

SUSTAV REGIONALNOG UPOZORENJA

Niko MANDIĆ, dipl. ing.

Sustav regionalnog upozorenja je razmjerno jednostavan. To je istodobno sustav nadzora rada elektroenergetskog sustava u stacionarnom stanju. Već je u upotrebi. Za sada ga koriste četiri europska operatora elektroprijenosnih sustava (TSO). Budući da se očekuje širenje i primjena tog sustava za nadzor rada u gotovo svim europskim EES-ovima, korisno je upoznati njegove osnovne karakteristike.

Sustav regionalnog upozorenja pruža uvid u trenutačno stanje elektroenergetskih sustava, a čini ga vizualni prikaz koji se sastoji od dvije skupine informacija. Prva sadržava karakteristične trenutačne numeričke podatke, a druga grafički dio, odnosno tzv. semafor stanja EES-a. U okviru tog vizualnog prikaza zelenom bojom je označeno normalno pogonsko stanje EES-a, a poremećenog pogona drugim bojama, ovisno o stupnju ugroženosti. Nakon što voditelj operatora prijenosnog sustava (TSO) utvrdi neuobičajeno stanje EES-a, aktivira odgovarajuću oznaku boje (stanja) na semaforu i time jednostavnim signalom informira, odnosno upozorava susjedne EES-ove. Nakon slanja takve informacije, TSO kod kojeg su se javile poteškoće ima više vremena za rješavanje vlastitih poremećaja. To je pozitivan pomak ako je poznato da se nekada u sličnim stanjima poremećaja mnogo vremena trošilo na informiranje susjednih TSO-a o poremećaju.

Za sustav se koriste postojeća oprema i informacije. Skupom razmjerno dostupnih informacija koje su prikupljene i analizirane u svakom pojedinom EES-u te zatim stavljene u funkciju informiranja, vrlo se brzo dobiva trenutačni globalni uvid u stanje EES-a cijele regije. Takva spoznaja pomaže uspješnijem vođenju EES-a, ali i preventivnim mjerama koje treba poduzeti nakon informacije o poteškoćama u susjednom EES-u. Sve dodatne informacije koje nisu u funkciji rješavanja trenutačnih poteškoća u EES-u u kojem je došlo do poremećaja naknadno se šalju elektroničkom poštom na pripremljene adrese svih partnera. Takva poruka s kratkim opisom stanja šalje se što prije nakon svake promjene boje na semaforu. Cilj naknadne informacije ostalim voditeljima je bolje upoznavanje s poremećajem i potreba za poduzimanjem dodatnih preventivnih mjera u susjednim EES-ovima.

Na stranicama časopisa EGE u više navrata su predstavljeni različiti poremećaji koji su se dogodili u velikim EES-ovima diljem svijeta. Tako je bilo riječi o Kalifornijskom slučaju, a potom o nekim aspektima drugog velikog američkog raspada i o preporukama za izbjegavanje sličnih situacija. Nakon toga, dani su osvrti na poremećaje sustava u Velikoj Britaniji, Danskoj, Italiji, Poljskoj, Grčkoj itd. Konačno, u kratkim je crtama opisan poremećaj u sustavu UCTE-a koji se dogodio 4. studenog 2006. godine oko 22.10 h. Bio je to najveći poremećaj u povijesti europskog EES-a. Valja se podsjetiti, mreža UCTE-a podijelila se tada na tri dijela, tj. na tri energetska otoka s različitim frekvencijama i ostalim parametrima. Pri tome centri vođenja EES-ova diljem Europe nisu bili u potpunosti informirani. Takav zaključak dalo je istražno povjerenstvo nakon nekoliko mjeseci istraživanja i analiziranja u materijalu koji sadrži više od stotine stranica. Nekada čvrsta, energetska dinamička cjelina podijelila se na tri jedinice koje su funkcionirale zasebno do ponovnog spajanja. Za ponovno povezivanje tri djela u jedinstvenu cjelinu trebalo je usuglasiti nekoliko ključnih parametara što je i učinjeno. Francuski operator RTE odigrao je tada značajnu ulogu u normalizaciji stanja povećavajući proizvodnju u prvoj minuti nakon poremećaja s nultog opterećenja na stanje dodatne hidroenergetske proizvodnje veće od 5500 MW. Time je frekvencija tog cijelog energetskog otoka približena frekvencijama susjednih EES-ova, što je bio samo jedan od preduvjeta za ponovno spajanje u cjelinu.

