

Damir Karavidović, dipl. inž.  
HEP-ODS d.o.o., Zagreb  
[damir.karavidovic@hep.hr](mailto:damir.karavidovic@hep.hr)

## DISTRIBUCIJSKA MREŽA I DISTRIBUIRANI IZVORI ZAJEDNO U PARALELNOG I OTOČNOM POGONU

### SAŽETAK

Temeljno obilježje budućnosti distribucijske mreže bit će pojava velikog broja izvora električne energije vrlo različitih značajki i raspršenih sve u dilj distribucijske mreže. Izvori obnovljive energije i kogeneracije biti će u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom, što će biti izazov kako za pogon mreže tako i za pogon elektrana. U normalnom pogonu mreže valja očekivati prihvatljive vrijednosti električnih veličina na sučelju mreže i elektrane, a poremećaji i kvarovi u mreži i/ili elektrani mogu izazvati neprimjerene uvjete paralelnog pogona.

Referat ima cilj ukazati koji su to primjereni, a koji neprimjereni uvjeti paralelnog pogona, na koji način prepoznati neprimjerene uvjete paralelnog pogona, kako se elektrana treba ponašati u slučaju poremećaja primjerenih uvjeta i koji su kriteriji izlaska elektrane iz paralelnog pogona s mrežom. Također, referat će odgovoriti na pitanje u kojim uvjetima je otočni pogon elektrane s dijelom mreže poželjan i održiv.

Za paralelni pogon elektrane s mrežom, operator distribucijskog sustava mora biti u položaju onog koji može utjecati na tvorbu zahtjeva koji se postavljaju pred pogonske značajke elektrane s ciljem podizanja kakvoće opskrbe električnom energijom u distribucijskom sustavu s distribuiranim izvorima.

Cilj ovoga referata je otvoriti pitanja, pa i dati neke odgovore, od bitne važnosti za tvorbu novih Mrežnih pravila za distribucijski elektroenergetski sustavi.

**Glavne riječi:** distribuirani izvori, paralelni pogon, otočni pogon, ponašanje generatora

## DISTRIBUTION NETWORK AND DISTRIBUTED GENERATORS TOGETHER IN PARALLEL AND ISOLATED OPERATION

### SUMMARY

The fundamental feature of the future distribution network will be the appearance of a large number of power sources with very different features spread out all over the distribution network. Sources of renewable energy and cogeneration will be in parallel operation with the distribution network which will be a challenge for the network and power plants operation. In normal operation of the distribution network we should expect a reasonable value of electrical quantities at the interface of power plant and distribution network. On the other hand disturbances and breakdowns in the distribution network and/or power plant can cause inappropriate conditions for the parallel operation.

The paper aims to answer on questions about adequate and inappropriate conditions of parallel operation, how to recognize inappropriate conditions for parallel operation, how power plant respond in case of disturbance of appropriate conditions and to set up the criteria of the exiting of power plant from the parallel operation with the network. Also, the paper will answer the question in what circumstances the isolated power plant operation to the part of distribution network is desirable and sustainable.

For the parallel operation of power plant to the network the distribution system operator must be in a position to act on the creation of demands that are placed to the operating characteristics of power plants with the aim of raising the quality of electricity supply in the distribution system with distributed sources. The aim of this paper is to open question and even provides some answers essential for the preparation of new Distribution code.

**Key words:** distributed generators, parallel operation, isolated operation, generator behavior.

## 1. UVOD

### 1.1. Objedinjavanje distribuiranih izvora i distribucijske mreže u distribucijski sustav

Jedna jedina elektrana i vod, kao sastavnica distribucijske mreže na koju je elektrana priključena, oživljava promjene temeljnih pogonskih električnih veličina u dijelu mreže gdje je priključena. Veći broj malih elektrana raspršenih sve u dilj distribucijske mreže, oživljavaju promjene temeljnih električnih veličina u distribucijskoj mreži, a u nekim primjerima događa se čak utjecaj na električne uvjete između prijenosne i distribucijske mreže. Međusobni utjecaji mreže i elektrane na promjene pogonskih veličina ovise od određenih značajki mreže i elektrane.

Kako raste broj elektrana koje su namijenjene isključivo proizvodnji električne energije za tržište, kao i onih koje nisu namijenjeni samo podmirivanju potreba vlasnika, već višak proizvedene električne energije predaju u mrežu, mreža postaje poveznica elektroenergetskog gospodarstva. Kako se između korisnika mreže, operatora mreže, opskrbljivača i drugih sudionika tržišnih i reguliranih odnosa isprepliću ugovorne uzance, to sve više na značenju dobivaju značajke pogona mreže sadržane u pojmu kakvoća opskrbe električnom energijom. Kakvoća opskrbe pak izražena kakvoćom napona i neprekidnošću napajanja može doseći visoke zahtijevane razine samo osmišljenim objedinjavanjem značajki mreže i elektrana kao prostorno distribuiranih izvora.

