

NAPREDNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I SISTEMI

-Predavanja-

NAPREDNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE I SISTEMI

- Osnovna literatura:

Nouredine Hadjsaïd, Jean-Claude Sabonnadière, Smartgrids, ISTE Ltd,
John Wiley & Sons, London, 2012

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

- Definicija:

- Mreža koja na pametan način integriše sve korisnike (potrošače, proizvođače i njihove kombinacije) u cilju efikasnijeg izvršavanja usluga (sigurno, održivo i ekonomično snabdijevanje)
- Mreža koja koristi napredno procesiranje i digitalne komunikacije kako bi bila observabilna, kontrolabilna, automatizovana i potpuno integrisana
- Mreža koja koristi digitalne tehnologije kako bi unaprijedila pouzdanost, sigurnost i efikasnost eksploatacije počev od centralizovane proizvodnje, snabdijevanja i distribuirane proizvodnje
- Sinonim – pametna mreža (*smart grid*)

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

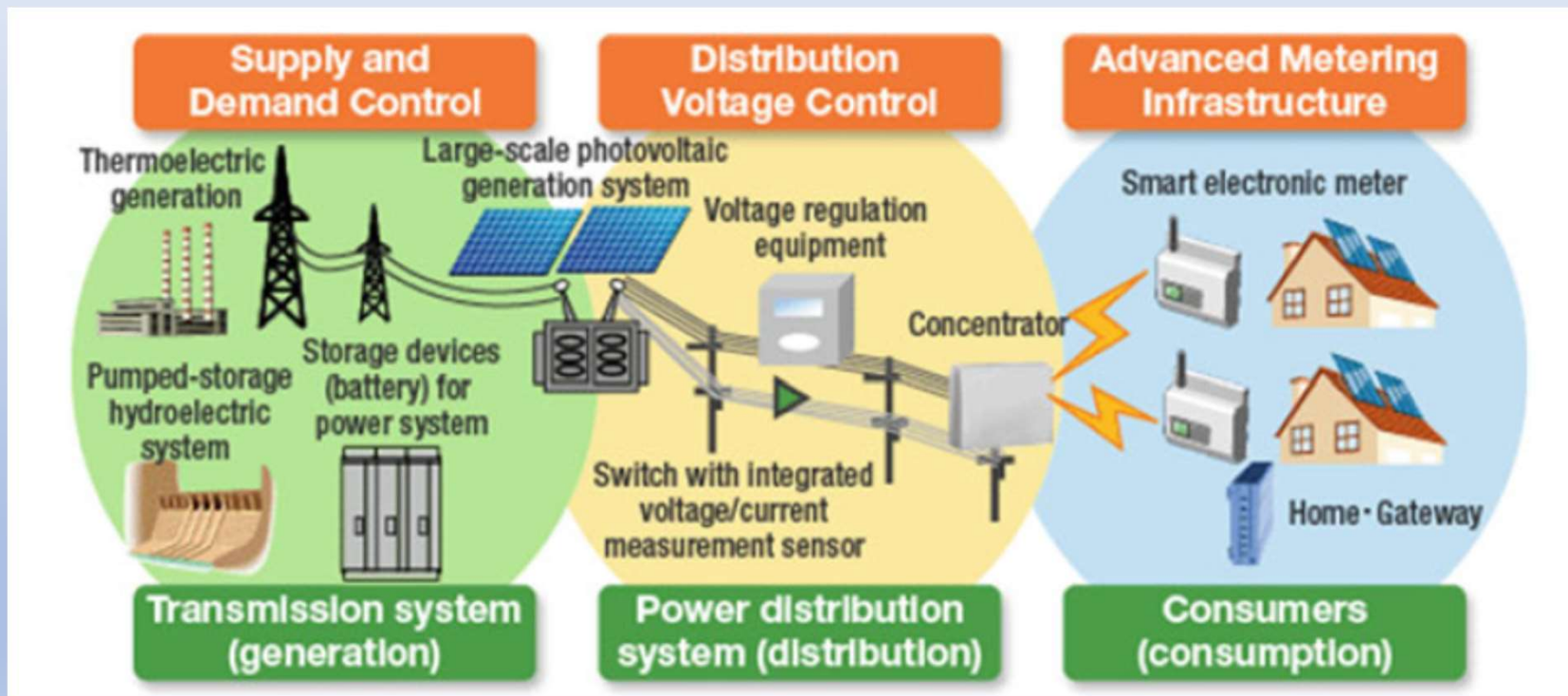
- Mreže su razvijane za potrebe potrošača (pasivne)
- Produkcija zasnovana na fosilnim gorivima i centralizovanim izvorima
- Razvoj tržišta električne energije
- Povećavanje zahtjevanih standarda kvaliteta snabdijevanja
- Razvoj ICT
- Razvoj distribuirane proizvodnje
- Prepoznat veliki potencijal energetske efikasnosti
- Upravljanje potrošnjom

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

- Cilj:

- Efikasnije korišćenje raspoloživih resursa (proizvodnih i mrežnih)
- Povećanje pouzdanosti do nivoa koju su se smatrali nedostižnim za klasične mreže
- Omogućavanje daljeg razvoja u pogledu efikasnosti
- Uticaj na smanjenje cijena
- Aktivnije uključivanje potrošača u snabdijevanje električnom energijom
- Bolja i veća integracija OIE
- Uključivanje električnih vozila kao korisnog aktera u EES
- Omogućavanje održivog razvoja i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.



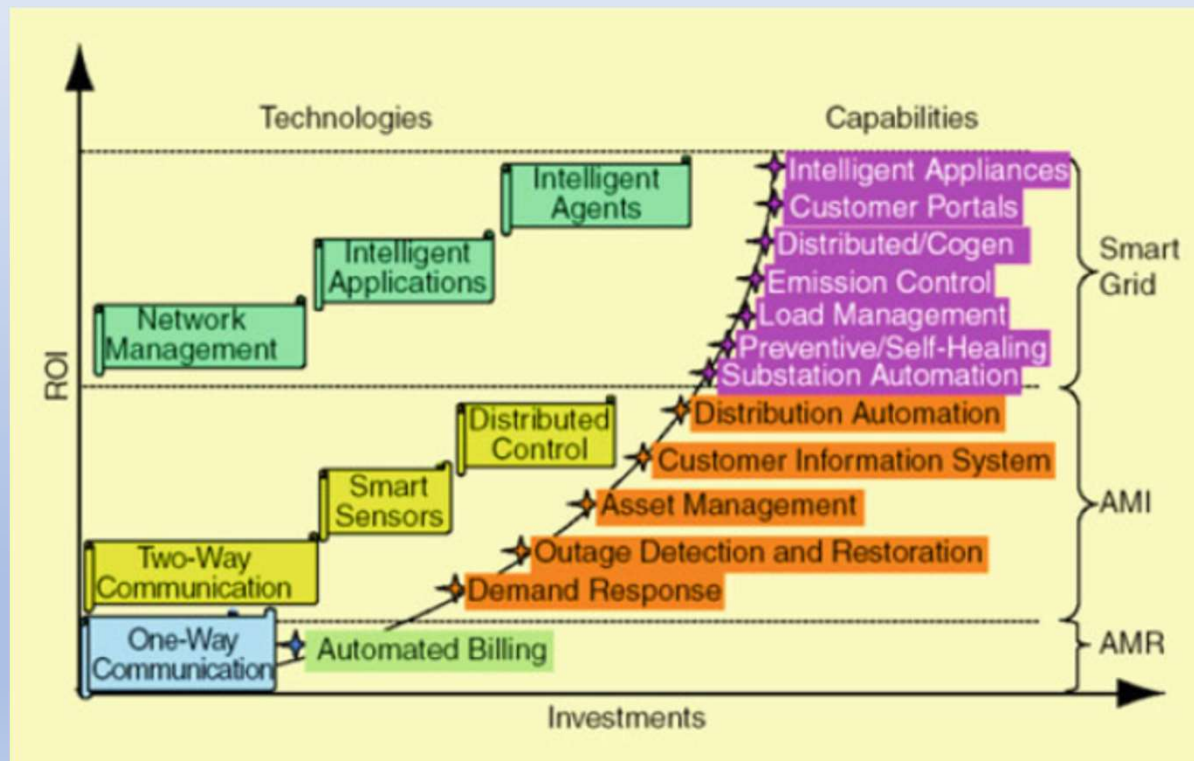
Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

- Karakteristike naprednih mreža:
 - Omogućavaju da potrošači igraju značajnu ulogu u optimizaciji eksploatacije mreža (upravljanje potrošnjom, mikro proizvodnja, električna vozila, dinamičke cijene električne energije, napredna mjerna infrastruktura)
 - Omogućavaju lakšu integraciju intermitentne proizvodnje i koordinaciju svih vrsta proizvodnih objekata
 - Optimizuje i automatizuje upravljanje mrežnom konfiguracijom – efikasnije korišćenje resursa
 - Unaprjeđivanje pouzdanosti i sigurnosti sistema kroz automatizovane rutine posebno osmišljenje za režime kvarova
 - Unaprjeđuje kvalitet snabdijevanja i otvara tržište za veći broj aktera

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

- Razvoj naprednih mreža
 - Tradicionalne mreže – strogi hijerarhijski sistem (izvor-mreža-potrošač)
 - Izvor ne posjeduje informaciju o kvalitetu usluge
 - Sistem mora biti dimenzionisan za maksimalno opterećenje koje ne mora biti često (trajno) – sistem mora biti predimenzionisan
 - SCADA sistemi – alat za bolje praćenje sistema i efikasniju eksploataciju
 - Nedostatak resursa za centralizovanu proizvodnju – distribuirana proizvodnja
 - AMR sistemi (očitanje) – početak razvoja napredne mjerne infrastrukture (AMI)
 - AMI – praćenje opterećenja u realnom vremenu

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

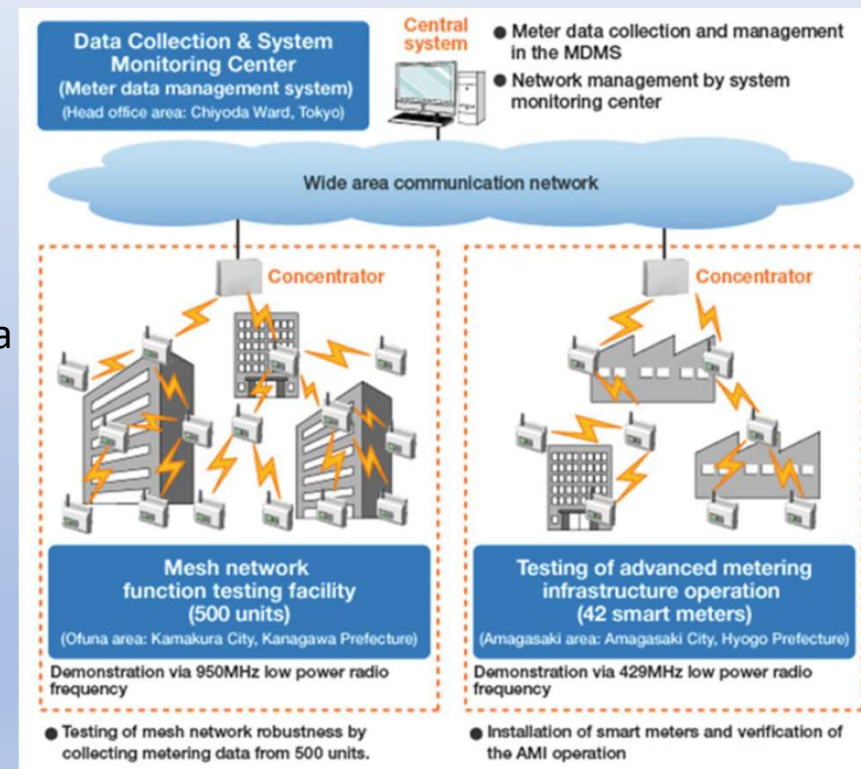


Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

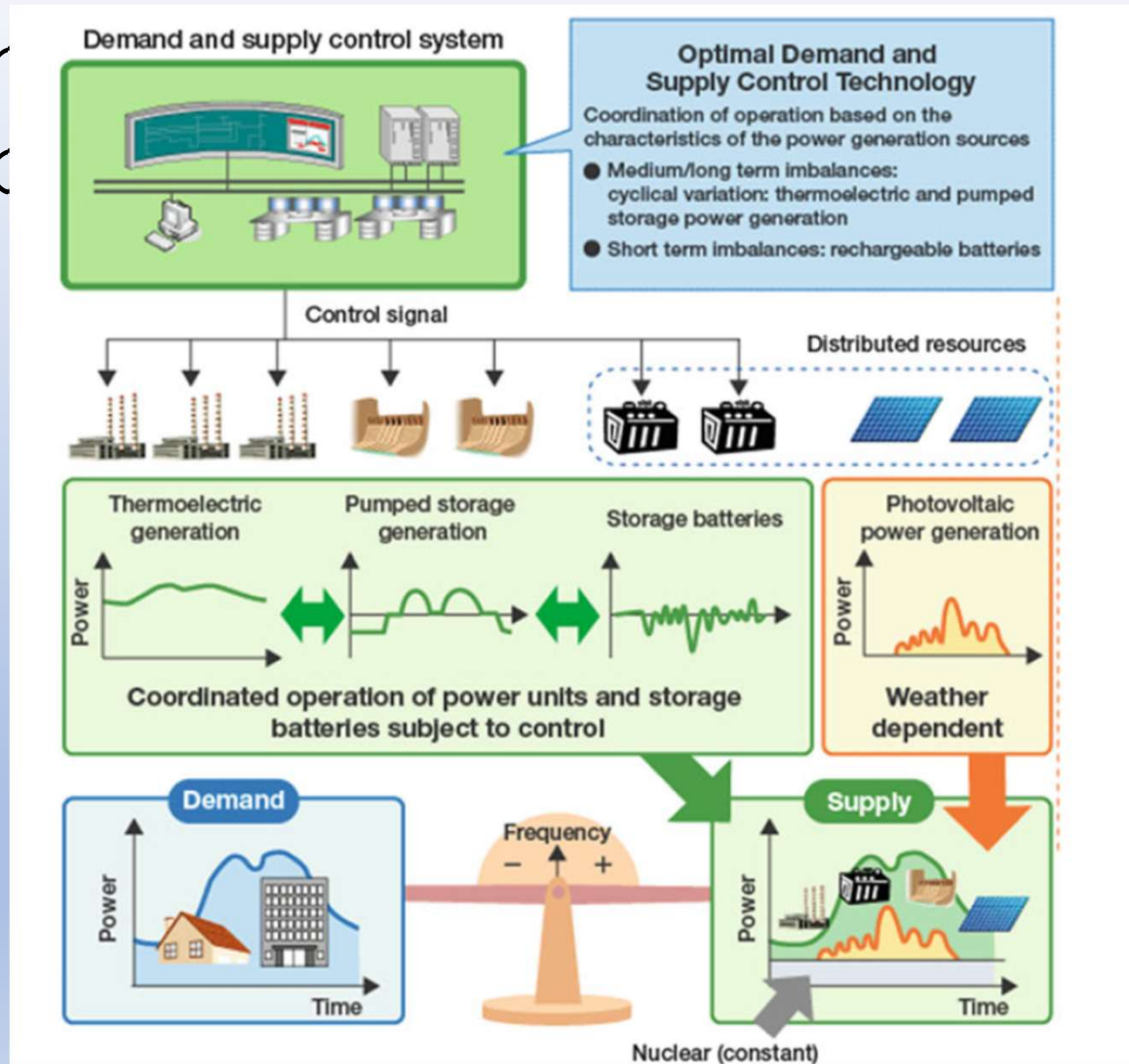
- Komponente pametnih mreža:
 - Monitoring i upravljanje
 - Novi pravci tokova snaga, regulacija napona, dinamičko praćenje potrošnje i proizvodnje
 - Prenosna mreža
 - Sigurna isporuka i tokom dinamičnih promjena u opterećenju i proizvodnji
 - Novi alati: dinamički proračun optimalnih tokova snaga, estimacija stanja, stabilnost, pouzdanost i tržišne analize
 - PMU, senzori, ICT – osnovni hardver
 - Interfejs smart uređaja
 - Distributivna mreža
 - AMI, komunikaciona infrastruktura
 - Automatizovana detekcija kvarova, optimizacija tokova snaga, naponskog profila