Uz sve dotadašnje poremećaje te veće ili manje accidente, taj zadnji veliki europski raspad potaknuo je usvajanje i provedbu prikazanog sustava upozorenja. Smatra se da je on najviše djelotvorno doprinio pomaku u boljem međusobnom informiranju voditelja EES-ova.

U časopisu EGE je također već opisan jedan drugi sustav - WAM. On može pratiti dinamičke promjene različitih veličina. Valja se podsjetiti, on se temelji na posve drugoj tehnologiji koja koristi fazore karakterističnih veličina i daje vrlo precizne informacije korisne za vođenje EES-a u stanjima neposredno prije poremećaja. Razvoj, primjena i napredak WAM-a teče ubrzano diljem svijeta. Budućim i očekivanim preventivnim djelovanjem taj će usavršeni sustav nadzora (kasnije i upravljanja) doprinijeti novom i kvalitetnijem načinu vođenja EES-ova. Posebno se velika očekivanja polažu u njegov rad u predakcidentnim stanjima rada EES-a.

Nakon analiza velikog europskog i ostalih poremećaja uslijedili su prijedlozi s ciljem poboljšanja međusobnog informiranja voditelja EES-a koje do tada nije bilo zadovoljavajuće. Prijedloga je bilo mnogo, a i prepreka. Poteškoće se uglavnom svode na informatičko-tehničku različitost svakog EES-a i nemogućnost pribavljanja financijskih sredstava za novi sustav informiranja. Nijedan od sudionika rasprave nakon velikog europskog akcidenta nije mogao jednostavno izdvojiti i usuglasiti potrebna sredstva za tu namjenu. Uz takva saznanja i ograničenja pošlo se drugim putem u ostvarenju boljeg informiranja voditelja EES-ova i odlučilo za jednostavan, jeftin i praktičan način. Korištena je postojeća oprema i informacije. One su objedinjene u podacima složenima u jednostavnu cjelinu. Iz takvih informacija iskusna i dobro obučena posada voditelja EES-a može izdvojiti gotovo sve značajne informacije. Nakon provedene analize EES-a poduzimaju se potrebne radnje. Aktiviranjem određene boje na semaforu informiraju se susjedni voditelji EES-ova.

Već je rečeno da se sustav regionalnog upozorenja (eng. regional awareness system) temelji na primjeni već postojećih informacija i tehnologije bez značajnijih i većih preinaka. Ne zahtijeva dodatna ulaganja i njegova je primjena brza i učinkovita. Poznavanje iznesenih činjenica i njegovo prihvaćanje podrazumijeva da se od njega ne trebaju očekivati detaljni podaci jer ih može pružiti samo skup ekspertni sustav koji na europskoj razini za sada nije ostvariv.

Sustav regionalnog upozorenja bio je opisan u nekoliko radova na skupštini Hrvatskog odbora CIGRÉ-a u Cavtatu 2008 godine. Funkcionira u četiri centra TSO-a: Hrvatske, Mađarske, Austrije i Slovenije.

Sustav se kolokvijalno naziva semaforom sigurnosti rada EES-a. Ljudski čimbenik pri tome je odlučujući. Voditelj svakog EES-a na temelju iskustava procjenjuje stanje. Na osnovi činjeničnih

podataka i usvojenih zajedničkih pravila rada, rad EES-a se karakterizira nekom od boja na semaforu. Sve značajne odluke voditelja temelje se, zapravo, na utvrđene tri razlike. One se mogu pojaviti pojedinačno, ali i skupno, uzrokujući aktiviranje jednog od tri svijetla poremećaja. Tako razlika $P - P_{sch} = \Delta P$ ukazuje na odstupanje u snazi, odnosno poremećaj uzrokovan ispadom veće proizvodnje ili potrošnje energije. Drugo, značajna razlika opterećenja na granici EES-a dva neposredno bliska trenutka ukazuje na neku vrstu većeg poremećaja. Konačno, značajna razlika frekvencija u nekom kratkom intervalu nagovještava nadolazeće poteškoće u EES-u. Primjerice, aktiviranje crvenog svijetla je također rezultat jedne ili više spomenutih razlika. Takva informacija (boja na semaforu), uz ostale karakteristične parametre rada, dostupna je svim partnerima koji je prihvaćaju i provode potrebne aktivnosti. Valja napomenuti da upaljeno crveno svjetlo ne implicira raspad EES-a. Zelenom bojom označen je normalan pogon i uobičajen rad EES-a i u takvom stanju radi najveći dio godine. Ostale tri boje na semaforu, kada se aktiviraju, označavaju neko od stanja poremećaja. Boja oznake definira stanje EES-a. Uz podatak sa semafora o trenutnom stanju EES-a (normalno ili poremećeno), prikazani su i podaci o trenutačnoj vrijednosti karakterističnih veličina: P , P_{sch} , ΔP i f_{req} (Hz).