Objedinjavanje distribuiranih izvora i distribucijske mreže u distribucijski sustav više je od onog što sadrži izraz paralelni pogon, jer znači aktivnu ulogu elektrane u statičkoj i dinamičkoj potpori održanju stabilnosti napona mreže, jer znači opstojnost pogona elektrane na prolazna stanja kvara u mreži i napose preuzimanja opskrbe kupaca u dijelu mreže kroz otočni pogon. Preduvjet za takvo objedinjavanje je ponašanje distribuiranih izvora u paralelnom pogonu s mrežom i u otočnom pogonu s dijelom mreže.

I dok se još nedavno za sve pogonske probleme, koje donosi utjecaj distribuiranih izvora u elektroenergetskom sustavu, imalo rješenje u bezuvjetnom odvajanju od mreže, danas je filozofija na strani opstojnosti paralelnog pogona s mrežom, a otočni pogon određenih vrsta elektrana s dijelom mreže nije više heretičko pitanje.

Dakako, navedeni pristup nije neki modni trend elektroenergetike nego jedan način za istodobno postizanje veće kakvoće opskrbe električnom energijom uz veći udjel distribuiranih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije. Ovakav se pristup uobičajeno razvija na razini propisa koji donosi energetska regulatorna agencija, a Operator mreže to podržava svojim tehničkim uvjetima za priključenje i pogon mreže.

Postavlja se pitanje, kako ostvariti sklad rada distribucijske mreže i distribuiranih izvora s ciljem podrške kakvoći opskrbe električnom energijom. Temeljne pretpostavke su:

- a) Osmišljeno, razvidno i nepristrano upravljanje postupcima priključenja distribuiranih izvora i
- b) Ponašanje distribuiranih izvora u paralelnom pogonu s mrežom prema propisanim tehničkim uvjetima.

Operator distribucijskog sustava (u daljnjem pisanju: ODS) mora, počam od sagledavanja uvjeta za izdavanje PEES, do tehničkog rješenja priključka i stvaranja uvjeta u mreži, opredjeljivati se za rješenja od bitne važnosti za korištenje mreže. Već u PEES trebaju biti ugrađene temeljne odrednice koje stvaraju tehnički okvir korištenju mreže, a ugovor o korištenju mreže treba urediti pogonske uvjete rada elektrane. To znači jedan korak dalje u objedinjavanju distribucijske mreže i distribuiranih izvora (u daljnjem pisanju: DI). Kod elektrana veće snage i složenijih uvjeta vođenja pogona, postupak objedinjavanja treba završiti s ugovorom o vođenju pogona.

Mora se razlikovati uvjete za priključenje neke elektrane na mrežu od uvjeta za korištenje mreže od strane te iste elektrane, ali istodobno i prepoznati kako prvi uvjeti u mnogočemu određuju druge. Ispunjenjem nekih tehničkih uvjeta za priključenje (primjerice: odstupanje napona, razina struje kratkog spoja, zaštita od kvarova i smetnji, faktor snage, ...), ostvariti će se pretpostavke korištenja mreže prema zadanim uvjetima.

Svaka mogućnost proizvodnje električne energije u DI koja pak ima porijeklo iz izvora obnovljive energije „dar je prirode“. Paralelni pogon DI obnovljive primarne energije s mrežom, pruža mogućnost korisne uporabe ukupno proizvedene električne energije, ili viška kada se radi o elektranama s pridruženom potrošnjom.

Paralelni pogon DI s mrežom, je nezaobilazan i opravdan cilj, koji može ostvariti veću kakvoću opskrbe električnom energijom, ali do njega se može doći (Slika 1.) tek opravdanim zahtjevima ODS-a prema značajkama DI, kao i raspolaganju DI s traženim sposobnostima.



Slika 1. Novi zahtjevi za ponašanje DI u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom u korist kakvoće opskrbe električnom energijom u distribucijskoj mreži s DI

S porastom udjela snage DI u ukupnoj snazi elektroenergetskog sustava, osmišljeno objedinjavanje DI i mreže dobiva, a primjena grubog kriterija bezuvjetnog odvajanja elektrane u poremećenim i kvarnim stanjima mreže, gubi na važnosti.

## 1.2. Trenutni tehnički okvir korištenja mreže od strane DI i napredak mogućnosti

Prema Mrežnim pravilima, korištenje distribucijske mreže je proces pri kojem se ostvaruje provođenje električne energije po distribucijskoj mreži, uključujući i razmjenu električne energije s ostalim povezanim mrežama. Uvjet za korištenje mreže od strane nekog korisnika je zadovoljenje tehničkih i pogonskih uvjeta u skladu s Mrežnim pravilima i Općim uvjetima.