Napredne elektroenergetske mreže i sistemi. Pojam, preduslovi i perspektiva.

- Komponente pametnih mreža:
 - Skladištenje energije
 - Balansiranje intermitentnih OIE
 - Upravljanje potrošnjom
 - Novi OIE značajno otežavaju balansiranje sistema
 - DSM omogućava uticaj na krivu opterećenja
 - Koordinacija sa proizvodnjom
 - Uključivanje elektromobilnosti
 - Aktiviranje maloprodajnog tržišta el. energije



Napredn
Pojam, p



istemi.

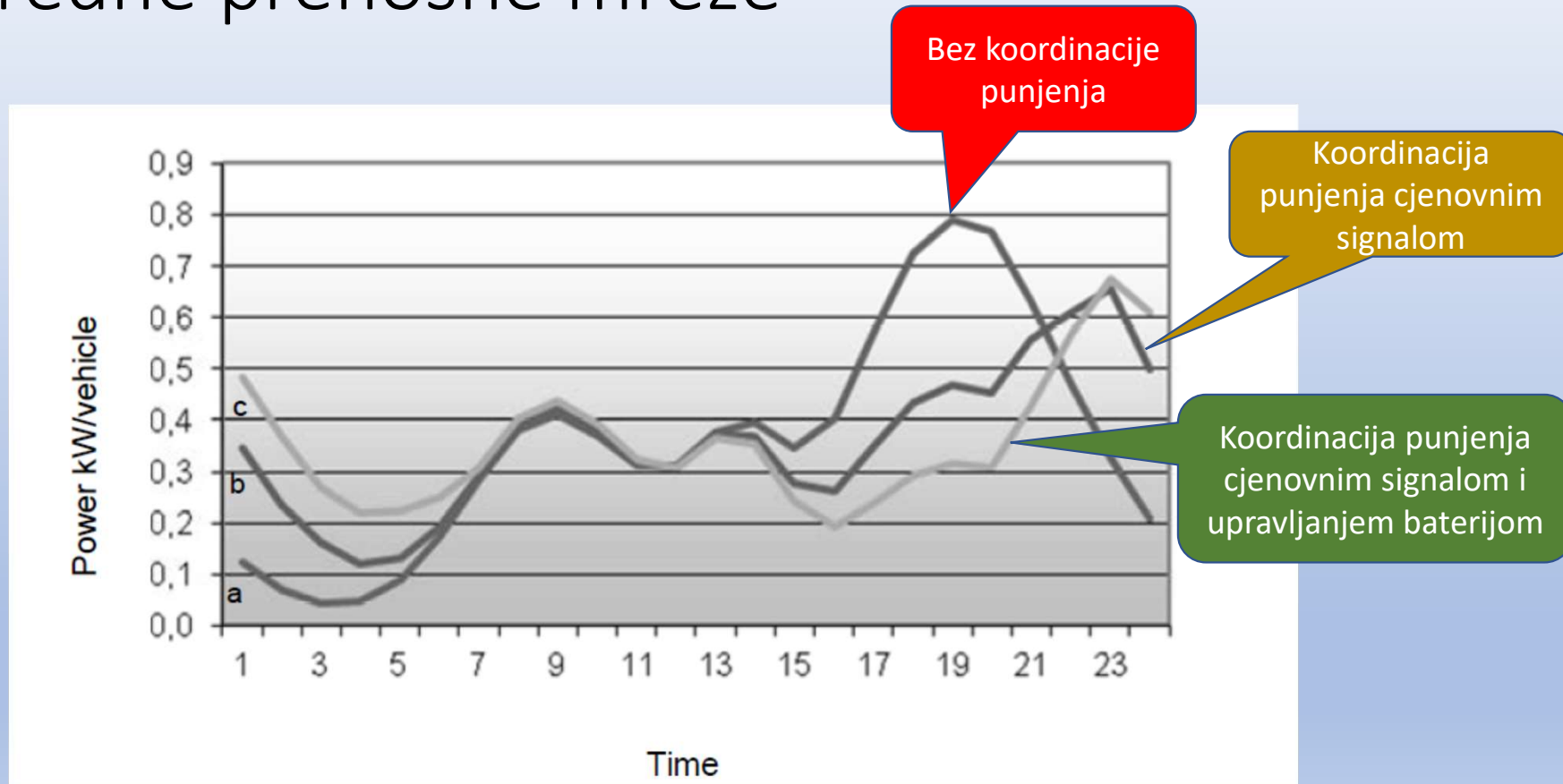
Napredne prenosne mreže

- Aktivni potrošač i visoka integracija OIE su glavne karakteristike naprednih mreža
- Efikasna integracija svih korisnika u cilju omogućavanja sigurnog snabdjevanja pod minimalnim troškovima
 - Neophodno je obezbijediti: informacije, komunikacije i tehnologije radi postizanja observebilnosti i kontrolabilnosti
- Potrošači postaju aktivniji akteri na tržištu električne energije
- Prenosne mreže dobijaju još značajniju ulogu usljed izazovnijeg balansiranja sistema usljed visokog prisustva varijabilnih izvora
- Upotreba interkonekcija postaje još važnija zbog energetske miksa i neophodne fleksibilnosti sistema

Napredne prenosne mreže

- Dekarbonizacija – politički cilj koji otvara značajne izazove za sektor
- Upravljanje sistemom postaje značajno složenije (100 % OIE je cilj)
- Adekvatno planiranje razvoja mreže je neophodno
- Trend rasta distribuiranih OIE je takav da postaju komparabilni centralizovanim izvorima po proizvodnji
- Novi profili potrošnje i porast potrošnje takođe su važan izazov
- Čista električna energija supstituiše druge energente
- Zavisnost potrošnje od vremenskih prilika
- Trajanje vršnog opterećenja je izazov za regulaciju
- Električna vozila – koordinacija punjenja (cjenovni signal)

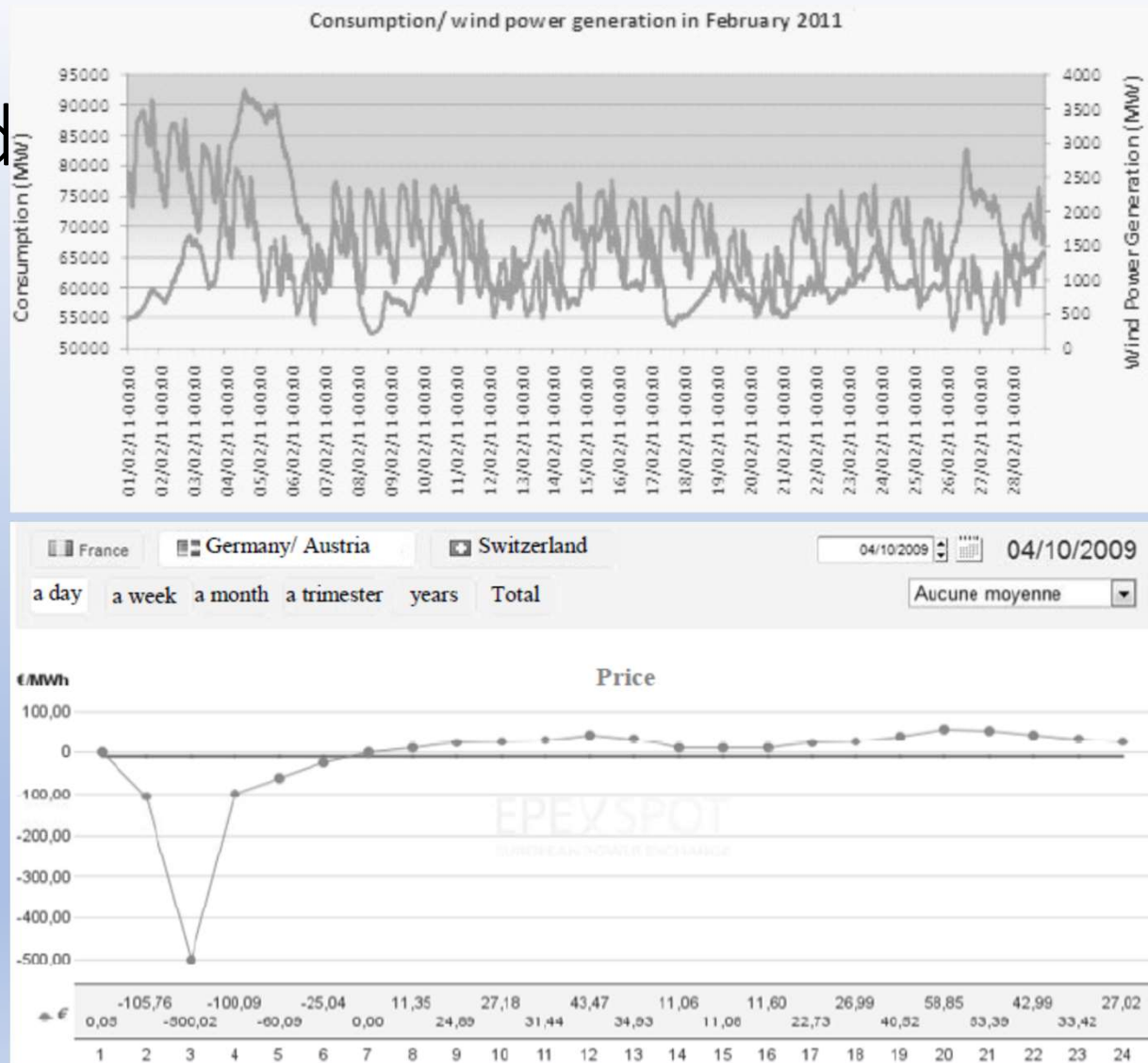
Napredne prenosne mreže



Napredne prenosne mreže

- Odgovor na nove izazove – fleksibilnost,
- Pametnije korišćenje resursa:
 - Razvoj kvalitetnijeg praćenja i upravljanja intermitentnom proizvodnjom
 - Problemi: raznovremenost proizvodnje i potražnje, negativne cijene el. energije, uticaj distribuiranih izvora na srednjenaponske mreže (nijesu projektovane za zahvat proizvodnje)
 - Napredak u istraživanju metoda za prognozu proizvodnje iz VE
 - Upravljanje potrošnjom
 - Nove ICT tehnologije, smart brojila, agregatori potrošnje, cjenovni signal – uticaj na dijagram opterećenja
 - CO2 emisije su povećane tokom sati vršnog opterećenja (gasne TE)
 - Skladištenje energije
 - Viškovi proizvodnje iz OIE tokom sati sa niskim opterećenjem se čuvaju za sate vršnog opterećenja

Napred



Napredne prenosne mreže

- Dobro povezana prenosna mreža se kvalitetnije nosi sa izazovima koje nameće povećana penetracija OIE proizvodnje
 - Veliku proizvodnju iz VE balansiraju HE iz Norveške i Danske. Tokom sati sa visokom proizvodnjom iz danskih VE primjetan je povećan uvoz kod EES Norveške i Danske
 - Kod Španije potrebnu fleksibilnost sistemu daju HE i TE na gas i interkonekcija sa Francuskom,
 - Glavni faktori koji utiču na razvoj prenosne mreže u EU su: tržište el. energije, sigurnost snabdijevanja i OIE sa približno podjednakim efektom.
 - Diversifikacija vrsta i geografskih lokacija OIE, tj. energetske miksa donosi komplementarnost u proizvodnji i TE na fosilna goriva postaju izvor rezervnog napajanja – pod uslovom da je mreža dobro razvijena

Napredne prenosne mreže

- Glavni izazovi operatora prenosne mreže:
 - Priklučenje novih OIE – geografska lokacija novih OIE značajno utiče na mogućnost priključenja pa se javlja potreba za izgradnjom značajne dužine novih VN mreža
 - Upravljanje sistemom sa visokom penetracijom OIE – intermitencija OIE, umanjivanje inercije sistema otežava očuvanje stabilnosti i sigurnosti sistema
 - Vrijeme izgradnje mreže može biti značajno duže od izgradnje OIE (10 godina naspram 3-4 godine).
 - Složene formalne procedure (regulativa, imovina, dozvole)
 - Neke države su uspjele da pripreme posebnu regulativu za ubrzanu izgradnju prenosnih mreža upravo da bi omogućile bržu i kvalitetniju integraciju OIE
 - Razvoj nove mrežne infrastrukture i alata koji osiguravaju sigurnost, fleksibilnost i optimizaciju pogona sistema su glavni ciljevi