Aktivirano zeleno svjetlo - normalno pogonsko stanje

U normalnom pogonu svi parametri EES-a su unutar definiranih granica. Kriterij sigurnosti $N - 1$ nije narušen. Vođenje EES-a je stabilno i bez poteškoća ili bilo kakvih ograničenja. Dakle, osim karakteristične boje koja opisuje stanje EES-a, postoje tri brojčane informacije za svaki EES. Riječ je o trenutačnim izmjerenim veličinama. To su opterećenje (u MW) na svakoj od granica poznatog iznosa i smjera (strelica), potom razmjena (trenutačna i planirana snaga te njihova razlika ΔP) te frekvencija u sustavu. Te informacije skupljene na jednom mjestu predstavljaju dragocjen skup podataka koje u svakom trenutku opisuju globalno stanje i rad EES-a. Od trenutka uvođenja sustava regionalnog upozorenja nije prošlo mnogo vremena pa primjeri poremećaja u praksi nisu zabilježeni. Velik iznos ΔP može značiti samo nedostatak proizvodnje ili potrošnje energije. Primjerice, ispadom potrošnje reda veličine stotinjak ili više MW pojavljuje se trenutačni višak energije u sustavu, dok regulacijska elektra ne smanji ili poveća proizvodnju, ako to može u trenutačno raspoloživom regulacijskom opsegu. Sličan i primjeren učinak ima ispad iz pogona proizvodne jedinice. Ponovno je ΔP velik. Na taj

način predznaci - i + uz ΔP ukazuju na trenutačni višak ili manjak energije, tj. na neravnotežu EES-a. Svako odstupanje frekvencije ponovno ukazuje na neravnotežu, uobičajeno uzrokovano ispadima proizvodnje ili potrošnje 1000 MW ili više. Na primjeren način se prepoznaju promjene snage na granicama EES-a. To može značiti ispad značajne dalekovodne veze, promjenu tokova snaga, povećanje sivih tokova energije ili, općenito rečeno, neki poremećaj. Ako opterećenje na jednoj od granica intenzivno raste, moguć je prekid te visokopterećene veze te složeniji problemi i dinamička njihanja snage u cijeloj regiji.

Stanja poremećenog pogona označena su s tri boje: žutom, crvenom i crnom. Žutom je označeno prvo stanje poremećenog (ugroženog) pogona, crvenom alarma, a crnom raspada EES-a. Različita stanja EES-a prikazana su primjerima na il. 1 - 4. U uvjetima stvarnog pogona moguće je da se na semaforima dva TSO-a pojave istodobno ista ili različita svjetla poremećenog pogona. Tako je moguće da istodobno budu aktivirana dva žuta svjetla u dva EES-a, no to nije razmatrano.

Aktivirano žuto svjetlo - ugroženo stanje

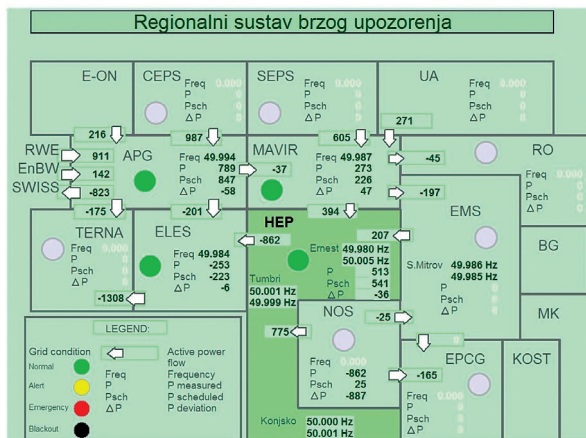
Na il. 2 je prikazan teoretski primjer ugroženog stanja EES-a u Mađarskoj. O kakvoj je vrsti poremećaja riječ i koji je razlog aktiviranja upozorenja nema informacije, već će dodatno tumačenje biti poslano naknadno. Svi ostali EES-ovi vide tako označeno stanje, analiziraju rad svojeg EES-a i tokove snaga.

Prema usvojenim pravilima, neki od uvjeta za aktiviranje žutog svjetla su: naponi 400 kV < 380 kV i 220 kV < 198 kV, dugotrajni problemi uravnoteženja energije (u trajanju duljem od 1 h) i nedostatak snage za regulaciju.