Elaborat utjecaja elektrane na elektroenergetsku mrežu predstavlja temeljni dokument kojim se, nakon utvrđenog optimalnog rješenja priključenja elektrane na mrežu, računskim analizama propitkuje razina povratnog djelovanja proizvodnog objekta na mrežu, odnosno utvrđuju uvjeti korištenja mreže. Ispitivanjima u probnom pogonu elektrane, provjeravaju se računski utvrđeni uvjeti odnosno potvrđuje ili opovrgava kako će u pogonu elektrane na mrežu biti ispunjeni uvjeti korištenja mreže.

Sve upućuje kako je okvir nadležnosti i odgovornosti za postavljanje zahtjeva od strane ODS-a utvrđen i svakom razvidan, pa se postavlja pitanje u čemu je problem? Objektivno postoje slijedeća ograničenja:

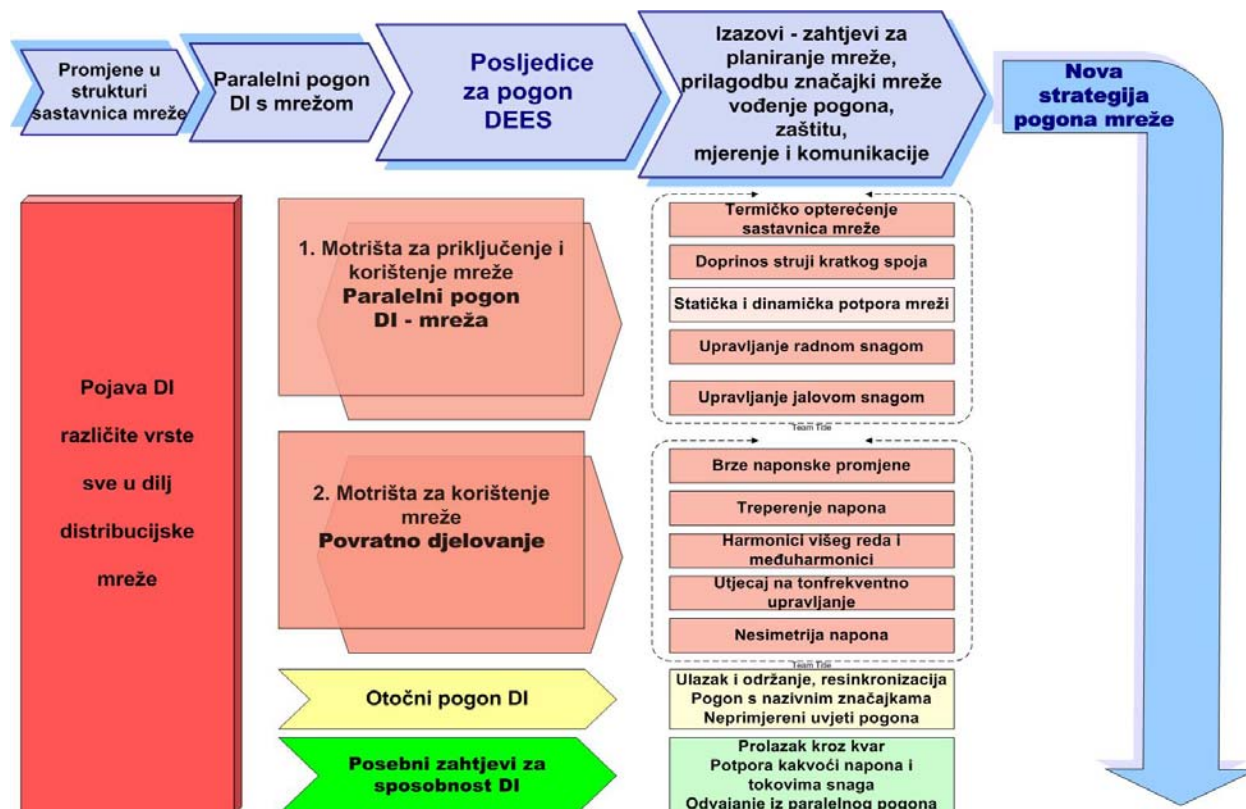
- U temeljnim dokumentima koji uređuju priključenje DI na mrežu i pogon s mrežom [1] nije ugrađena pristup s višim zahtjevima za održivost paralelnog pogona,
- Stanje distribucijske mreže koja u prošlosti nije građena i opremana za izazove kao što je pojava DI, a i zato što je na nezanemarivom broju mjesta s iskorištenim kapacitetom, s niskom razinom otpornosti na kvar, ...
- Raspršenost DI u mreži, te različita raspoloživost njihove primarne energije i
- Različite sposobnosti pružanja statičke i dinamičke potpore mreži.