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- EMS – Sistem upravljanja energijom – centralni računarski sistem koji na osnovu prikupljenih informacija iz sistema vrši njihovo optimalno procesiranje radi donošenja i izvršavanja upravljačkih odluka
 - Upravljanje proizvodnjom u realnom vremenu radi balansiranja sistema
 - Analiza sigurnosti pogona sistema u realnom vremenu
 - Upravljanje konfiguracijom mreže
- Sigurnost pristupa EMS je jedan od najvećih prioriteta
- Konstantno povećavanje zahtjeva za kvalitetom snabdijevanja utiče na razvoj EMS (novi OIE, pouzdanost, energetska efikasnost, nove tehnologije)

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Glavni izazovi:
 - Distribuirana proizvodnja
 - Upravljanje potrošnjom
 - Razvoj uređaja za skladištenje energije
 - Elektromobilnost
 - Mikro mreže
 - Upravljanje HVDC interkonekcijama
 - Analiza pouzdanosti mreža
 - Pametno upravljanje resursima
 - Regulatorni aspekt
 - Standardi

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Distribuirana proizvodnja:
 - Priključuje se na razne naponske nivoe (do 110 kV)
 - Promjenljiva proizvodnja, nepouzdana prognoza proizvodnje na duži period
 - Izmjena tokova snaga u mreži, dinamičnije promjene tokova snaga
 - Visoka rasutost distribuiranih izvora posebno priključenih na niskom naponu a oni ne posjeduju nikakav monitoring rada
 - Uticaji na upravljanje sistemom:
 - Modelovanje mreže
 - Prognoza proizvodnje – uvođenje probablističkih modela
 - Proračun potrebnih rezervi radi balansiranja sistema
 - Monitoring i upravljanje mrežom – ugradnja nesigurnosti uzrokovane distribuiranom proizvodnjom u mrežne analize i aplikacije za upravljanje proizvodnjom

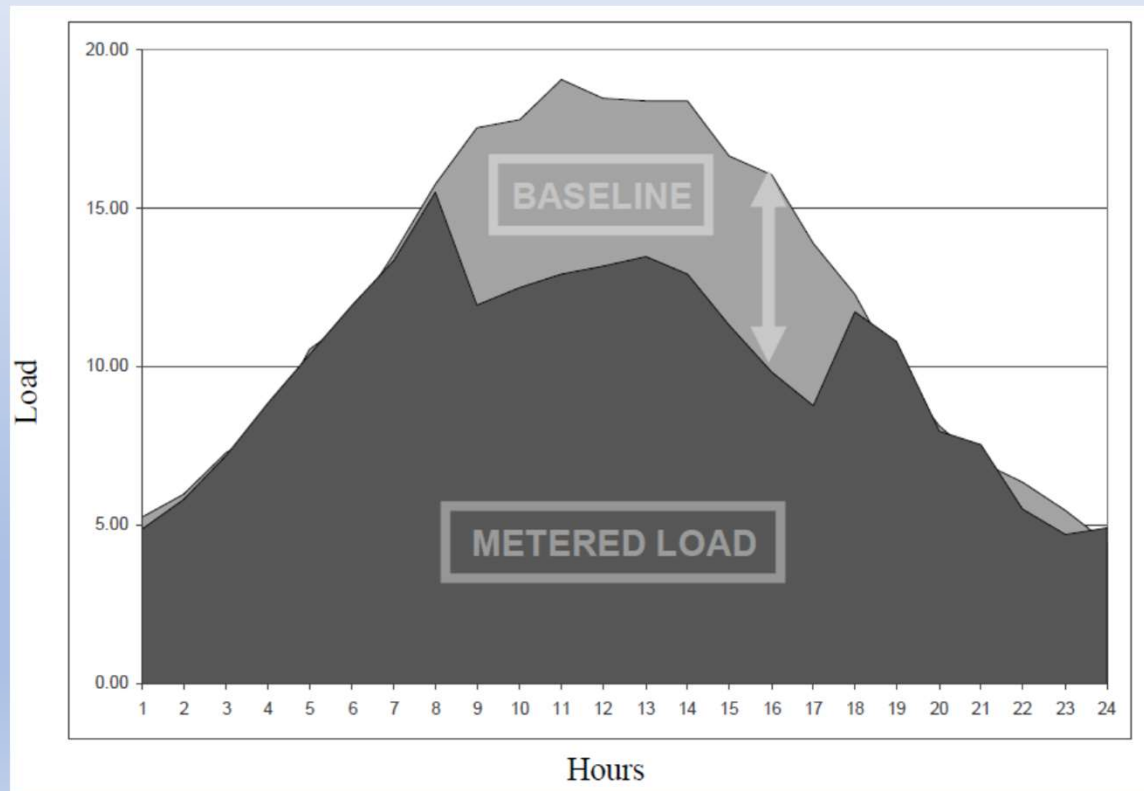
Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Distribuirana proizvodnja:
 - Uticajna mrežne modele:
 - Objedinjavanje malih jedinica u jednu ekvivalentnu kada je to moguće uz ostavljanje mogućnosti posmatranja pojedinačnih jedinica (osim za NN mreže)
 - Prognoza proizvodnje ima visok značaj
 - za VE je greška prognoze 10 % za 6 h ili 20 % za period od 24 h
 - Potrebno je pratiti prognozu vremenskih prilika za sve OIE sa dovoljnom rezolucijom
 - Obrada podataka o mjerjenjima od interesa za proizvodnju OIE uz agregiranje podataka i korelisanje sa drugim uticajnim faktorima
 - Prognoza potrebne rezerve zavisi od prognoze OIE
 - Analiza sigurnosti pogona – proširenje liste poremećaja (OIE), povećanje učestanosti proračuna
 - Monitoring i upravljanje balansom proizvodnje i potrošnje – ugradnja OIE ograničenja u optimizacione funkcije radi procjene potrebne rezerve od D-1 do realnog vremena. Isključenje OIE je opcija samo ukoliko nije moguće obezbijediti potrebne rezerve za balansiranje.
 - Simulacija mrežnih uslova – SCADA mora obezbijediti operaterima potrebne informacije o OIE

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Upravljanje potrošnjom
 - Problemi: porast vršne snage, CO₂, OIE
 - Mogućnosti: ICT i smart brojila
 - Benefiti – smanjenje P_{max}, podrška upravljanju zagušenjima, smanjenje cijena, povećanje rezervi, bolje iskorišćenje OIE
 - Organizacija:
 - Upravljanje ponudama na tržištu – registracija korisnika, agregatora, izbor ponuda
 - Integracija i aktivacija ponuda – ažuriranje plana proizvodnje
 - Mjerenje i provjera na nivou brojila i tržišta – provjera realizacije i plaćanja
 - ICT infrastruktura do potrošača – web portal za ponude, sistemi za naplatu
 - Izazovi – Procjena nivoa umanjenja potrošnje, uticaj na prognozu potrošnje (prirodna potrošnja, DSM dio i DIE SN dio)

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.



Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Skladištenje energije – balansiranje sistema, očuvanje stabilnosti
 - Akumulacione HE, reverzibilne HE
 - Elektrohemijski uređaji: baterije, vodonik, gorivne ćelije
 - Uređaji na bazi komprimovanog vazduha
 - Zamajci
- Mikro mreže
 - Obuhvataju upravljivu potrošnju, proizvodnju i uređaje za skladištenje
 - Interaguju sa sistemom kao cjelina – ponašaju se kao potrošač, proizvođač
 - Posebno prisutne na NN
 - Konverzija pasivnih mreža u upravljive konzume – bolje balansiranje sistema

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Električna vozila
 - Infrastruktura za punjenje vozila – visok uticaj na distributivnu mrežu
 - Novo, potencijalno veliko opterećenje sa nepovoljnom karakteristikom
 - Varijabilna snaga i lokacija – mobilnost opterećenja
 - Planiranje infrastrukture
 - Mogućnosti učešća u regulaciji sistema – fleksibilno upravljanje sistemom
 - Kontrolabilni punjači (stanice za punjenje) – upravljanje potrošnjom
 - Kontrolabilne baterije u vozilima
 - Primarna regulacija
 - Sekundarna regulacija
 - Rezerviranje
 - Novi resurs za planiranje proizvodnje i uticaj na tržište el. energije

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- HVDC prenos
 - Efikasniji prenos energije na veća rastojanja u odnosu na AC sisteme
 - Fleksibilne interkonekcije, kontrolabilne sa brzim odzivom
 - Integrisane u upravljačke sisteme OPS
 - Bliže podudaranje fizičkih i komercijalnih tokova snaga
 - Mogućnost učešća u sekundarnoj regulaciji učestanosti – bolja integracija OIE
 - Optimizacija tokova snaga u mreži – snižavanje gubitaka, izbjegavanje preopterećenja
 - Potrebno je jasno definisati prioritete pri korišćenju regulacije toka snage HVDC konekcije
 - Upravljanje tokom snage pogađa povezane sisteme – neophodna koordinacija
 - Definišu se jasni vremenski intervali kada kontrolu preuzima jedna strana HVDC konekcije
 - Prigušenje oscilacija u cilju poboljšanja stabilnosti sistema

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Analiza sigurnosti mreže
 - Proračuni efekata poremećaja u realnom vremenu koristeći model sistema i mjerenja dobijena od estimatora stanja – svakih 5 min klasični pristup
 - Klasični model mreže nije dovoljno fleksibilan
 - Visoka penetracija OIE unosi nesigurnost u klasični model – neophodni inteligentni algoritmi
 - Veća frekvencija proračuna sigurnosti – nivo sekunde
 - Analiza stabilnosti u realnom vremenu – tranzijentna stabilnost
 - Novi sistemi mjerenja – PMU, WAMS
 - Zahvat mjerenja na nivou ms ili još brže
 - Monitoring novih veličina – uglovi fazora napona, brze promjene frekvencije, oscilacije veličina – pouzdanije modeliranje mreže i definisanje dinamičkih granica za elemente sistema

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Novi sistemi mjerenja – PMU, WAMS
 - Analiza stabilnosti u realnom vremenu je važan zahtjev za napredne mreže
 - PMU – mjerni uređaji koji čine okosnicu novog sistema mjerenja
 - Procjena ograničenja prenosnih kapaciteta usljed oscilacija
 - Podešavanje stabilizatora sistema
 - Analiza dinamičkih aspekata pogona mreže nakon priključenja novih OIE
 - Analiza oscilacionih prilika u mreži u pogledu amplituda i stepena prigušenja
 - Trenutno praćenje promjena ključnih električnih veličina – važno za slučaj resinhronizacije i black start-a
- Dinamička pogonska ograničenja
 - Klasični pristup – velika margina sigurnosti – neekonomično korišćenje resursa
 - Napredne mreže – korišćenje novih algoritama za određivanje optimalnih granica
 - Praćenje temperature, brzine i smjera vjetra, insolacije, mehaničkog naprezanja – definisanje granice prenosa u realnom vremenu

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Samonadzor mreža
 - Kompleksnije okruženje čine klasično preventivno upravljanje vrlo složenim
 - Rješenje automatsko preventivno upravljanje
 - Moguće usljed prisustva naprednih mjernih uređaja PMU
 - WACS – veći broj informacija se prati, pametni algoritmi – veće mogućnosti upravljanja
 - Fleksibilni AC sistemi, upravljivi kondenzatori, skladištenje energije, regulatori proizvodnje
 - U distributivnim mrežama je automatsko uspostavljanje ponovnog pogona jednostavnije usljed jednostavnijih tokova snaga u odnosu na upetljane prenosne mreže
- Pametno upravljanje resursima (osnovnim sredstvima)
 - Smanjenje troškova održavanja
 - Optimizacija investicija
 - Produžavanje radnog vijeka

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Pametno upravljanje resursima (osnovnim sredstvima)
 - Osnovni razlozi:
 - Proširenje kapaciteta je veliki izazov
 - Raspoloživi kapaciteti su praktično iskorišteni
 - Zahtjevi sigurnosti rastu
 - Ograničenja kapitalnog budžeta
 - Strateško i koordinisano planiranje održavanja i korišćenja resursa
 - Korelisanje pogonskih parametara u nekom periodu sa ocjenom stanja opreme
 - Vođenje evidencije o stanju opreme i ažuriranje indikatora pouzdanosti za mrežne analize
 - Praćenje indeksa kritičnosti neke opreme kako bi se izvršila pravovremena zamjena
 - Baze podataka sa detaljnim informacijama o istorijatu korišćenja i održavanja opreme
 - Cilj: produžavanje radnog vijeka opremi, smanjenje ispada, povećanje efikasnosti, niži operativni i investicioni troškovi

Upravljanje naprednim mrežama. Uloga Operatora prenosnog sistema.