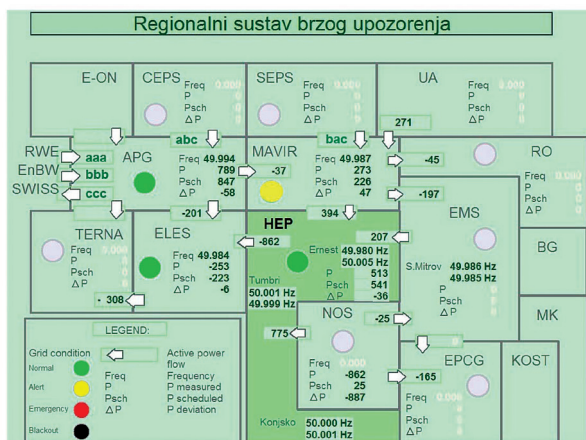
Takvo stanje obilježavaju sljedeće činjenice: sigurnosni kriterij $N - 1$ nije ispunjen pa se ne može uspostaviti vlastitim mjerama unutar razdoblja 15 min. Negativan utjecaj takvog ugroženog stanja jednog EES-a prenosi se na susjedne i postoji vjerojatnost prelaska u stanje poremećaja. Okolni EES-ovi nakon aktiviranja žutog svjetla provjeravaju mogućnost solidarne pomoći ako do takvog zahtjeva dođe i izbjegavaju sve radnje koje bi mogle dodatno ugroziti već neuravnotežen EES. Nadalje, ograničava se ili otkazuje trgovanje električnom energijom, primjerice, na dnevnoj osnovici (eng. intraday).

Aktivirano crveno svjetlo - alarm (poremećeno stanje)

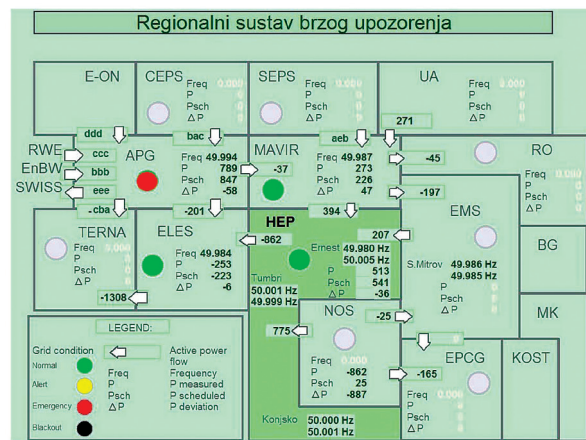
Uvjeti za aktiviranje crvenog svjetla su: naponi 400 kV < 360 kV i 220 kV < 187 kV te frekvencija EES-a u granicama 49,8 - 50,2 Hz. Pri tome



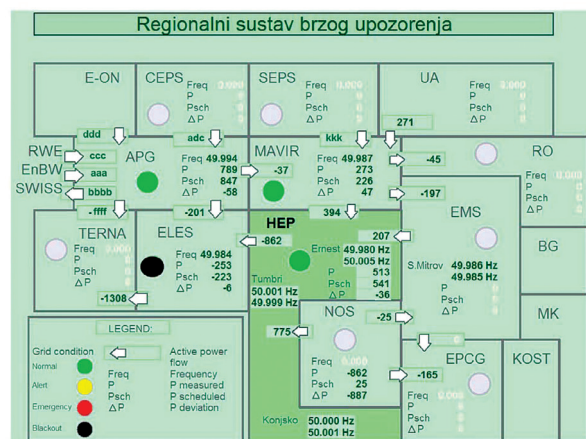
Ilustracija 1
Uobičajeno stanje: sva četiri TSO-a imaju normalno stanje (upaljena zelena svjetla na semaforu)