Svakako je za ODS i OPS pravi trenutak zajedno, pod okriljem MINGORP-a i HERA, iskoračiti pred izazovima stvaranja novih Mrežnih pravila za distribucijski i prijenosni sustav, kao i Tehničkih uvjeta za priključenje elektrana na mrežu. No, takav iskorak, podržan samo dokumentima, a ne i opredjeljenjem za stvaranje pretpostavki u mreži kroz podizanje razine njene svekolike kakvoće, bio bi tek inženjerska tlapnja.

## 2. TEMELJNA MOTRIŠTA PARALELNOG POGONA DISTRIBUIRANIH IZVORA I DISTRIBUCIJSKE MREŽE

### 2.1. Sagledavanje utjecajnih činitelja i međusobnih utjecaja

Cjelovito sagledavanje novog pristupa u zajedničkom radu distribucijske mreže i DI, ima niz cjelina (Slika 2.) koji u konačnici, povezani u usklađenu cjelinu čine novu strategiju pogona distribucijske mreže s distribuiranim izvorima. Nova strategija mora uvažiti i odgovoriti na sve međusobne utjecaje DI i distribucijske mreže.



Slika 2. Koloplet odnosa i utjecaja DI i distribucijske mreže pri zajedničkom pogonu.

Međusobni utjecaji mreže i elektrane na promjene pogonskih veličina ovise o određenim značajkama mreže i elektrane. Od utjecajnih činitelja mreže navodimo:

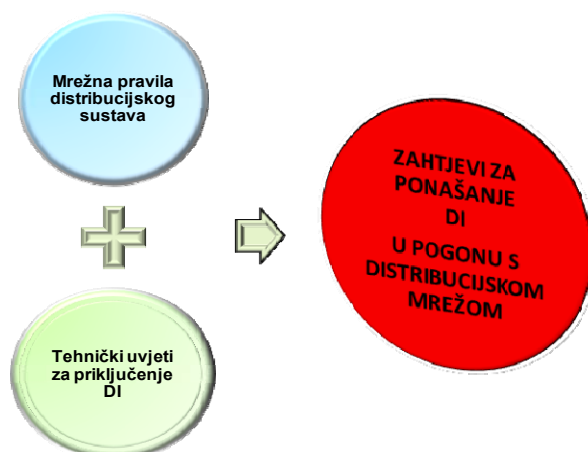
- Nazivni napon,
- Oblik mreže u normalnom pogonu,
- Način uzemljenja neutralne točke (NT),
- Najveća dopuštena i stvarna struja trofaznog KS na mjestu priključenja,
- Vrijednost i priroda struje zemljospoja u mrežama s izoliranom i uzemljenom NT,
- Vrijeme djelovanja zaštite kod pojedinih vrsta kvara u mreži,
- Vrijeme beznaponske pauze APU,
- Kakvoća napona (kod normalnog i poremećenog pogona),
- Najveće dopušteno odstupanje napona na mjestu priključenja elektrane na mrežu,
- Regulacija napona po naponskim razinama mreže,
- Automatizacija po dubini mreže i
- Vođenje pogona u poremećenim i kvarnim stanjima mreže.

Od utjecajnih činitelja DI različite vrste navodimo:

- Broj i jedinična snaga generatora,
- Vrsta generatora (SG, ASG s ili bez pretvarača frekvencije, ASG s izmjenjivačem, istosmjerni generator s pretvaračem, izmjenjivač, ...),
- Napon i frekvencija napona generatora,
- Doprinos struji kratkog spoja u mreži,
- Povratni utjecaji na mrežu,
- Uzemljenje neutralne točke generatora i blok transformatora,
- Značajke važne za uključanje elektrane na mrežu,
- Mogućnost paralelnog rada s mrežom i otočnog rada s dijelom mreže,
- Sposobnost regulacije napona, radne i jalove snage,
- Sposobnost prolaska elektrane kroz prolazno stanje poremećaja ili kvara u mreži.

Kada je riječ o značajkama DI, tu je naše znanje odmah na kušnji. O nekima značajkama nismo učili, neke smo zaboravili, a nove i nove se rađaju „gremlinskim“ napredovanjem.

Vođeni ciljem stvaranja uvjeta za povećanje kakvoće opskrbe električnom energijom u distribucijskoj mreži, moraju se u navedene temeljne dokumente [1] ugraditi odrednice, u obliku zahtjeva, koje uređuju ponašanje DI u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom (Slika 3.).



Slika 3. Zahtjevi za ponašanjem DI u pogonu s distribucijskom mrežom u temeljnim dokumentima.

Kako se dalo naslutiti iz uvoda, u promatranom trenutku, u raspoloživim propisima i pratećim ispravama stanje obuhvata značajki aktivne podrške DI kakvoći opskrbe i stabilnom pogonu distribucijske mreže, jest različito od zahtjeva do zahtjeva, ali se ukupno gledajući može ocijeniti nedostatnim.