- Regulatorni aspekt
 - Novi regulatorni okvir posebno definisan da podržava razvoj naprednih mreža
 - Inovativnost se treba stimulisati
 - Pilot projekti – umanjenje rizika prilikom testiranja efekata novih tehnologija, rješenja
 - Stimulisanje ulaganja u poboljšanje sigurnosti pogona mreže
 - Najveća penetracija tehnoloških inovacija – bolje korišćenje raspoloživih resursa uz visoku penetraciju OIE
 - Stimulisanje uvođenja OIE i EE
- Standardizacija – efikasniji razvoj novih tehnologija i njihova integracija

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Distributivna mreža je u centru promjena koje donose napredne mreže
- Dimenzionalnost i složenost postaju još veće
- Distribuirani OIE i aktivni potrošači su osnovni nosioci promjena
- Napredne mreže doprinose dekarbonizaciji:
 - Visoka integracija OIE
 - Fleksibilnost potrošnje – pametna brojila
 - Elektromobilnost
 - Skladištenje energije
- Neophodno je značajno unaprjeđenje svih procesa

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Napredne mreže – struktura
 - Pametno održavanje
 - Pametno mjerenje
 - Pametna eksploatacija
 - Pametne usluge
 - Pametna lokalna optimizacija
- Pametno održavanje
 - Upotreba senzora i prikupljanje svih relevantnih podataka za ocjenu stanja opreme radi preventivnog održavanja i planiranja zamjene opreme
 - Svaka komponenta ima svoju istoriju pogona

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Pametno održavanje
 - Upravljanje resursima
 - Kvalitet podataka je presudan – dijeljenje informacija i iskustava između mrežnih operatora
 - Uvođenje dijagnostike stanja elementa u realnom vremenu
- Pametna eksploatacija
 - Analiza sigurnosti pogona
 - Automatizacija obnavljanja napajanja potrošača
 - Smanjenje prekida napajanja
 - Precizna alokacija kvarova radi minimizacije troškova održavanja
 - Koordinacija i optimizacija korišćenja terenskih ekipa

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Pametno mjerenje
 - Daljinsko očitavanje brojila – 1 korak
 - Napredna mjerna infrastruktura – cilj
 - Komunikacije – komunikaciona infrastruktura
 - PLC – PLC G1 kod nas, a cilj je PLC G3 (mnogo veće mogućnosti)
 - GPRS (WiFi)
 - Jednostavnije i preciznije praćenje potrošnje
 - Precizniji obračun potrošnje energije
 - Bolje upravljanje mrežom i planiranje mreže
 - Lociranje područja bez napajanja
 - Praćenje parametara kvaliteta napajanja

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Pametne usluge
 - Fleksibilne tarife
 - Dostupnost informacije o profilu potrošnje
 - Komparacija profila sa sličnim potrošačima
- Pametna lokalna optimizacija
 - Novi lokalni uticajni faktori
 - Distribuirani izvori energije
 - Aktivni potrošači
 - Skladištenje energije
 - Stanice za punjenje električnih vozila
 - Neophodno je koordinisano planiranje i upravljanje

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

- Pametna lokalna optimizacija
 - Distribuirani izvori energije
 - Uticaj na mrežu je najveći kada ne postoji korelisanost proizvodnje i potrošnje (PV sistemi)
 - Problem priključenja u slučaju nepovoljne geografske raspoređenosti novih OIE – visoke investicije
 - Aktivna distributivna mreža
 - Bezbjednost rada na mreži – ostrvski rad
 - Ostrvski rad kao šansa za poboljšanje snabdijevanja
 - Regulacija napona – visoka penetracija DIE nepovoljno utiče na naponske prilike
 - Prognoza proizvodnje/potrošnje
 - Vjetroelektrane su nešto povoljnije u pogledu regulacije sistema
 - Fotonaponske elektrane se mogu koristiti za regulaciju napona

Napredne elektrodistributivne mreže. Uloga Operatora Distributivnog Sistema.

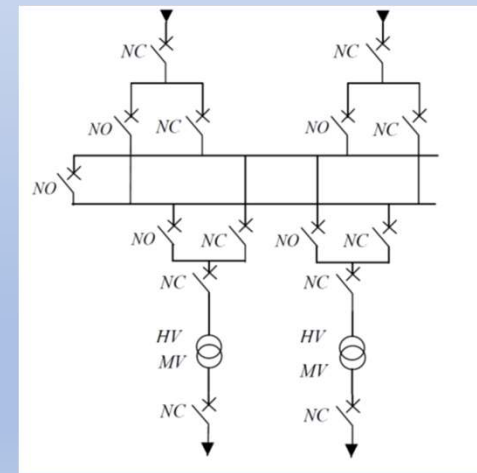
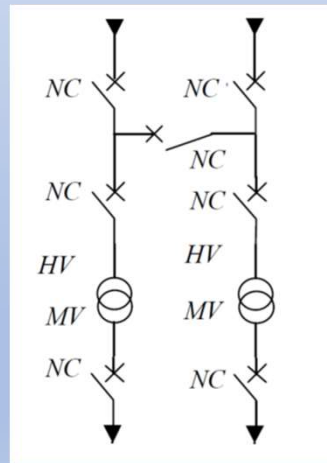
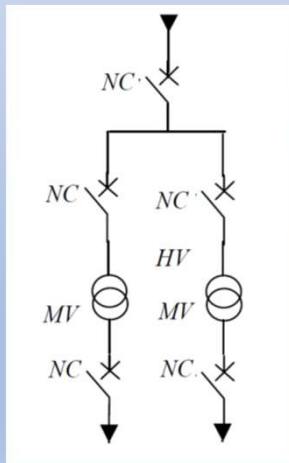
- Pametna lokalna optimizacija
 - Aktivno upravljanje potrošnjom
 - Uticaj na profil opterećenja – vršni sati
 - Uticaj na rad kućnih uređaja
 - Agregatori, drugi ponuđači usluga upravljanja potrošnjom
 - Skladištenje energije
 - Kompenzovanje intermitencije OIE
 - Sigurnost snabdijevanja
 - Električna vozila
 - Infrastruktura za punjenje – spori i brzi punjači – visok zahtjev za jednovremenom snagom
 - Upravljanje punjenjem – signal cijene, fizičko ograničenje snage punjenja
- Operator distributivnog sistema je centralni akter

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Distribucija električne energije
 - Široka geografska rasprostranjenost
 - Razuđenost potrošača
 - Različiti nivoi konzuma
 - Više naponskih nivoa
 - Integracija DIE i aktivne potrošnje
- Neophodna napredna automatizacija mreže:
 - Estimacija stanja uvažavajući promjenu konfiguracije ili tokova snaga
 - Optimalna rekonfiguracija mreže
 - Nova koordinacija djelovanja relejne zaštite
 - Optimizacija naponskog profila
 - Koordinacija ekipa u cilju minimizacije efekata ispada

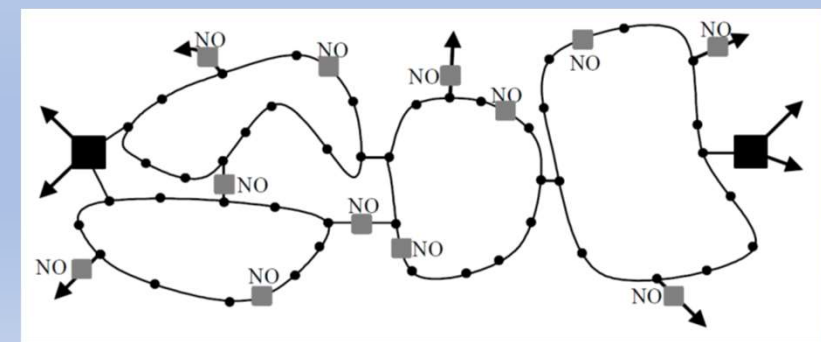
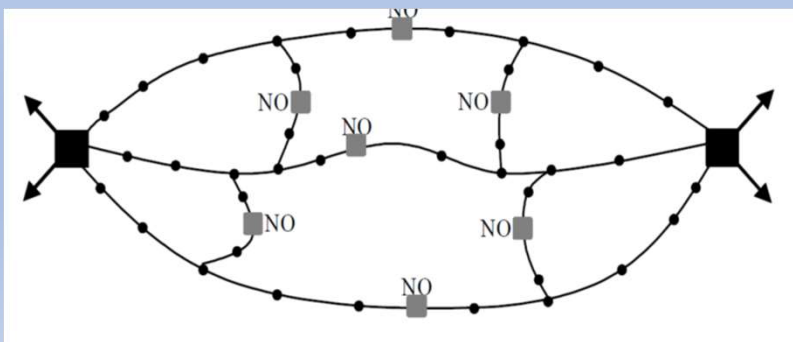
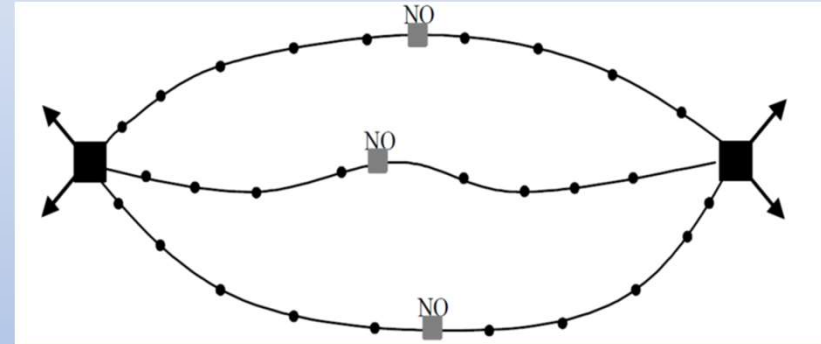
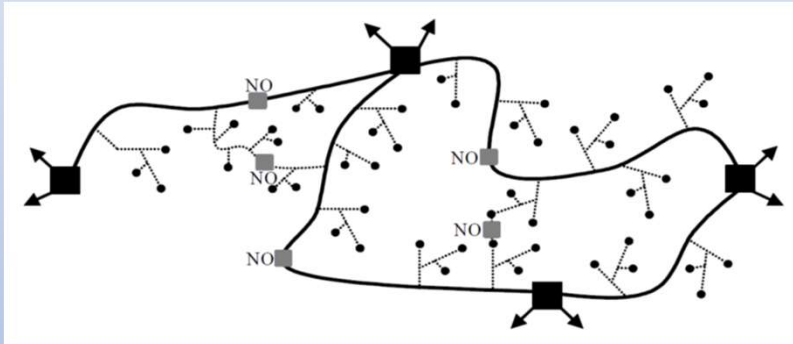
Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Struktura mreže
 - Zavisí od raspodjele opterećenja – urbane ili ruralne mreže (VV ili KV)
 - Dominantno radijalna konfiguracija – varijante



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Uobičajene konfiguracije mreže



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Tipizacija opreme u mreži
 - Tip i presjek se teže održati konstantnim – održavanje je efikasnije
 - Nekoliko tipičnih dispozicija trafostanica (STS, BTS, MBTS itd)
 - Snage transformatora (50 kVA, 250 kVA, 400 kVA, 630 kVA, 1 MVA, 2,5 MVA, 4 MVA, 8 MVA i 12,5 MVA)
 - Regulacioni transformatori (3 ili 5 otcjeka sa opsegom do 5 %)
 - Tipična rasklopna oprema (prekidači ili rastavljači snage)
 - Fiksirani obavezni zaštitni uređaji i funkcije
 - Mjerni uređaji – obračunska i kontrolna brojila
 - Nivo automatizacije nizak – tradicionalne mreže
 - Daljinsko upravljanje ne postoji – tradicionalne mreže

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Planiranje razvoja distributivne mreže
 - Kratkoročno – jednostavniji problem koji se može pouzdano analizirati tehnološkim analizama
 - Dugoročno – vrlo složen problem zbog velikog broja uticajnih faktora i visoke neizvjesnosti istih (konzum, distribucija konzuma, prostorni planovi, razvoj proizvodnje, zaštita životne sredine ...)
- 2 osnovna problema:
 - Rekonstrukcija postojeće mreže – indikatori kvaliteta pogona su polazna tačka
 - Razvoj nove infrastrukture – odgovor na očekivane nove potrebe konzuma
- Osnovni indikatori kvaliteta pogona – SAIDI, SAIFI, ENS

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- SAIDI – prosječno trajanje prekida napajanja po potrošaču godišnje
- SAIFI – prosječna učestanost prekida napajanja po potrošaču godišnje
- ENS – neisporučena energija godišnje
- Indikatori kvaliteta pogona se mogu pridružiti svakom elementu mreže (razdvojenom prekidačima)

$$SAIDI(i) = \frac{D_{pc}(i) \times N_{cus}(i) \times N_{pc}(i)}{N_{tot}(i)}$$

$$SAIFI(i) = \frac{N_{cus}(i) \times N_{pc}(i)}{N_{tot}(i)}$$

$$ENS(i) = \frac{P_{pc}(i) \times T_{pc}(i) \times N_{pc}(i)}{N_{tot}(i)}$$

- $D_{pc}(i)$ – trajanje prekida rada (kvara) elementa i
- $N_{cus}(i)$ – broj potrošača koje pogađa kvar
- $N_{pc}(i)$ – broj prekida napajanja

- $N_{tot}(i)$ – ukupan broj potrošača
- $P_{pc}(i)$ – snaga čiji je prenos prekinut
- $T_{pc}(i)$ – trajanje prekida napajanja

- Sumiranjem indeksa po svim elementima dobija se indeks za mrežu

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- *PL* indikator – koristi se za sagledavanje karakteristika mreže u odnosu na indikatore kvaliteta pogona
- *PL* je proizvod snage (*P*) koja se isporučuje potrošačima neke oblasti i veličine te oblasti (dužina mreže – *L*)
- Cilj je da se za različite mreže postigne jednakost ovog indikatora

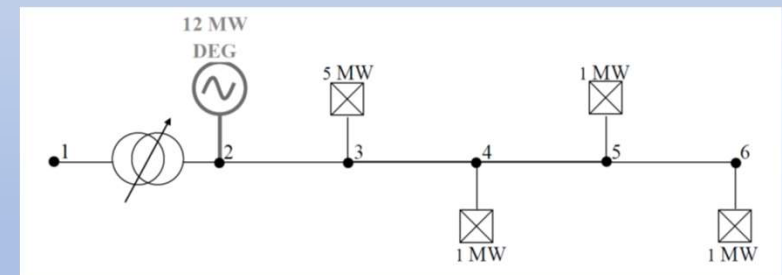
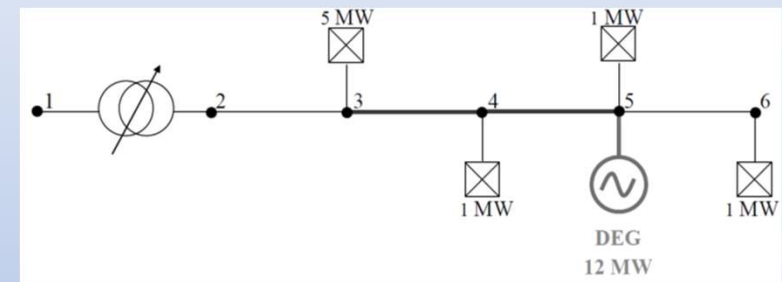
| Technical criteria | Quality criteria | Environmental criteria |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Ampacity of the equipment - Short-circuit ampacity of the equipment | <i>Urban</i> | - Reduction in the amount of pollution - Decrease in visual pollution by burying the cables |
| | - SAIDI per MV feeder of 15 min/year - ENS per MV feeder of 300 kWh/year - equivalent PL product areas | |
| Voltage drop: ±5% in normal mode ±8% in emergency mode | <i>Rural</i> | The amount of space required needs to be planned for |
| | - ENS per MV feeder of 1,250 kWh/year - SAIDI per MV feeder of 75 min/year - equivalent PL product areas | |