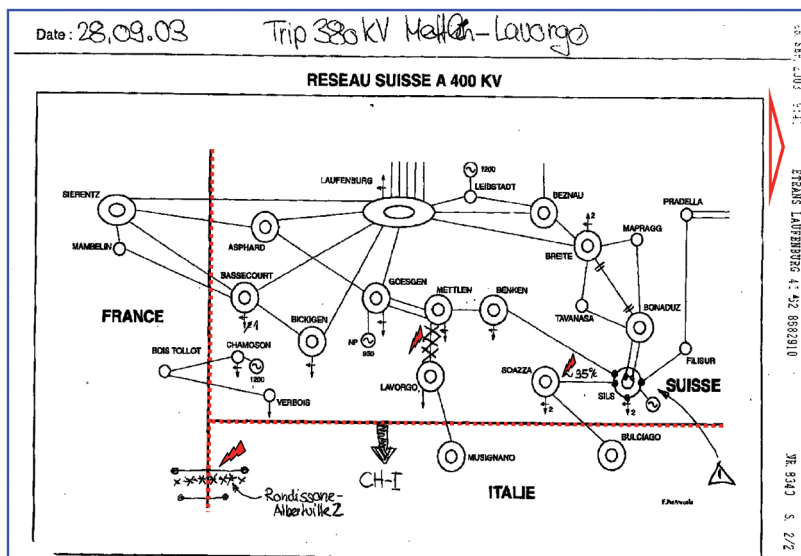
Ilustracija 2
Upozorenje: ugroženo stanje EES-a pri čemu gori žuto svjetlo (okolni EES-ovi vide signal takvog stanja i mogu razmijeniti kritične informacije)



Ilustracija 3
Alarm: predhvarijsko stanje (upozorenje susjednim TSO-ima o kritičnoj situaciji)



Ilustracija 4
Djelomični ili potpuni raspad: crno svjetlo na semaforu



Ilustracija 5
Primjer nekadašnjeg načina informiranja centra vođenja (kopija originalnog zapisa dva centra vođenja: švicarskog ENTRANS-a sa sjedištem u Laufenburgu i talijanskog GRTN-a sa sjedištem u Rimu iz 2003. godine)

postoji mogućnost aktiviranja automatskog podfrekventnog rasterećenja EES-a i u takvom stanju su mogući ispadi elektrana zbog promjene frekvencije. Regulacija snaga - frekvencija stavljena je u frekvencijski način rada.

Takvo stanje naziva se poremećenim i svim je EES-ovima upućen alarm. Ugrožena je opća sigurnost EES-a i rad u interkonekciji temeljen na tržišnim pravilima nije više moguć. Susjedni voditelji EES-ova kontroliraju stanje u vlastitoj mreži i provjeravaju pripremljene procedure za takva stanja, za slučaj poziva ugroženog TSO-a. Telefonski pozivi ugroženom TSO-u se u takvom stanju trebaju izbjegavati, ako nisu u funkciji poboljšanja stanja. Iz dugogodišnje prakse i rada u akcidentnim stanjima EES-a se takva preporuka praktično ne provodi dosljedno. U tom pogledu postoji suprotno ponašanje u pogledu telefonskih i drugih poziva i upita.

Aktivirano crno svjetlo - raspad EES-a

Aktivirano crno svjetlo na semaforu označava raspad EES-a i to je najteže stanje u kojem se može naći. To se rijetko događa, no uzrokuje nesagledive posljedice u tehničkom i financijskom smislu (štete). U raspadima EES-ova diljem svijeta se najčešće pokazuju različiti propusti u pogledu rada zaštite, planova obrane od poremećaja i dr. Kada se raspad već dogode, o njima se isprva mnogo priča, ali se brzo zaborave pa najveći dio preporuka ostane na papiru ili se sporo primjenjuju. Razlog za to najčešće su potrebna značajna financijska sredstva. Raspad (eng. blackout) može biti djelomičan ili potpun. Karakterizira ga djelomični ili potpun nestanak napona. Takvo stanje značajno se odražava na sve susjedne EES-ove u svim parametrima, no negativan učinak osjete i udaljeni EES-ovi. Nakon sagledavanja stanja poslije raspada pokreću se planovi za restauraciju

što može trajati od 1 h do nekoliko sati, a u ekstremnim situacijama i nekoliko dana. Iz tog stanja, nakon brze operativne analize počinje postupno pružanje napona i ponovni start proizvodnih jedinica. Najbrža normalizacija stanja često se može ostvariti preko dalekovoda 400 kV primitkom napona iz energetski moćnog čvorišta i daljnjom postupnom gradnjom EES-a, uz kontinuirano održavanje ravnoteže proizvodnje i potrošnje energije. Potom startaju hidroelektrane (osobito one koje imaju mogućnost 'crnog starta') ili interventne plinske elektrane. Restauracija poremećaja EES-a se svaki put provodi na nepovoljiv način jer je i uzrok poremećaja svaki put drugačiji.