## 2.2. Razvrstavanje DI prema značajkama od bitne važnosti za pogon s distribucijskom mrežom

Kako se svaka vrsta elektrane promatra preko značajki njenih sastavnica, i kako su utjecaji određene vrste elektrane u pogonu s distribucijskom mrežom međusobno različiti, čini se razumnim postaviti jedinstvene zahtjeve za ponašanje, a elektrane prema osmišljenim kriterijima razvrstati u skupine i, neizbježno, podskupine. Za ovakvo stanovište prijeko je potrebno posebno proučavanje pogonskih obilježja elektrana i pogonskih uvjeta rada te praktičnost primjene, pa prijedlog koji slijedi treba uzeti kao jedno promišljanje. Promisliti o slijedećim kriterijima:

- obilježje svrhe proizvodnje električne energije
  - s proizvodnjom za tržište ili za HROTE,
  - s proizvodnjom za vlastite potrebe, a s viškom za tržište ili za HROTE i
  - proizvodnja u kogeneracijskom postupku.
- instalirana snaga ( $P$ ,  $\cos \varphi$ )
  - naponska razina mreže na mjestu priključenja ( $U_n$ )
  - obilježja primarne energije i
  - vrsta generatora.

- c) vrsta pogona i nadležnost ODS-a u vođenju pogona elektrane
  - zadovoljava opće zahtjeve u paralelnom pogonu s mrežom,
  - zadovoljava posebne zahtjeve u paralelnom pogonu s mrežom,
  - zadovoljava posebne zahtjeve u paralelnom i otočnom pogonu s mrežom i
  - zadovoljava posebne zahtjeve u paralelnom i otočnom pogonu s mrežom i s ODS-om ima sklopljen ugovor o pružanju pomoćnih usluga sustavu.

Dakako, neke značajke elektrane ili neke njene sastavnice, isključuju razvrstavanje prema kombinaciji pojedinih kriterija (primjerice: određena vrsta ASG u otočnom pogonu s mrežom). Kada se razvrstavanje usvoji, svaka značajka dobiva oznaku, a s njima svima se oblikuje skupna oznaka elektrane koja se koristi u svim postupcima informatičke podrške.

## **2.3. Opća motrišta glede zahtjeva za ponašanje DI u pogonu s distribucijskom mrežom**

### **2.3.1. 2.3.1 Opći i posebni zahtjevi za ponašanje DI u pogonu s distribucijskom mrežom**

Mrežna pravila su temeljni dokument kojim se uređuje pogon proizvodnih postrojenja s mrežom. a u njima središnje mjesto imaju obvezni opći zahtjevi o ponašanju tih postrojenja u određenim pogonskim stanjima (održanje napona i frekvencije, osiguranje jalove energije, ...). Iz tih odrednica mora biti razvidno na koja postrojenja se što odnosi, odnosno na koja se odnose izuzetci.

Postoje i posebni zahtjevi koji ne moraju biti obvezni, ili, ako su obvezni tada se uređuju dodatne okolnosti za njihovo ispunjavanje. Primjer potonjih su pomoćne usluge proizvođača kao korisnika mreže, koje ODS, kada ocijeni potrebnim, ugovara s pojedinim korisnicima mreže. Ove se usluge ugovaraju posebnim ugovorom (veći opseg) ili se uključuje u ugovor o korištenju mreže (manje usluge), a pružatelju usluge pripada naknada.

Danas u Mrežnim pravilima postoji izrazita crta razgraničenja između općih i posebnih zahtjeva, dok praksa drugih [2] postupno tu crtu briše i donedavno posebne zahtjeve svrstava jednostavno u uobičajene zahtjeve.

Neke značajke ponašanja određenih vrsta DI u normalnom, poremećenom i kvarnom stanju pogona mreže koje se u važećim Mrežnim pravilima drže kao pomoćne usluge, primjerice upravljanje naponom kao dinamička i/ili statička potpora naponu mreže, trebaju u budućim promjenama Mrežnih pravila postati opći zahtjevi (barem prema određenim vrstama DI na SN mreži). Razlog tome je u napretku tehničke izvedbe proizvodnih jedinica i opreme, kao i u koristi koju kroz to ima sam proizvođač (primjerice prolazak kroz kvar u mreži elektrane povlaštenog proizvođača pri obilatoj primarnoj snazi).

Kada je DI priključen u neku točku mreže koja je ishodena mjestom elektrane, ispunjavajući opće zahtjeve o ponašanju proizvodnog postrojenja, istodobno doprinosi poboljšanju prethodnog stanja kakvoće opskrbe u točki priključenja i njenom mrežnom okruženju, uvijek ili u određenim pogonskim stanjima, to se neće smatrati pomoćnom uslugom.