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Dogoročno planiranje – duže od 10 godina
- Srednjeročno planiranje – 5-10 godina – Plan razvoja mreže
- Postupak planiranja:
 - Analiza postojećeg stanja mreže (struktura, kvalitet pogona, pouzdanost ...)
 - Prognoza potrošnje – količina i prostorna distribucija
 - Analiza prostornih planova i potencijalne izgradnje DIE
 - Postavljanje ciljeva razvoja za odabranu horizont godinu i za sredinu perioda
 - Razvoj varijantnih rješenja
 - Tehno-ekonomska analiza varijanti (efekti izgradnje i eksploatacije elemenata)
 - Definisane indikatore realizacije plana radi boljeg praćenja

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Integracija DIE je imperativ
- Uticaj DIE na planiranje razvoja mreže:
 - Pojačanje postojeće mreže
 - Izgradnja posebnog priključnog voda
 - Niska integracija DIE – jednostavne metode
 - Visoka integracija DIE – razvoj novih metoda
 - Prihvatna sposobnost mreže:
 - Neophodna informacija za planiranje
 - Složen optimizacioni postupak
 - Distribucija DIE u mreži
 - Veličina pojedinačnih DIE
 - Ogroman broj elemenata mreže
 - Napredne optimizacione tehnike

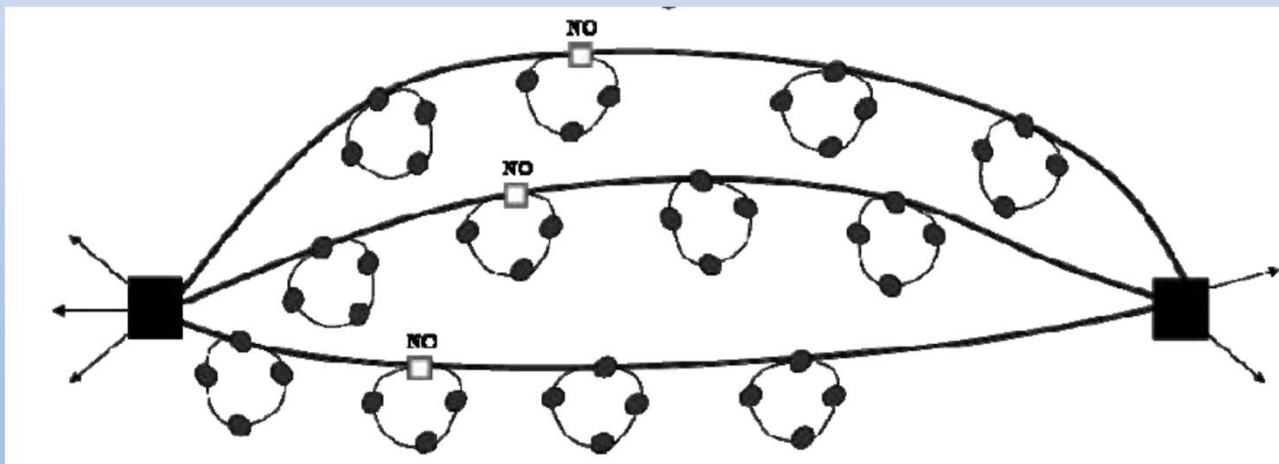


Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Prelazak na petljaste mreže radi povećanja prihvatne sposobnosti
- Prednosti:
 - Niži gubici, bolje naponske prilike, veća fleksibilnost i lakše prilagođavanje porastu potrošnje
- Mane:
 - Složenije planiranje, složenije upravljanje (u odsustvu napredne automatizacije), porast struja KS, prepodešavanje zaštitnih uređaja
- Izbor grana za zatvaranje petlji može biti loš – tokovi snaga
 - Povećanje gubitaka
 - Preopterećenje elemenata

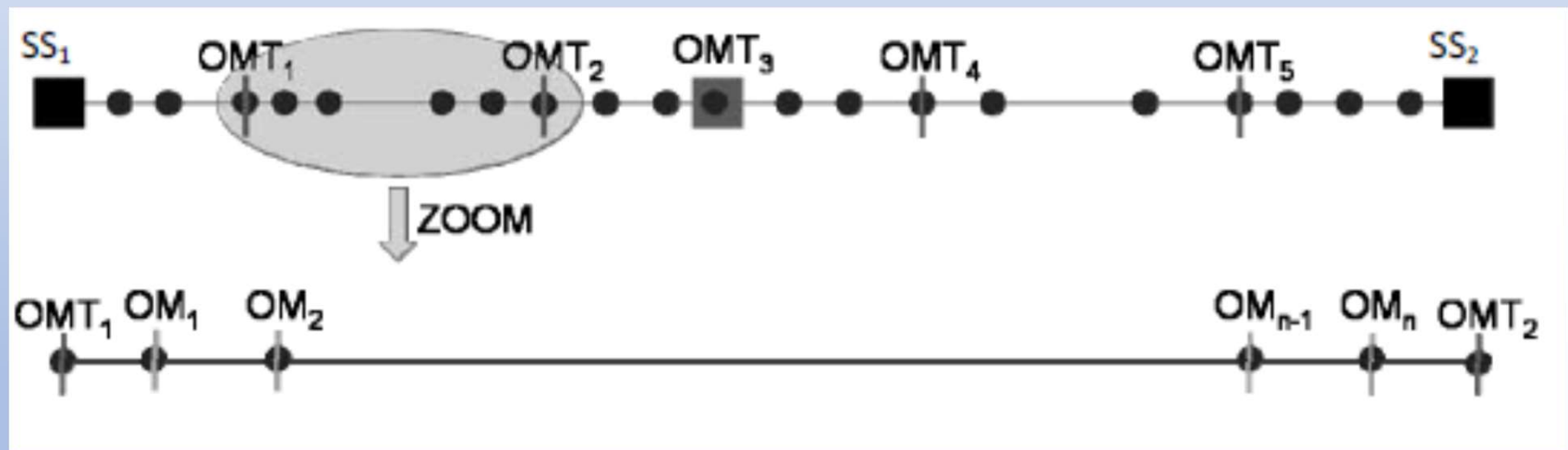
Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Preporučena konfiguracija mreže za optimalni prihvatač DIE
 - Hibridna konfiguracija



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Primjer rekonfiguracije mreže kod fidera
 - Daljinski upravljivi prekidači su neophodni – 2 po sekciji ekonomski prihvatljivo



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Primjer izolovanja sekcije u kvaru

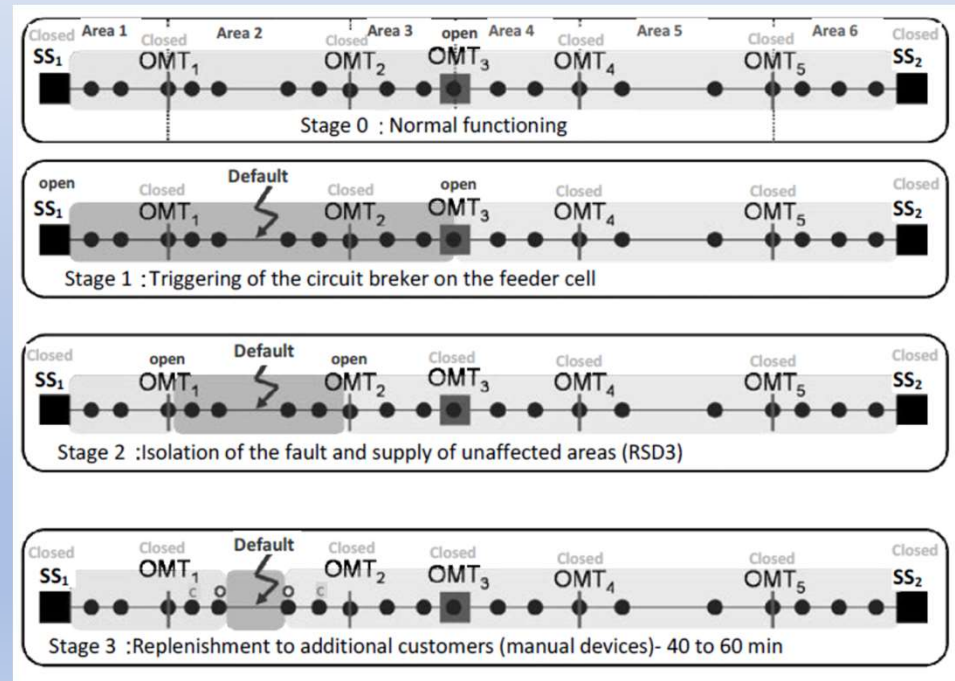
- Lociranje kvara
- Koordinacija ekipa
- Trajanje kvara
 - Aktiviranje rezervnog napajanja

- Cilj je optimizacija kvaliteta

$$SAIDI(i) = \tau \times L_i \times \left(T_d + T_m \times \frac{Ni}{N_1 + N_2 + N_3} \right)$$

$$SAIFI(i) = \tau \times Li \times \left(\frac{Ni}{N_1 + N_2 + N_3} \right)$$

$$ENS(i) = \tau \times L_i \times (T_d \times P_{feeder} + T_m \times P_i)$$



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Fider se dijeli na tri dijela (oblasti)
- Svaka oblast ima svoje parametre kvaliteta napajanja
- Sumiranjem se dobijaju vrijednosti po fideru

$$SAIDI_{feeder_j} = \sum_{i=1}^3 SAIDI(i)$$

$$SAIFI_{feeder_j} = \sum_{i=1}^3 SAIFI(i)$$

$$ENS_{feeder_j} = \sum_{i=1}^3 END(i)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{j=1}^n SAIDI_{feeder_j}}{n}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{j=1}^n SAIFI_{feeder_j}}{n}$$

$$ENS = \frac{\sum_{j=1}^n END_{feeder_j}}{n}$$

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Rekonfiguracija mreže u cilju smanjenja gubitaka energije
- Gubici energije su sastavni dio prenosa i distribucije
- Visina gubitaka zavisi od karakteristika mreže i konzuma
- Regulatorni aspekt gubitaka energije – ko plaća
- Distributivne kompanije moraju nabavljati energiju za gubitke
- Smanjenje gubitaka je dio razvojnih planova
 - Prilagođavanje profila napona ili izbor novih naponskih nivoa
 - Promjene konfiguracije mreže
 - Upravljanje potrošnjom – promjena profila potrošnje

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Koordinisana regulacija napona u radijalnim mrežama
 - Poboljšanje kvaliteta napajanja
 - Minimizacija gubitaka (u mreži i transformatorima)
- DIE imaju značajnu ulogu u koordinisanoj regulaciji napona
- Rekonfiguracija mreže – optimizacioni problem
 - Korišćenje daljinski upravljivih prekidača
 - Aktivnije korišćenje dionica ranije namijenjenih rezerviranju pogona
 - Zatvaranje petlji
 - Klasični pristup – sezonsko rekonfigurisanje mreže
 - Savremeni pristup – promjene konfiguracije na nivou dana (intermitentni OIE)

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Formulacija optimizacionog problema rekonfiguracije:
 - Izbor optimalne konfiguracije iz skupa mogućih rješenja
 - Uvažavanje fiksnog broja ograničenja
 - Normalni pogon i vanredni pogon mreže se uzimaju u obzir
- Uobičajena konfiguracija mreže – otvoreni prsten
- Optimizacioni problem – pronaći optimalna mjesta za otvaranje petlji uvažavajući neki optimizacioni kriterijum (minimizacija gubitaka)
- Provjera svih mogućih konfiguracija i izbor optimalne je moguća samo kada petlje ne utiču jedna na drugu
- U praksi – prevelik je broj mogućih rješenja – suboptimalno rješenje

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Funkcija cilja – $f(I, U, Z)$
- Ograničenja:
 - Kirhofovi zakoni – $g(I_g, U_g, Z_g)$
 - Ograničenja tipa sigurnosti – $h(I, U, Z)$
 - Topološka ograničenja $j(Z) = 1$
 - Praktična ograničenja $k(Z) \leq 0$
- Gubici u mreži
 - Smanjenje gubitaka energije – ušteda u troškovima
 - Dodatno: troškovi rekonfiguracije (oprema, prekidači, pouzdanost, neisporučena energija itd.)

$$f_{objective} = \sum_k R_k \cdot I_k^2$$

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Optimizacija naponskog profila

- Minimizacija relativnog odstupanja vrijednosti napona u odnosu na U_n
- Relativno odstupanje napona nema isti efekat na sve potrošače – P_{od}
- Uvodi se težinski koeficijent

$$f_{objective} = \sum_i \frac{|U - U_i|}{U_n} \cdot c_{wi i}$$

- Sigurnosna ograničenja

- Obaveza distributera oko U_{min} i U_{max} u mreži
- Mogućnost preopterećenja mreže

$$\frac{|U_{in} - U_i|}{U_{in}} < \varepsilon_{i \max}$$

$$\frac{|I_j|}{I_{j \max per}} < 1$$

- Topološka ograničenja

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Topološka ograničenja

- Radikalnost konfiguracije mora biti očuvana – jedna napojna tačka za sve čvorove
- Teorija grafova se koristi za specifikaciju ovog ograničenja
 - Razapinjuće stablo (spanning tree) je osnova
 - Broj petlji = Broj grana – broj čvorova + 1
 - Otvaranje grana u punoj konfiguraciji mreže – potreban ali ne i dovoljan uslov

$$\forall x_i, x_j \in N, \exists C_i \cup C_j \quad (\text{with} \quad \prod_k^n z_{i_k} \cdot \prod_k^n z_{j_k} = 1)$$

- Za svaka 2 čvora iz grafa postoji samo jedan put koji ih povezuje – stablo grafa
- Posebna ograničenja – prioritetni potrošači sa dvostranim napajanjem

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Ograničenje za prioritetne čvorove
 - Treba im dozvoliti vezu sa 2 napojne tačke ili 2 fidera

$$\forall x_i \in N_P, \forall x_j \in N_S, \exists C_i \cup C_j$$

(with $\prod_k^n z_{i_k} \cdot \prod_k^n z_{j_k} = 1$)

and $Nb(C_i \cup C_j) \geq 2$

- Ograničenje broja sklopnih operacija – brzina rekonfiguracije i dugoročnost rada opreme

$$N_{man} = \sum_i |z_{i \text{ initial}} - z_{i \text{ final}}| \leq N_{man \text{ max}}$$