Na il. 5 prikazana je povijesna prepiska od prije osam godina. Pronađena je na internetu nakon traganja za detaljima davnog poremećaja. To je skica 400 kV mreže na kojoj je označen inicijalni poremećaj na dalekovodu 400 kV Mettlen (Švicarska) - Lavorgo (Italija) koji je izazvao poremećaj i kaskadne ispade dalekovoda te potpuni raspad talijanskog EES-a. Uz to, bilo je otežavajućih okolnosti koje su doprinijele postupnom gašenju EES-a. Kolokvijalno se za takav raspad kaže da je 'nastupio postupni mrak'. Taj primjer potvrđuje razmjerno nisku razinu međusobne komunikacije pojedinih europskih centara, a upravo je to bio zaključak povjerenstva nakon analize poremećaja od 4. studenog 2006. godine.

Zašto baš te veličine?

Poremećaji koji nastaju razmjerno sporo primjećuju se trajnim praćenjem karakterističnih veličina. No, postoje i drugi poremećaji, iznenadni i brzi. Tako se iznenadni ispad veće proizvodnje ili potrošnje, kratak spoj i sl. zapažaju karakterističnim treptanjem rasvjete u komandnoj prostoriji voditelja, pa i one udaljene. To je još jedan očit znak poremećaja.

Na osnovi trenutačne snage razmjene na granicama EES-ova, ostvarenja i održavanja dogovorenog opterećenja i frekvencije, može se ostvariti kvalitetan uvid u trenutačno stanje EES-ova u regiji. Bez obzira na to o kojem je EES-u riječ, svi ti parametri su razmjerno lako dostupni u informacijskom sustavu. Njihova je važnost za procjenu stanja jednaka. Poremećaj svakoga od njih nagovještava veće ili manje poteškoće u radu EES-a. Iz svih operativnih saznanja, kolebanje frekvencije u dijelu velikog sustava kakav je UCTE smatra se posebno opasnim. Teško je procijeniti rizike događaja koji se još nisu dogodili, no uobičajeno se nestabilnost frekvencije pojavljuje kao posljedica značajnih poremećaja ravnoteže EES-a. Ona ukazuje na moguće dublje poremećaje s vjerojatnošću eskalacije ako se ne uspostavi novo

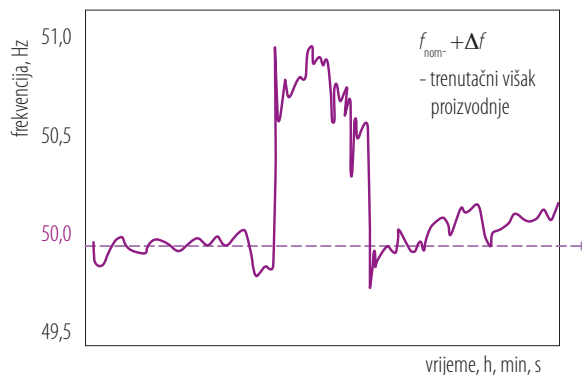
ravnotežno stanje. Treći podatak koji se nalazi u okviru prikaza stanja EES-a je izmjena frekvencije u svakom EES-u.

Na il. 1 - 4 vidljiva je samo jedna frekvencija svakog EES-a. Samo u hrvatskom EES-u su dane tri vrijednosti frekvencije iz tri prostorno udaljena čvorišta na jednom mjestu. Razlog tome je neobičajan oblik hrvatskog sustava kakav ne postoji gotovo nigdje u svijetu (oblik luka). Potom to je rezultat i iskustva iz velikog europskog raspada od 4. studenog 2006. godine, kada su u sve tri označene točke frekvencije bile različite, zbog cijepanja sustava na tri dijela.

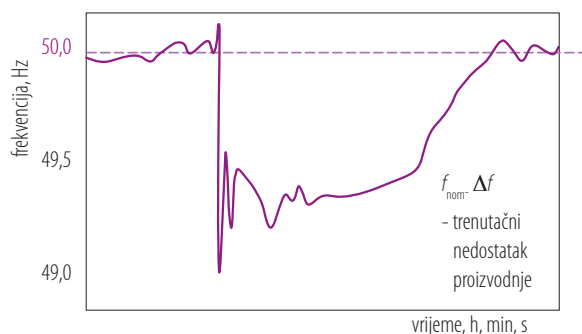
Neki primjeri poremećaja EES-a

Svaki poremećaj EES-a je jedinstven i neponavljiv, a ponavljanje identičnog stanja i poremećaja u istom EES-u nije ni teoretski moguće tijekom godine. Gotovo vrlo sličan poremećaj u drugom EES-u rezultira potpuno drukčijim stanjima. Na il. 5 - 9 prikazani su dijelovi stvarnog poremećaja. Birani su metodom slučajnog uzorka iz proteklih godina. Kako je poznato, oni se ne mogu potaknuti ili korigirati u laboratoriju pa su prikazani kako su zabilježeni.