ODS i Proizvođač mogu već u postupku izdavanja PEES sagledavati interes ODS-a i/ili Proizvođača za određenim sposobnostima elektrane glede ponašanja u paralelnom pogonu s mrežom. Tada je bitno prepoznati propisano obvezno ponašanje elektrane, kao zaštitu drugih korisnika mreže od njenog rada u toj točki mreže, a ne svrstati to u pomoćnu uslugu sustavu.

### **2.3.2. Polazišta uz paralelni pogon elektrane i distribucijske mreže**

ODS je nadležan propisati električne uvjete paralelnog pogona koji će vrijediti na mjestu sučelja elektrane s mrežom kao i odziv elektrane na pojave u mreži. U slučaju nedopuštenih odstupanja od uvjeta održivog paralelnog pogona, mora doći do odvajanja elektrane iz paralelnog pogona.

ODS utvrđuje uvjete kod kojih mora doći do odvajanja elektrane iz paralelnog pogona s mrežom, a zovemo ih uvjeti za odvajanje. Postoje opći uvjeti za odvajanje, neovisni od mjesta u mreži, vrste elektrane ili generatora i oni koji se navode dodatno pod prijemkom potrebom.

Odvajanjem elektrane iz paralelnog pogona s mrežom, nastupa neko od novih pogonskih stanja elektrane (Slika 4.), a koje traži manje ili više pothvata vođenja pogona prije ponovnog povratka na mrežu.

- a) Odvajanje elektrane u otočni pogon s vlastitom potrošnjom



- b) Odvajanje generatora u prazni hod (izvor primarne snage je u pogonskom stanju)



- c) Ispad generatora i izvora primarne snage iz pogonskog stanja



Slika 4. Moguća stanja elektrane kao posljedica uzroka i postupka odvajanja od mreže.

Za provedbu postupka odvajanja elektrane iz paralelnog pogona s mrežom ODS uvjetuje se:

- postojanje zaštite s funkcijom djelovanja na odvajanje,
- postojanje dijela priključnog postrojenja s funkcijom mjesta za odvajanje,
- postojanje rasklopne naprave koja u svakom trenutku može izvršiti nalog za odvajanje,
- isključivu nadležnosti ODS-a nad podešenjem i djelovanjem zaštite za odvajanje,
- isključiva nadležnosti ODS-a nad rasklopnom napravom za odvajanje i
- u svako vrijeme omogućen pristup pogonskom osoblju ODS-a mjestu za odvajanje.

Mora se reći kako se zahtjevi za isključivom nadležnosti za rad s rasklopnom napravom za odvajanje i pristup mjestu odvajanja u svako vrijeme, u posebnim pogonskim slučajevima i u primjeru određenih elektrana, mogu odrednicama ugovora o korištenju mreže ili ugovora o vođenju pogona prenijeti s ODS-a na Proizvođača. U tom slučaju, dakako, prenosi se i sve odgovornosti. Nadležnost ODS-a, u budućnosti, ne mora se poistovjećivati s vlasništvom.

Treba ukazati kako uvjeti za priključenje elektrane, primjerice nacrt proizvodnog postrojenja na sučelju s mrežom, moraju podržavati odrednice uvjeta za korištenje mreže, odnosno, ne smije postojati njihovo ograničenje ili čak sukob. Odlučujuća stanovišta u svezi mrežnog priključka uvijek se moraju podvrći utjecaju značajki ponašanja elektrane, kako na samom mjestu priključenja, tako i prema dubini mreže.

### 3. NOVI PRISTUP U POSTAVLJANJU ZAHTJEVA ZA PONAŠANJE DI U PARALELNO POGONU S MREŽOM

#### 3.1. Bitnost novih zahtjeva

Do skorašnja praksa i pravila za odvajanje elektrane od mreže utemeljena su na visokoj razini opreza, rekli bismo „ziheraška“, što znači primjerice kako je zaštita kod nedopuštene promjene napona i/ili frekvencije odmah djelovala na odvajanju elektrane od mreže.

Danas, najsnažniji pokretač promjena pravila odvajanja DI zapravo je cilj koji se prepoznaje u zahtjevu za povećanje kakvoće opskrbe električnom energijom, a koju, prema Općim uvjetima, tvori trojstvo prikazano na slici 5. Dakako, mi promatramo samo kakvoću napona i pouzdanost napajanja kao činitelje kakvoće opskrbe električnom energijom u distribucijskom sustavu.





Slika 5. Kakvoća opskrbe električnom energijom promatrana kroz kakvoću napona i pouzdanost napajanja.

U distribucijskim mrežama s DI ne zanemaruje se postavljanje zahtjeva glede povratnog utjecaja DI na mrežu. S gledišta kakvoće opskrbe električnom energijom, povratni utjecaj se odnosi, prije svega, na kakvoću napona.