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

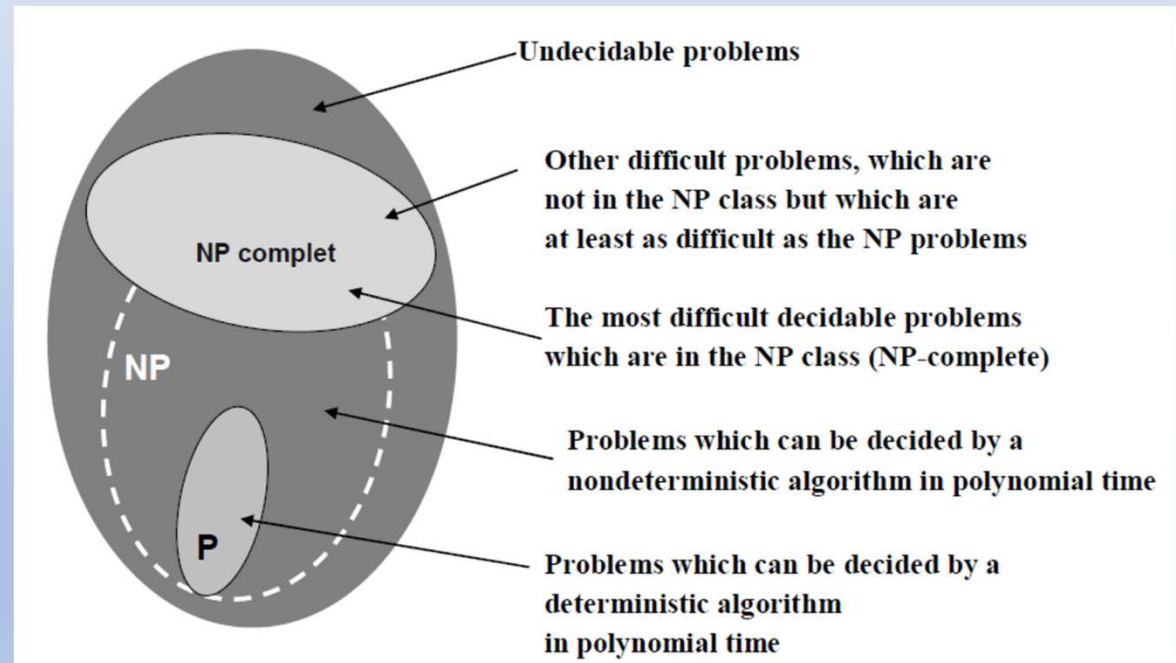
- Tretiranje ograničenja u optimizacionom postupku
 - Eliminatoran – uklanjanje onih rješenja koja ne zadovoljavaju sva ograničenja
 - Ugrađuju se u funkciju cilja
 - Funkciju cilja je potrebno minimizovati – smanjenje gubitaka, troškova i sl.
 - Ograničenja se dodaju funkciji cilja kao penalizacija
 - Svakom ograničenju se dodjeljuje određeni težinski faktor
 - Kandidate rješenja koji ne ispunjavaju tehnička ograničenja karakteriše mnogo veću vrijednost funkcije cilja u odnosu na povoljna rješenja
- Nelinearni optimizacioni problem – optimalna rekonfiguracija mreže
 - Nelinearni matematički problem – proračun tokova snaga
 - Uklopno stanje – kombinatorički problem (mnogo binarnih promjenljivih)

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Teorija kompleksnosti optimizacionih problema – težinske klase

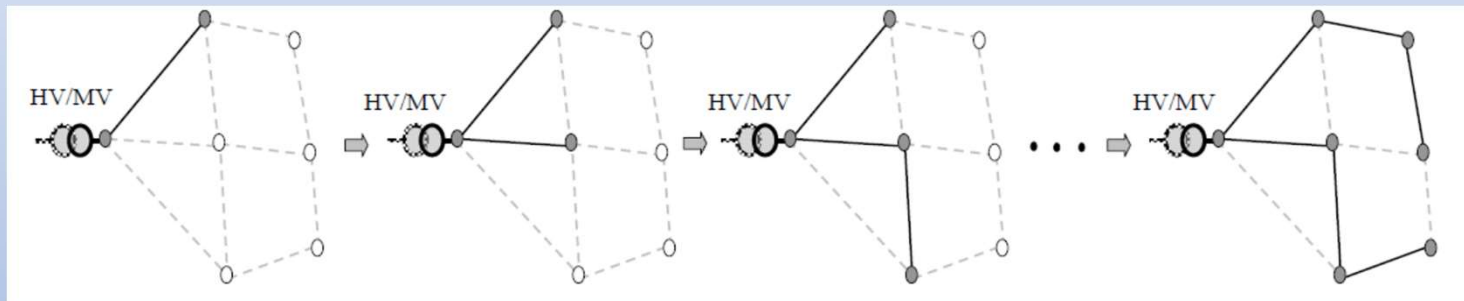
- Tehnike:

- Linearno programiranje
- Dinamičko programiranje
- Heuristički algoritmi
- Metaheuristički algoritmi
 - Genetski algoritmi
 - Simulirani kaljenje
 - Optimizacija roja čestica
 - Tabu pretraga

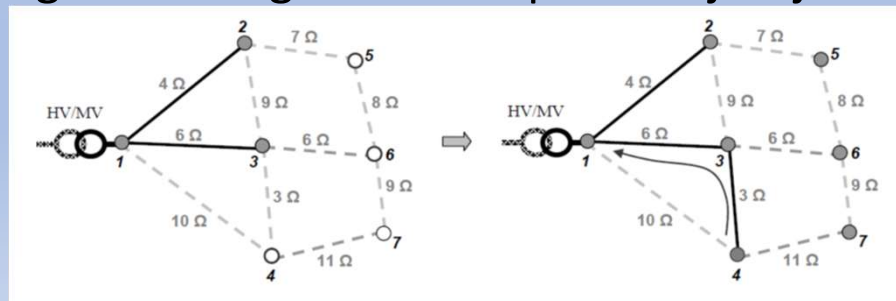


Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Primjer kreiranja optimalne konfiguracije
 - Sekvencijalno zatvaranje grana – počinje se od napojnog čvora

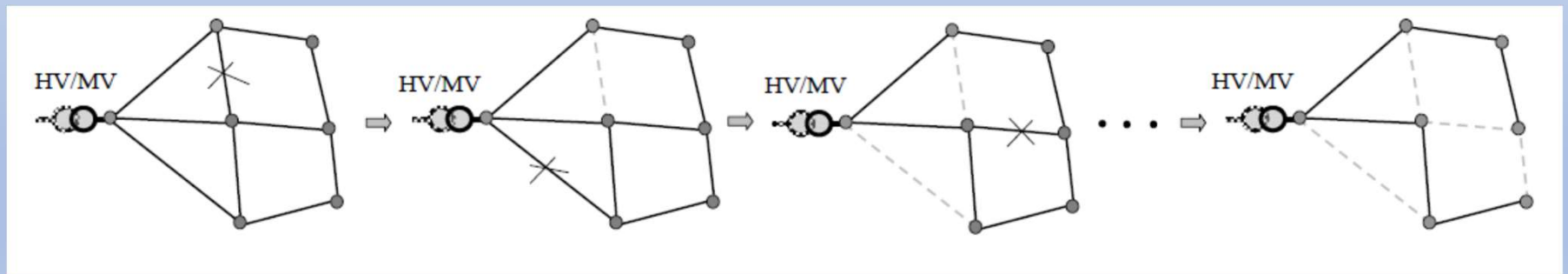


- Optimizacija gubitaka – granama se pridružuje cijena – impedansa (prost pristup)



Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

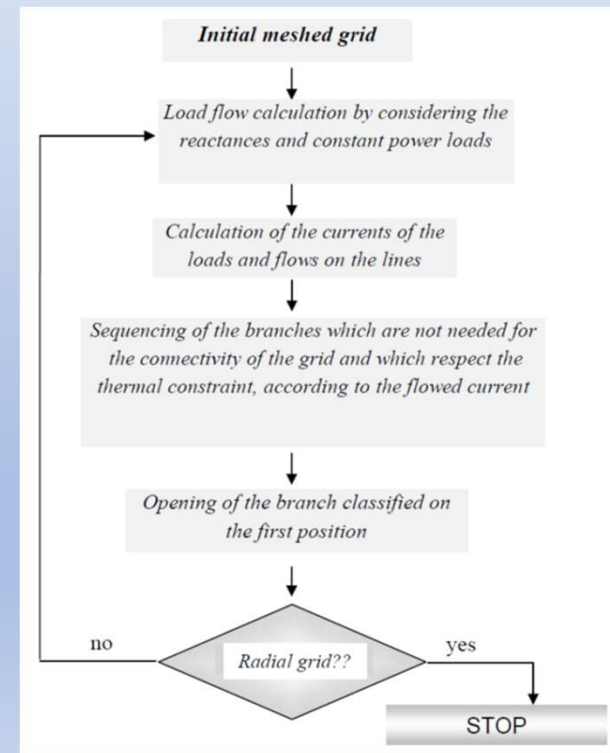
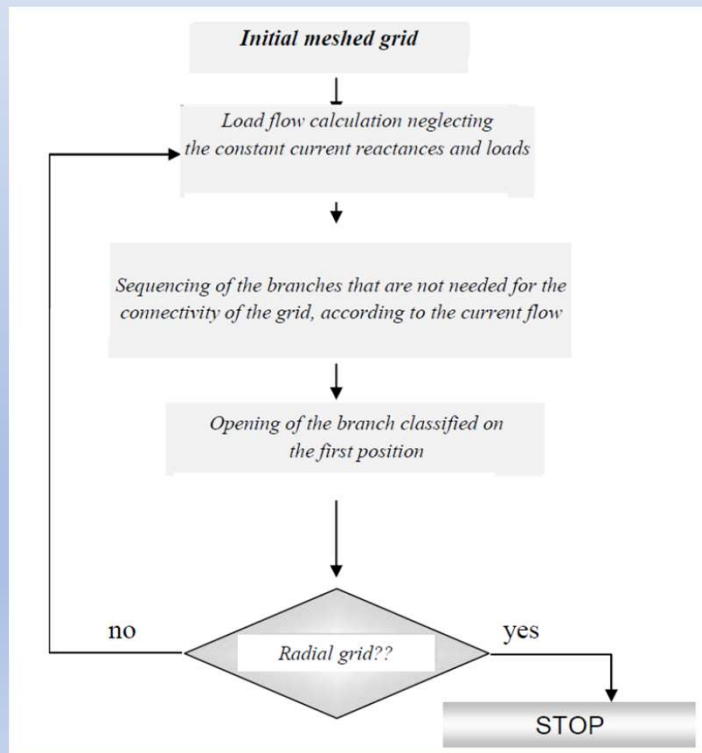
- Cijena grane nije konstantna kada se traži optimalna konfiguracija – nivo gubitaka zavisi od konfiguracije, ograničenja itd.
- Optimalni izbor tokom svake iteracije ne znači da je ukupni rezultat optimalan
- Metod sekvencijalnog otvaranja grana



- Za svaku granu proračunava se funkcija cilja i provjeravaju ograničenja

Struktura, planiranje i rekonfiguracija naprednih distributivnih mreža

- Algoritmi za optimalnu rekonfiguraciju



Upravljanje ED mrežom

- Savremene elektrodistributivne mreže sve više poprimaju osobine prenosnih mreža:
 - Upravljanje naponskim profilom
 - Složenija koordinacija relejne zaštite
 - Problemi sa sigurnim pogonom
- Regulacija napona
 - Poštovanje standarda (EN 50160)
 - Ugovoreni napon za potrošače (U_c)
 - Ekonomičnost pogona
- Postojeće stanje regulacije napona – baterije kondenzatora, regulacioni transformatori

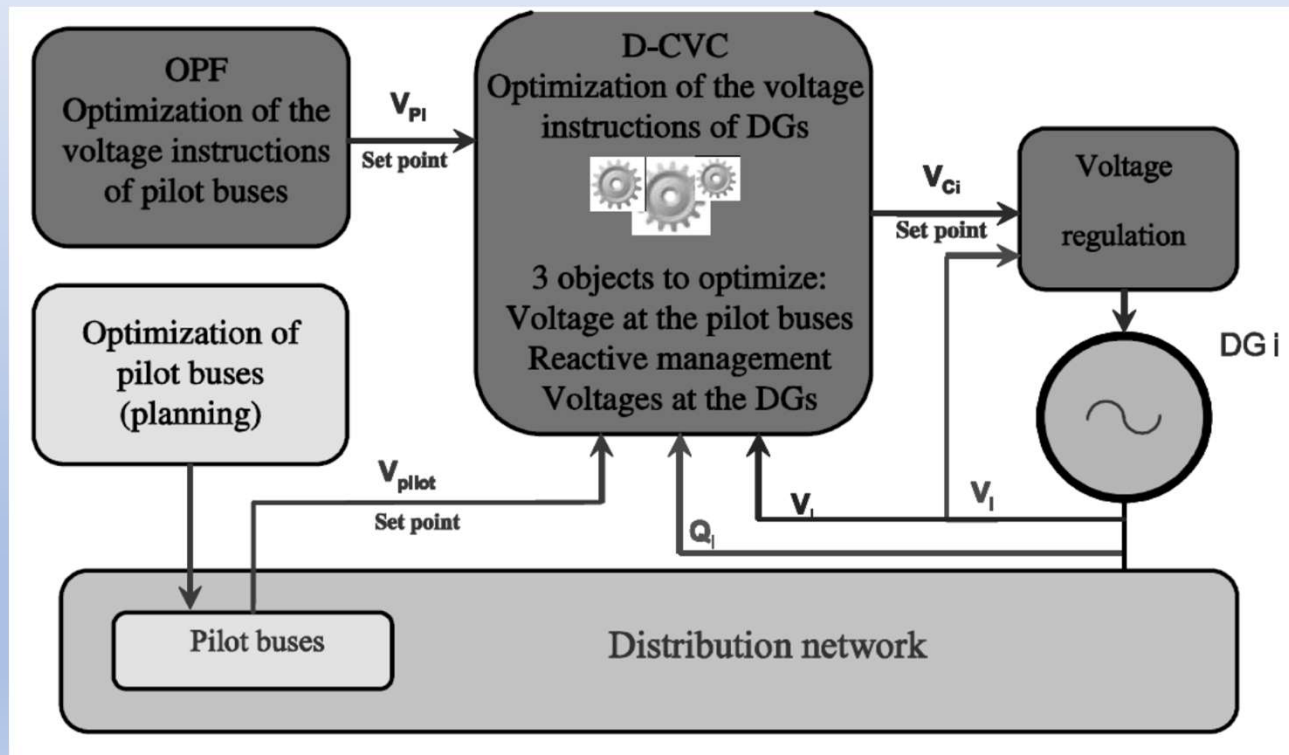
Upravljanje ED mrežom

- Regulacija napona u mrežama sa DIE
 - Koordinisano upravljanje naponom (CVC) – centralizacija upravljanja naponom
 - Napredna mjerna infrastruktura
 - Više lokacija sa mjerenjima (karakteristični čvorovi, oblasti, resursi)
 - Optimizacioni alat za upravljanje naponskim profilom
 - Minimizacija odstupanja napona od željenih vrijednosti – cilj optimizacije
 - Minimizacija debalansa u reaktivnoj snazi po karakterističnim oblastima u mreži
 - Posljedica – naponi u čvorovima kontrolisanim od strane DIE mogu odstupati značajno – potrebno je ograničiti odstupanja
 - Obično se napon ograničava na opseg $\pm 5\%U_n$
 - Ograničavanje proizvodnje/potrošnje reaktivne snage
 - Ograničavanje varijacija podešavanja željenog napona
 - Rezultat – izbor podešenja napona za sve čvorove od interesa

