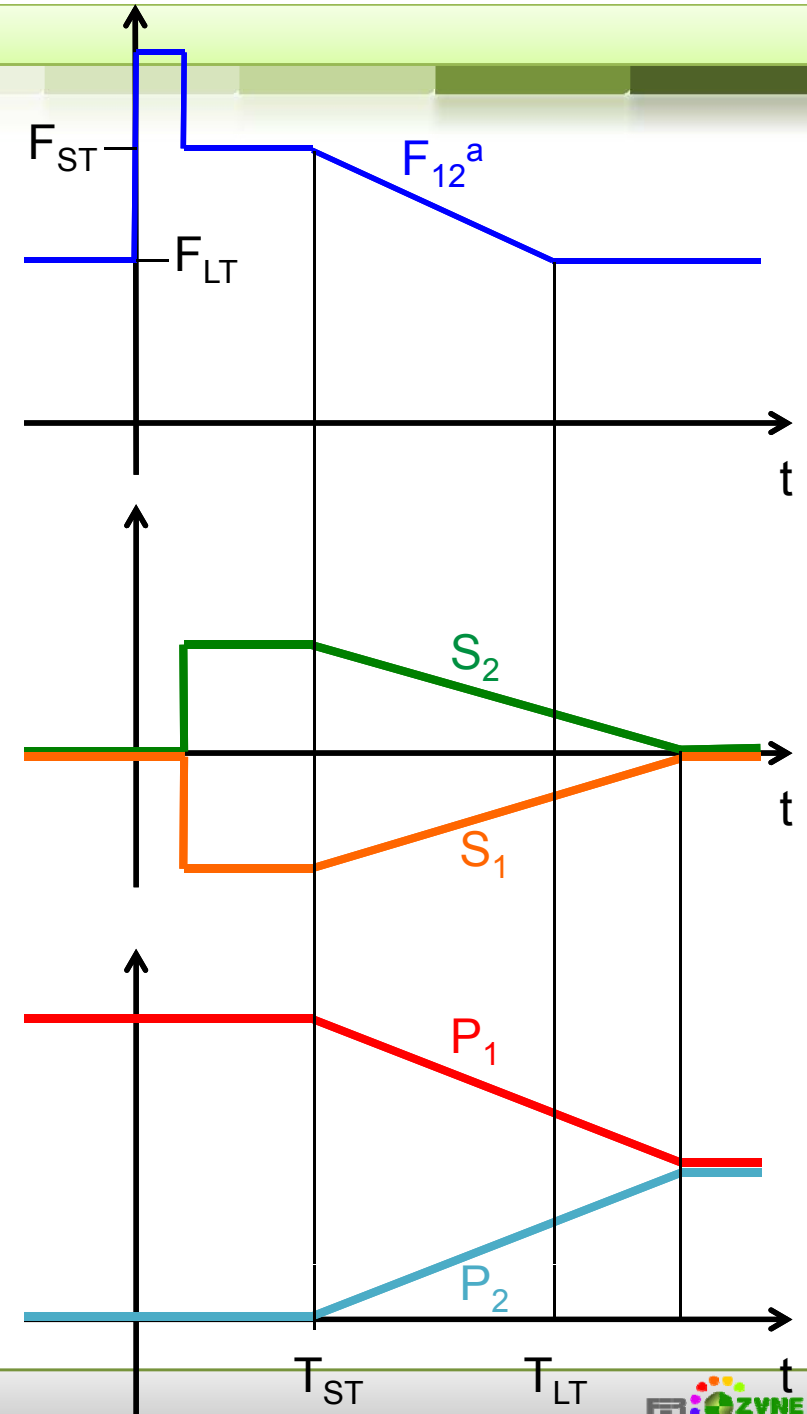
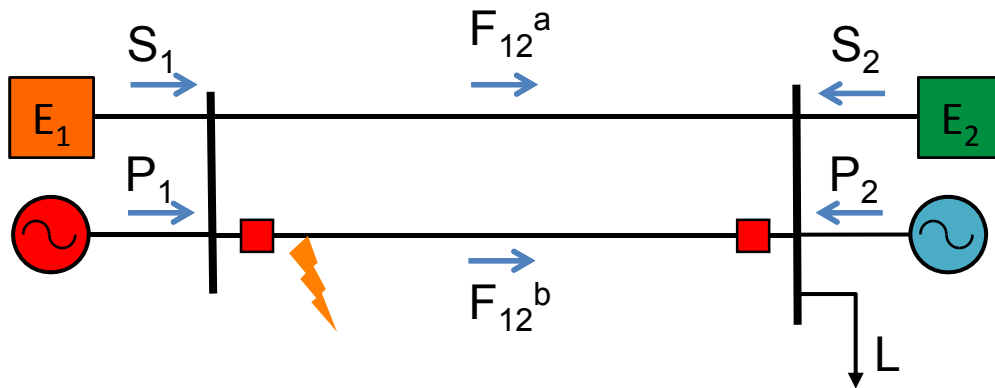
$$F_{12}^a = P_1$$

Preventivna sigurnost: $P_1 = F_{12}^a \leq F_{LT}$

Korektivna sigurnost: $P_1 = F_{12}^a \leq F_{ST}$

$$F_{ST} \sim 1.4 F_{LT}$$

SCUC model



SCUC model

- $n-1$ analizu potrebno je provesti za sve elemente mreže i dodati nova ograničenja stacionarnom UC modelu
- Ogromni računalni zahtjevi



KRAJ (za sada)

Zahvaljujem na pažnji