Bit novih zahtjeva za priključene i pogon DI u SN mreži prema ponašanju u normalnim i kvarnim stanjima pogona mreže, jest jednakost prema zahtjevima za konvencionalne elektrane sa sinkronim generatorom. To nije jednostavno ostvariti kod svake vrste DI, a poteškoće su posebno izražene kada je generator obični asinkroni ili asinkroni s dvostrukim napajanjem, kao i kod DI s izmjenjivačima.

Nadalje, ODS ne ostaje samo na postavljanju zahtjeva, već se njihovo ostvarenje mora dokazati propisanim mjerenjem i certifikatima za opremu glede posjedovanja zahtijevanih značajki.

Nakon što se u temeljne dokumente ugrade odrednice koje predstavljaju prava ODS-a i utvrđuju tehnička obilježja zahtjeva prema DI, utvrđuje se i rok u kojem se postojeći DI moraju prilagoditi zahtjevima, a DI koji će se od tada graditi biti zahtijevanih sposobnosti.

### 3.2. Temeljni zahtjevi za ponašanje DI u paralelnom pogonu s mrežom

Kako smo prikazali slikom 2, motrišta ponašanja DI pri korištenju mreže dijele se na ona koja su vezana za priključenje i ona vezana za neki oblik pogona s mrežom. U našem daljnjem razmatranju bavimo se samo motrištima vezanim za paralelni pogon DI s mrežom i otočni pogon s dijelom mreže kao izlazno stanje paralelnog pogona kod nekih pogonskih događaja. Prikazani zahtjevi se prije svega odnose na DI u SN mreži, a tek neki od njih vrijede i za priključene na NN mrežu.

Za cjelovito objedinjavanje DI u distribucijsku mrežu, s ciljem njenog rada sa značajkama stabilnog sustava za distribuciju električnom energijom i postizanja izravnih korisnih učinaka za kakvoću opskrbe električnom energijom, postavljaju se slijedeći zahtjevi za sposobnosti DI:

- Upravljanje djelatnom snagom,
- Potporna naponu mreže u normalnom i kvarnom stanju mreže,
- Ponašanje elektrane kod kratkog spoja u mreži,
- Prihvatljivo povratno djelovanje na mrežu,
- Prelazak u otočni pogon s dijelom mreže,
- Uskladivost pogona s lokalnom automatikom i
- Prilagodba uzemljenja neutralne točke generatora.



### 3.2.1. Upravljanje djelatnom snagom

Elektrana mora imati mogućnost upravljanja predajom djelatne snage u mrežu kako bi se:

- a) Izbjeglo preopterećenje u mreži,
- b) Upravljalo gubitcima u sastavnicama mreže,
- c) Održala nazivna frekvencije napona,
- d) Podržala statička ili dinamička stabilnost napona,
- e) Izbjeglo stvaranje neželjenog otočnog pogona mreže.

U važećim Mrežnim pravilima postoji ograničenje na pravo ODS-a glede ograničenja u preuzimanju djelatne električne energije i snage od elektrana povlaštenih proizvođača. To je uistinu stav koji se mora preispitati, a novi učiniti manje isključivim te usmjeren potrebama kakvoće pogona mreže. U tom smislu treba razmotriti slijedeće zahtjeve glede sposobnosti prilagodbe elektrane priključene na SN mrežu [2]:

- a) Smanjenje snage mora biti moguće pri svakom pogonskom stanju, te u svakoj radnoj točki generatora i to na obveznu vrijednost koju zadaje ODS,
- b) Pokazale su se opravdanim razine obvezne vrijednosti od 100%/60%/30%/0% nazivne snage elektrane,
- c) Ograničenje predaje snage po svakoj obveznoj vrijednosti mora uslijediti neodgodivo, a ako se ipak dopušta vremenska odgoda tada je ona na razini jedne minute,
- d) Elektrana mora imati sposobnost smanjenja snage do 10% obvezne vrijednosti bez automatskog odvajanja od mreže, a elektrana se smije odvojiti od mreže kada je predana snaga ispod 10% ugovorene priključne snage.