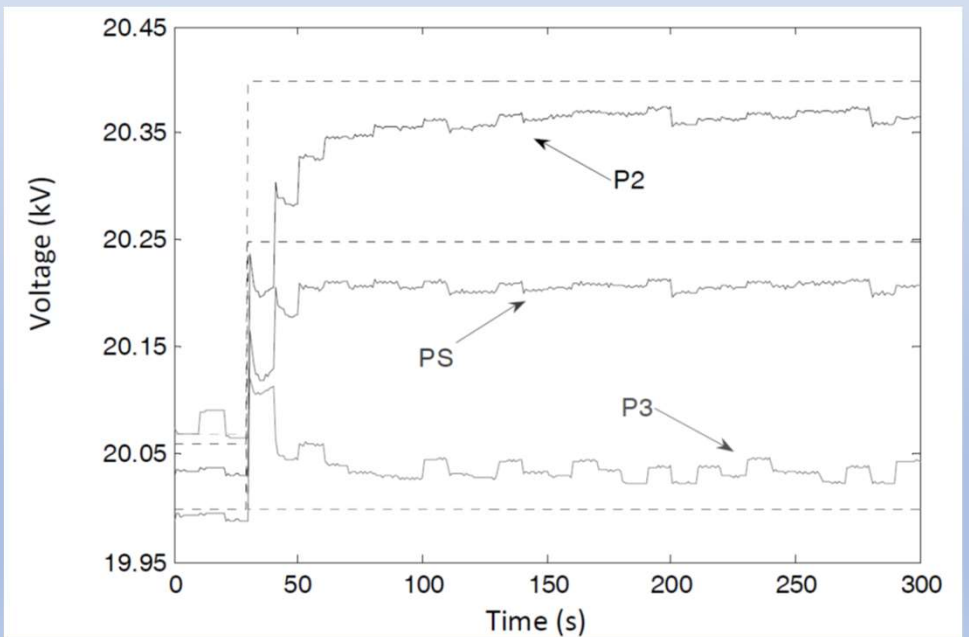
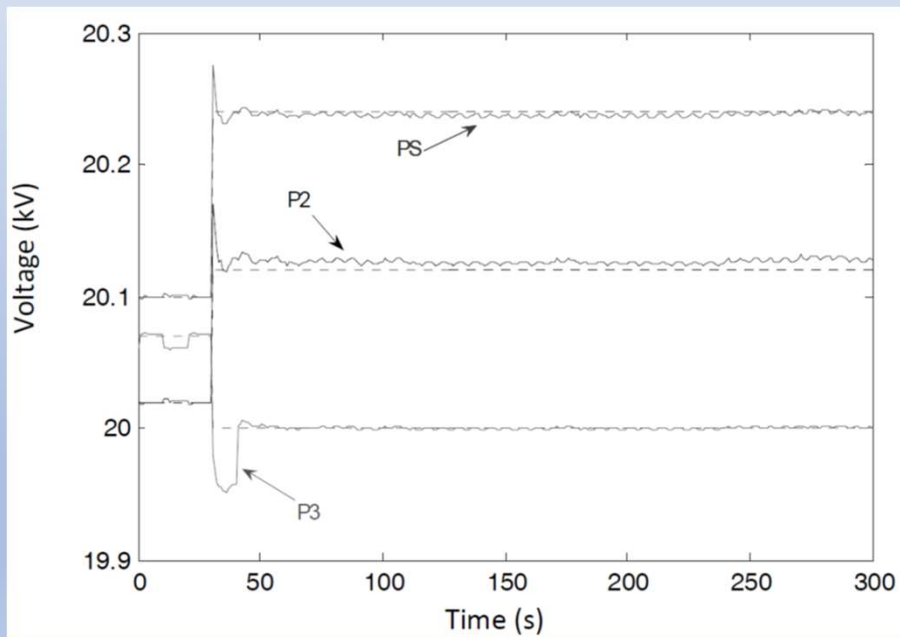
Upravljanje ED mrežom

- Izbor karakterističnih čvorova
 - Vrlo važan faktor za koordinisanu regulaciju napona
 - Broj karakterističnih čvorova treba biti manji od broja potrošačkih čvorova
 - Odabrani čvorovi moraju biti slabo osjetljivi na promjene opterećenja u normalnom režimu rada
 - Napon u odabranim čvorovima treba biti kontrolabilan od strane DTE
- Optimizacija nivoa gubitaka – jedan od ciljeva regulacije napona
 - Vođenje računa o dnevnoj krivoj potrošnje
 - Proračun optimalnih tokova snaga
- Regulacija napona se vrši u realnom vremenu

Upravljanje ED mrežom



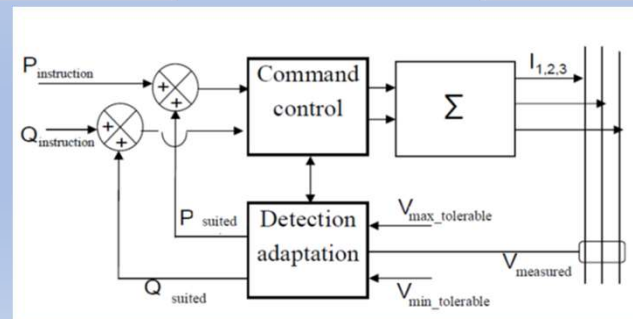
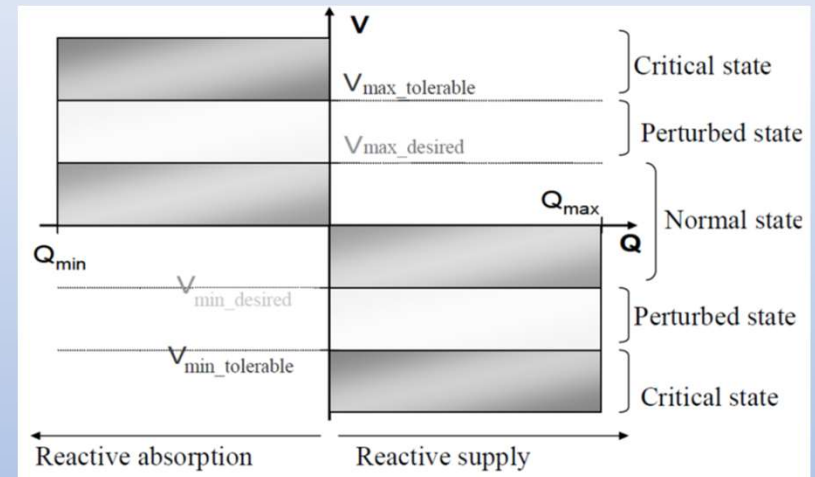
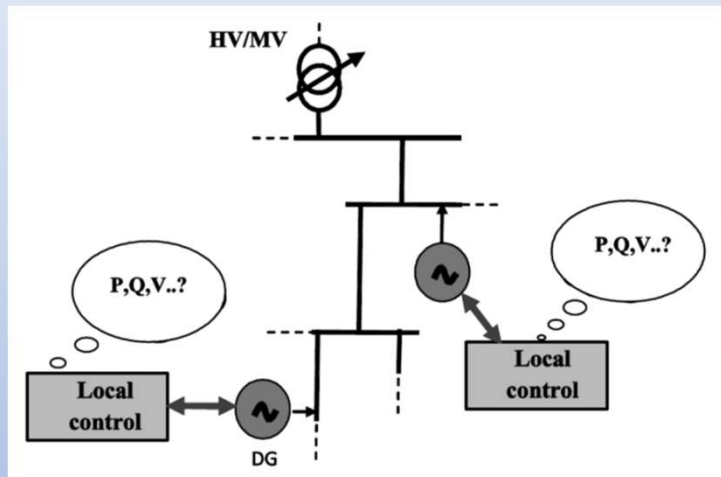
Upravljanje ED mrežom



Upravljanje ED mrežom

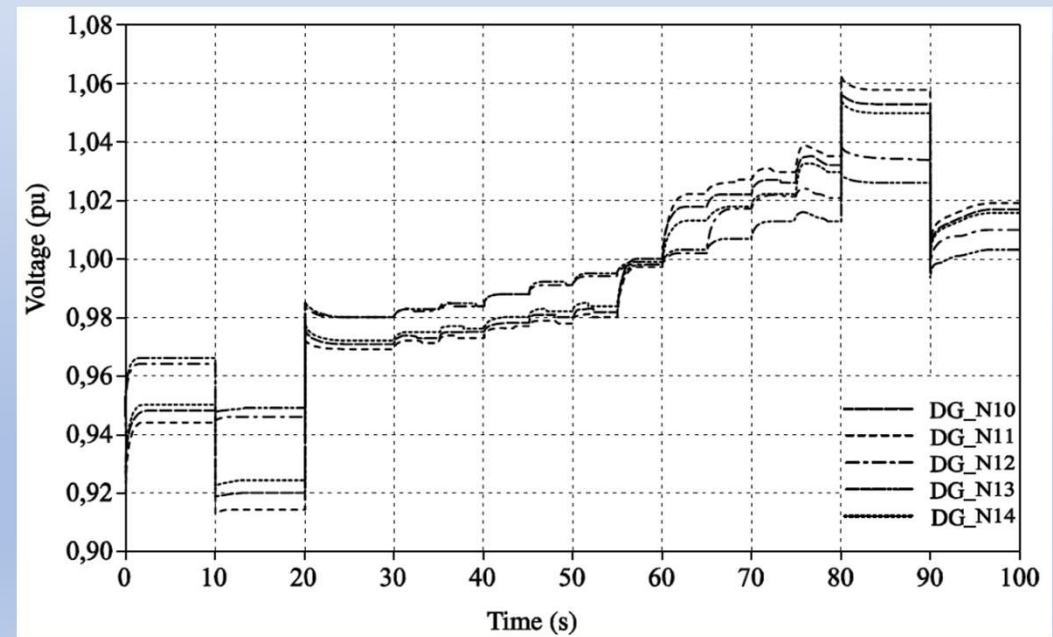
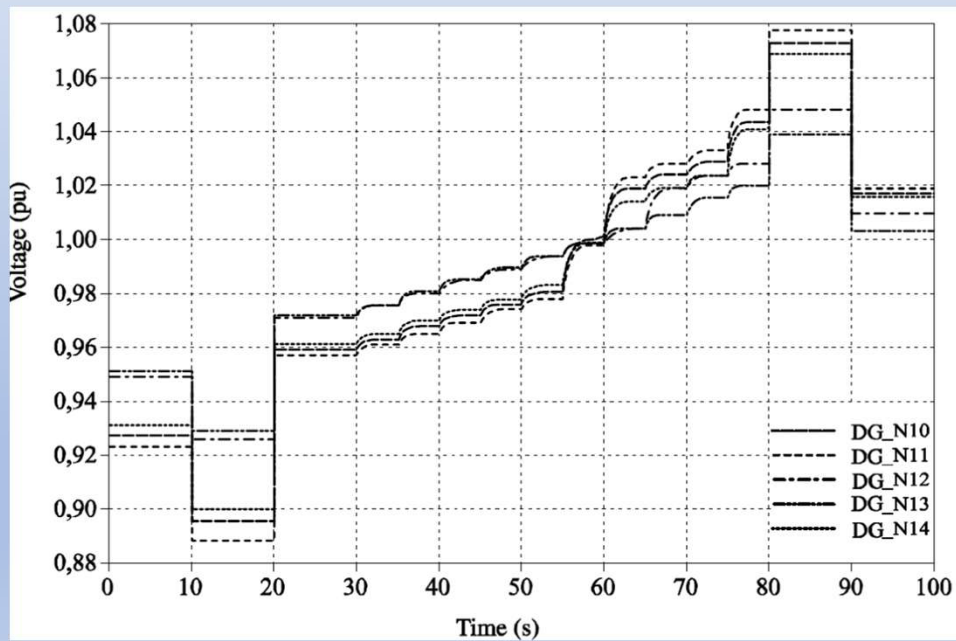
- Ograničen broj DIE sa većom snagom – generalniji pristup regulaciji napona (zonski pristup)
- Veliki broj malih DIE – lokalizovan pristup regulaciji napona
 - Niska observabilnost proizvodnje – nizak nivo razmjene informacija
 - Neupravljivost proizvodnje
 - Ugradnja napredne mjerne infrastrukture – visoka cijena
 - Svaki DIE mora lokalno doprinosti regulaciji napona – adaptivnost
 - Regulacija napona se vrši za čvor na mjestu priključka DIE
 - Regulacija reaktivne snage
 - Regulacija aktivne snage
 - Normalni režim, poremećeni režim i kritični režim – različiti modovi regulacije napona