Na il. 6 i 7 prikazan je zapis poremećaja od 4. studenog 2006. godine u dva različita energetska otoka. Na dijagramu na il. 6 prikazan je zapis frekvencije u dijelu EES-a gdje je veća skupina potrošača ostala bez napajanja, što je rezultiralo porastom frekvencije (prevelika proizvodnja energije za preostalo opterećenje na mreži), a na il. 7 isti događaj, ali u drugom dijelu podijeljenog EES-a, odnosno u drugom energetskom otoku, u kojem je nakon raspada postojao nedostatak proizvodnje energije pa je njegova frekvencija bila snižena. U oba primjera sustav regionalnog upozorenja bi taj događaj zabilježio. No, drugo pitanje ostaje neriješeno, a tiče se moguće pravovremene reakcije. Na osnovi dodatnih podataka (koji nisu prikazani) ne može se potvrditi da je u tom slučaju bilo dovoljno vremena za reakciju.



Ilustracija 6
Primjer porasta frekvencije pri raspadu europskog EES-a 4. studenog 2006. godine

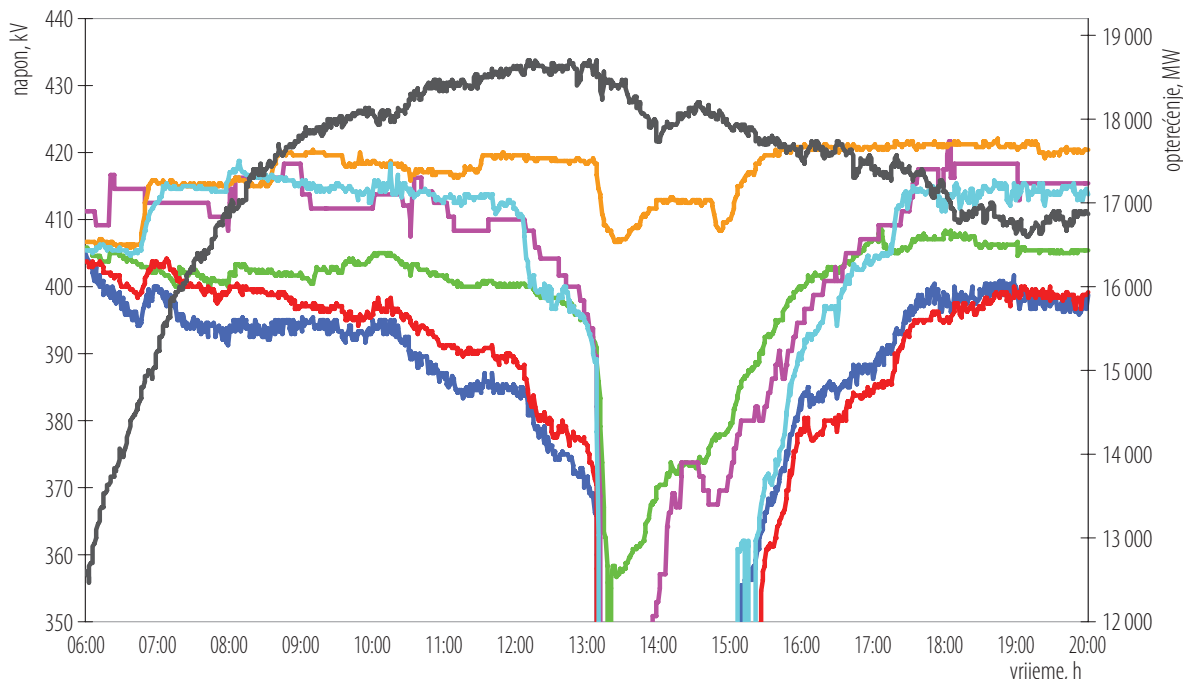


Ilustracija 7
Primjer smanjenja frekvencije pri raspadu europskog EES-a 4. studenog 2006. godine

Na il. 8 je prikazan naponski slom u Poljskoj u lipnju 2006. godine. Ta vrsta poremećaja ne prepoznaje se izravno, nego posredno. Teoretski gledano, poremećaj uzrokovan slomom napona može trajati od nekoliko sekundi do nekoliko sati. Tijekom takvog stanja ispadaju pojedini izvori, ali i veće skupine potrošača u regiji. U prikazanom je primjeru slom napona potrajao dulje vrijeme. Iz podataka o frekvenciji EES-a poremećaj ne bi bio prepoznat, no bio bi uočen posredno, na osnovi druga dva podatka u sustavu regionalnog upozorenja: najprije prema povećanim opterećenjima na granicama EES-ova, a potom na osnovi velike razlike snage razmjene (ΔP) koja je iznosila i 1200 MW.