Upravljanje ED mrežom



Upravljanje ED mrežom

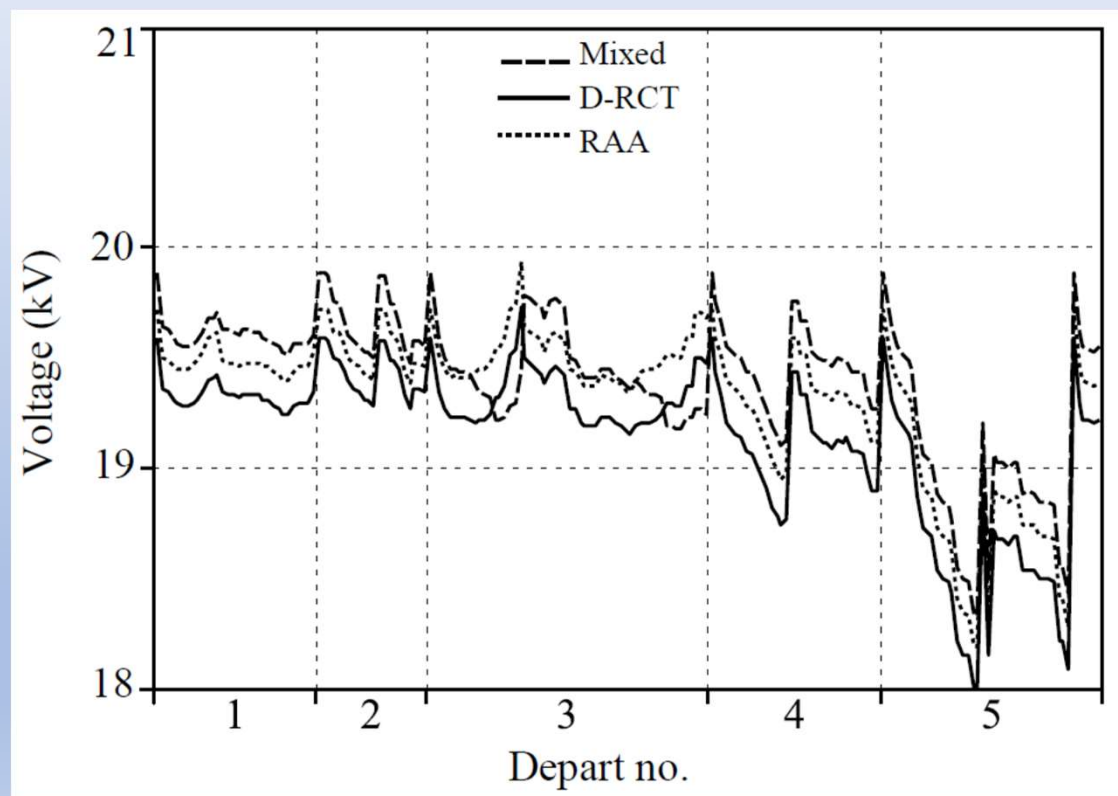
- Efekat regulacije napona u NN mreži



Upravljanje ED mrežom

- Poređenje zonskog i lokalnog pristupa regulaciji napona
 - Zonski
 - Dobra observabilnost u mreži, prilagodljiv na razne strategije upravljanja mrežom, očuvanje naponskih prilika u važnim čvorovima mreže
 - Povećani gubici usljed udaljenosti DIE, složeniji postupak optimizacije
 - Lokalni – autoadaptivna regulacija
 - Jednostavna implementacija, niži gubici, autonomnost
 - Slaba upravljivost, približno i nefleksibilno upravljanje bilansom reaktivne snage, odsustvo kontrole nad naponom važnih čvorova u mreži
- Kombinovani pristup
 - Veće DIE jedinice – učešće u zonskom pristupu regulacije napona
 - Manje jedinice – lokalna regulacija napona

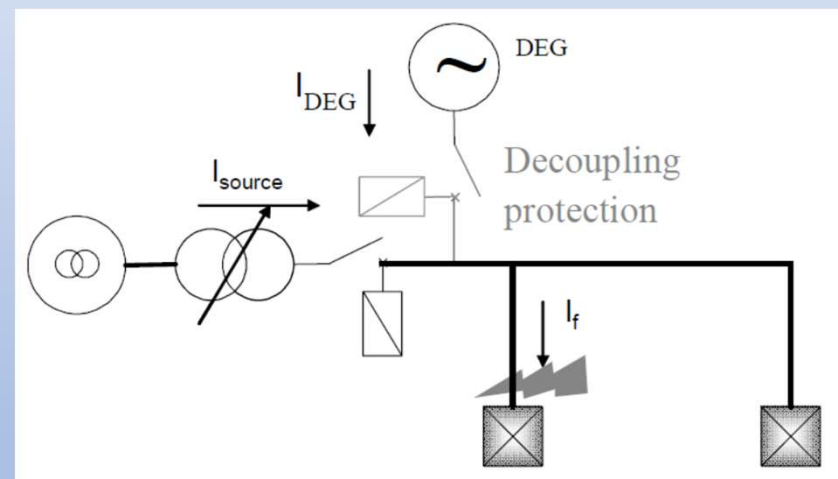
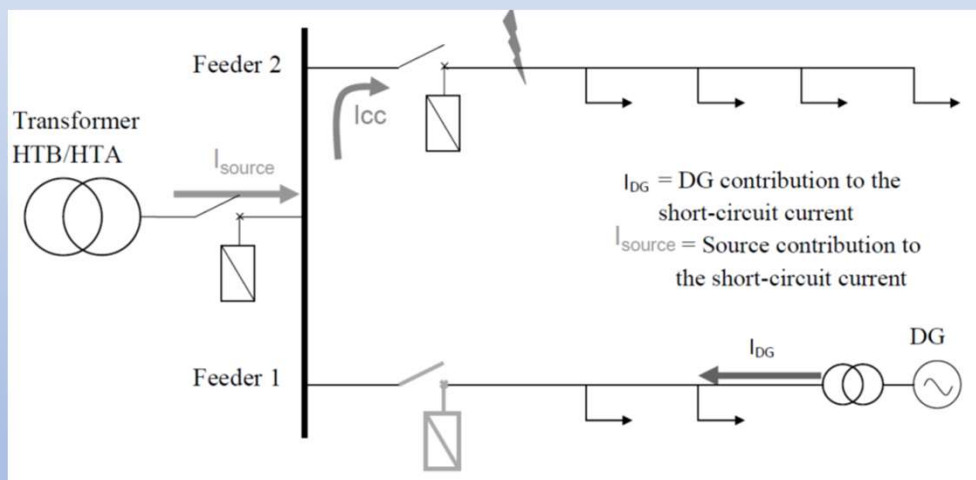
Upravljanje ED mrežom



Upravljanje ED mrežom

- Koordinacija djelovanja relejne zaštite
 - Očuvanje sigurnosti elemenata mreže i ljudi
 - Očuvanje sigurnog pogona mreže – minimizacija neisporučene energije
- Postupak tretiranja kvara:
 - Pouzdana detekcija kvara – ispad elementa u kvaru
 - Lokalizacija mjesta kvara – izolovanje elementa u kvaru
 - Ponovno uspostavljanje napajanja elemenata koji nijesu u kvaru
 - Fina lokalizacija mjesta kvara i popravka
- DIE utiču na klasično podešavanje relejne zaštite u mreži:
 - Neželjeno reagovanje – moguće je riješiti upotrebom usmjerenih zaštita
 - Zasljepljenost relejne zaštite – usljed prisustva većih DIE

Upravljanje ED mrežom



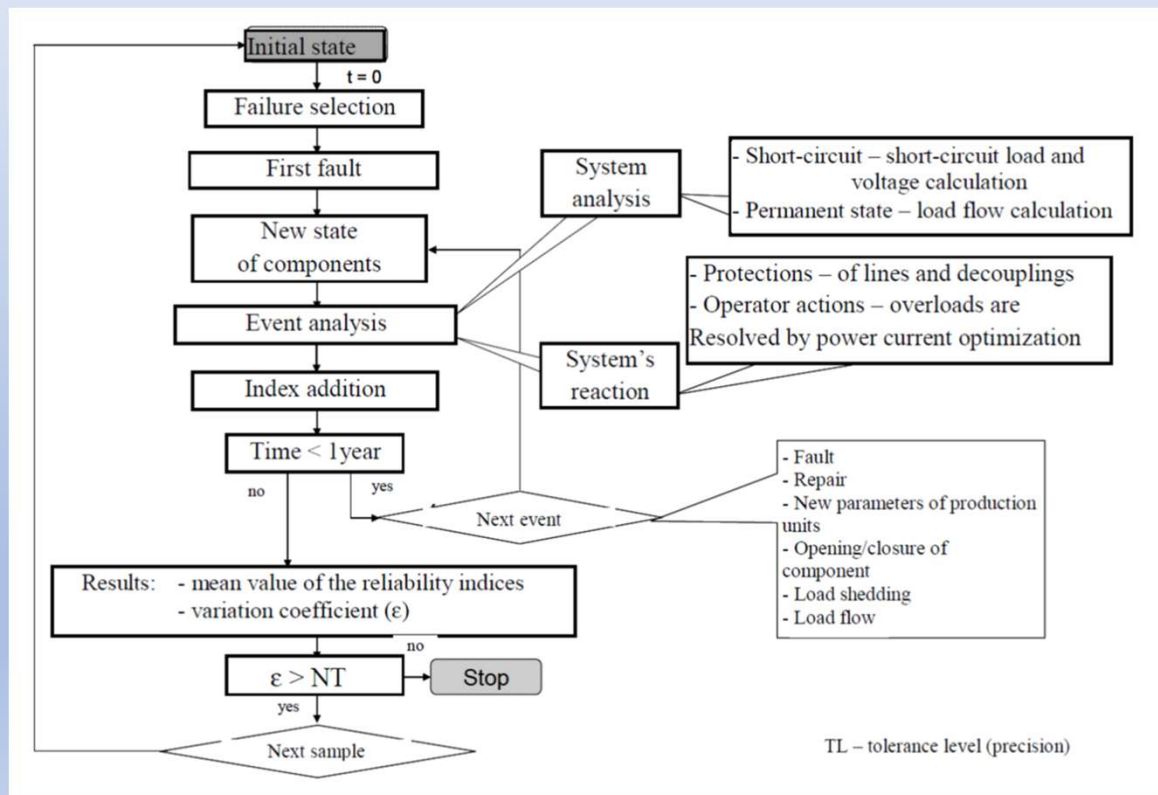
Upravljanje ED mrežom

- Pouzdanost mreže
 - Parametar kvaliteta rada – klasične mreže
 - Veoma važan faktor za projektovanje, planiranje i eksploataciju mreže – napredne mreže
 - planiranje – period od 5 godina – planiranje novih mrežnih kapaciteta kako bi se omogućilo priključenje novih korisnika (potrošači i proizvođači)
 - Priprema pogona – period od 1 godine – priprema strategija eksploatacije, održavanja elemenata, rezerviranja
 - Upravljanje i eksploatacija mreže – period od par sati ili dana – primjena operativnih strategija (korektivne aktivnosti tokom poremećaja)
 - Rezultat – kvalitativni i kvantitativni pokazatelj pouzdanosti koji omogućava poređenje raznih upravljačkih i projektnih strategija
 - Kompleksnost mreže i dinamika rada elemenata mreže – statistički metodi su neizbježni pri analizi pouzdanosti

Upravljanje ED mrežom

- Pouzdanost mreže
 - Monte Carlo simulacija – sekvencijalni ili nesekvencijalni pristup
 - Cilj je doći do statistički prihvatljive srednje vrijednosti posmatrane promjenljive
- Sekvencijalni Monte Carlo pristup
 - Posmatra se stanje sistema u višegodišnjem periodu npr. N godina
 - Posmatra se indeks pouzdanosti komponente x
 - Posmatra se više stanja sistema u jednoj godini y
- Problem – vrijeme za realizaciju algoritma
- Prednost – jednostavna primjena

Upravljanje ED mrežom



Upravljanje ED mrežom

- Postupak Monte Carlo metoda

- Korak 1 – pretpostavlja se normalno radno stanje sistema i satna karakteristika opterećenja tokom godine
- Korak 2 – Generišu se slučajni brojevi (u_j) za svaki element sistema. Na osnovu njih, proračunava se vrijeme ispada za svaki od elemenata koristeći odgovarajuću funkciju gustine vjerovatnoće ispada.

$$F(t) = u = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$T_{dj} = -\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) \ln(1-u_j) \quad j \in [1, \dots, m]$$

$$T_{dj} = -\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) \ln u_j$$

- Korak 3 – rangiraju se sva vremena otkaza hronološki. Minimalno vrijeme odgovara prvom sljedećem događaju tj. kvaru elementa.
- Korak 4 – generiše se slučajni broj za odabrani događaj i na osnovu njega se proračuna vrijeme popravke (na osnovu odgovarajuće funkcije gustine vjerovatnoće). Tako dobijena vremena se rangiraju i uvrste u listu.

Upravljanje ED mrežom

- Postupak Monte Carlo metoda
 - Korak 4

$$F(t) = u = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^\beta\right]$$

$$\sigma = \frac{\text{mean repair time}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})}$$

$$T_{r,j} = \sigma (-\ln u_j)^{1/\beta} \quad j \in [1, \dots, m]$$

- Korak 5 – Simulira se sistem u novom stanju nakon događaja (kvara, popravke) tako što se vrši proračun tokova snaga, kratkih spojeva – identifikuju se problemi i korektivne akcije. Sumiraju se indikatori pouzdanosti i generiše se novi slučajni broj koji se konvertuje u vremena ispada i popravke koja se hronološki rangiraju.
- Korak 6 – Povratak na korak 5 u slučaju manjeg vremena simulacije od 1 god. U suprotnom, sumiraju se svi indeksi pouzdanosti za godinu.

Upravljanje ED mrežom

- Postupak Monte Carlo metoda
 - Korak 7 – Računa se srednja vrijednost i varijansa indeksa pouzdanosti

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(u_i)$$

$$\text{var}(x) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x(u_i) - \bar{x})^2$$

- Postupak se ponavlja sve dok koeficijent varijacije ε odabranog indeksa pouzdanosti postane manji od odabranog praga (uslova) konvergencije postupka
- Pored koeficijenta varijacije, broj uzoraka (godina) N može biti odabran kao uslov konvergencije postupka