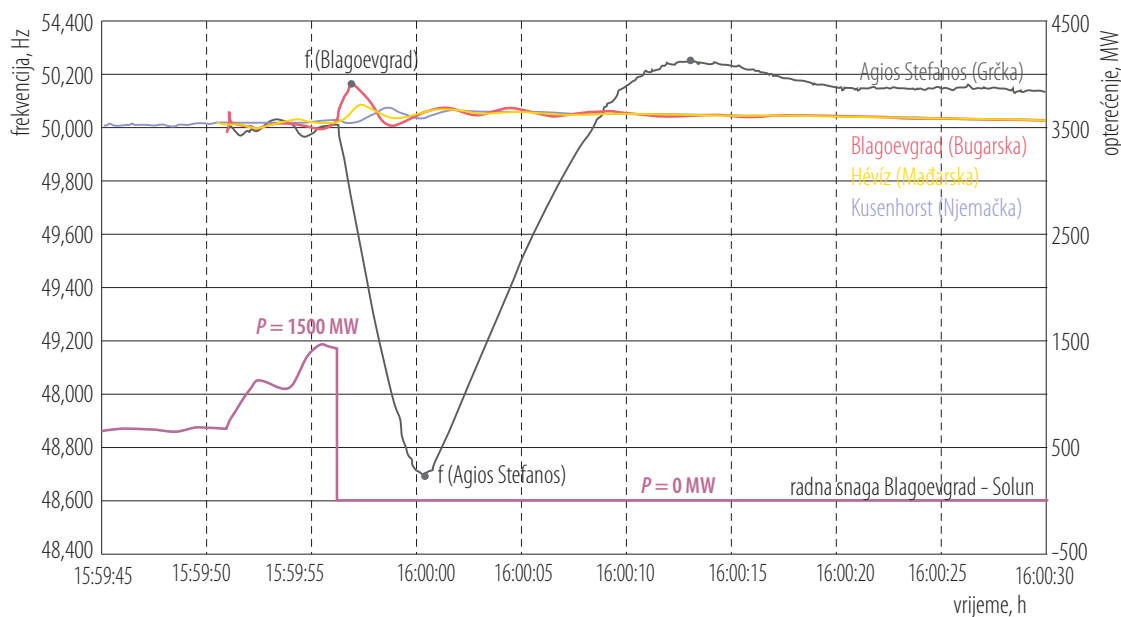
Na il. 9 je prikazan primjer prekida visoko-opterećene veze između Bugarske i Grčke na

Ilustracija 8
Primjer
naponskog
sloma u
Poljskoj u lipnju
2006. godine



kojoj je do poremećaja opterećenje bilo 1500 MW. Kako se vidi, prekid veze je uzrokovao propad frekvencije veći od 220 mHz, a njezina varijacija prelazila je 400 mHz u vremenu nešto kraćem od 15 s. Snažni poremećaji takvog ili sličnog učinka prema službenoj klasifikaciji UCTE-a označavaju se vrlo opasnim za daljnji stabilan rad EES-a. U sustavu regionalnog upozorenja takav ili sličan poremećaj bio bi prepoznat. Na il. 9 su prikazani frekventni odzivi EES-ova nekoliko čvorišta, bliskih i udaljenih, koji su preuzeti iz sustava WAM. To su Agios Stefanos i Blagoevgrad te razmjerno udaljeni Hévíz i Kusenhorst. Takav ili sličan sustav upozorenja bi takav poremećaj

zabilježio zbog promjene tokova snaga. Na osnovi raspoloživih i prikazanih grafičkih primjera vidi se da se predstavljeni i slični poremećaji najvjerojatnije mogu zabilježiti sustavom ranog upozorenja. To od voditelja EES-a zahtijeva stalnu pozornost. Već je rečeno da je svaki poremećaj neponovljiv pa ga kao takvog treba i prepoznati. U nekim od predstavljenih primjera za prepoznavanje poremećaja postojala je značajna promjena frekvencije, a u drugima značajna promjena opterećenja ili razmjene. To samo potvrđuje raznolikost i neponovljivost stanja EES-a te potrebu za kvalitetnim kontinuiranim praćenjem njegovog rada. ■



Ilustracija 9
Primjer prekida
dalekovodne veze 400 kV
Blagoevgrad - Solun