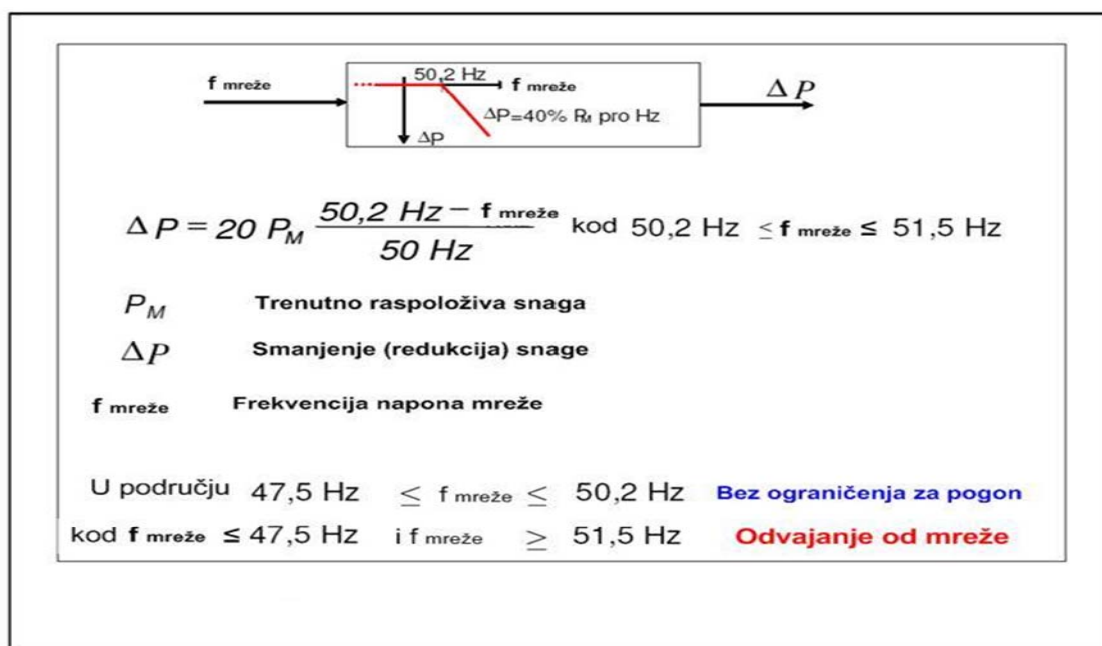
Držim važnim osigurati pravo ODS-a za zahtijevanje prolaznog ograničenje predaje snage i kada to može biti nije komercijalni interes Proizvođača. Navedene sposobnosti elektrane trebaju se koristiti u funkciji održanja frekvencije napona mreže.

Svaka elektrana pri frekvenciji napona mreže koja je veća od dopuštene gornje vrijednosti, mora smanjiti trenutnu djelatnu snagu u propisanom postotku trenutno raspoložive snage generatora (i do 40%) po svakoj jedinici mjere prekoračenja frekvencije (Hz) i to unutar zadanog vremena odziva.

Radna snaga smije ponovno rasti tek pri povratku frekvencije na nazivnu vrijednost, ili neku propisanu blisku njoj (primjerice  $f \leq 50,05$  Hz), a povećanje ne smije dovesti do novog prekoračenja dopuštene gornje vrijednosti,

Za elektrane koje moraju biti opremljene s regulacijom izlazne snage u funkciji održanja frekvencije napona mreže, propisuje se i granica neosjetljivosti na promjene frekvencije. Održanje frekvencije od porasta na nedopuštene vrijednosti, provodi se regulacijom snage, ili gdje je to tehnički teško ostvarivo ili skupo, izdvajanjem elektrane iz mreže. Uobičajeno, pokušava se regulacijom snage DI u SN mreži, a trenutnim odvajanjem DI u NN mreži. Za distribucijsku mrežu granične vrijednosti propisuje OPS.

Primjer utjecaja upravljanja djelatnom snagom što je elektrana daje u SN mrežu [2], na održanju frekvencije napona mreže, daje slika 6. Svaka elektrana u pogonu pri frekvenciji  $\geq 50,2$  Hz mora smanjiti trenutnu djelatnu snagu za 40% trenutno raspoložive snage generatora ( $P_M$ ) po svakom Hz prekoračenja. Radna snaga smije ponovno rasti tek pri povratku na  $f \leq 50,05$  Hz. Granica neosjetljivosti promjene frekvencije mora biti manja od 0,01Hz.



Slika 6. Smanjenje radne snage DI u funkciji oporavka frekvencije napona pri njenom prekoračenju

Snaga se smanjuje u iznosima 10% nazivne snage, a gradijent smanjenja snage ne smije biti veći od primjerice  $1 \times P_M$  u pet (5) sekundi. Prikazane su i granične vrijednosti frekvencije kao kriterij za odvajanje elektrane od mreže ( $47,5 \text{ Hz} \geq f_{\text{ mreže}} \geq 51,5 \text{ Hz}$ ).

### 3.2.2. Statička potpora naponu mreže

Distribuirani izvori, uistinu imaju različite značajke, a koje su od bitne važnosti u međusobnom djelovanju pri paralelnom pogonu s mrežom. Postoje one kod kojih, najčešće zbog male snage (nekoliko stotina kilovata i manje), zbog značajki pretvorbe primarne energije u električnu energiju (primjerice sunčane elektrane) i naponske razine priključenja (priključenje na NN mrežu), nema potrebe posebno uvjetovati statička i dinamička obilježja DI u paralelnom pogonu s mrežom.

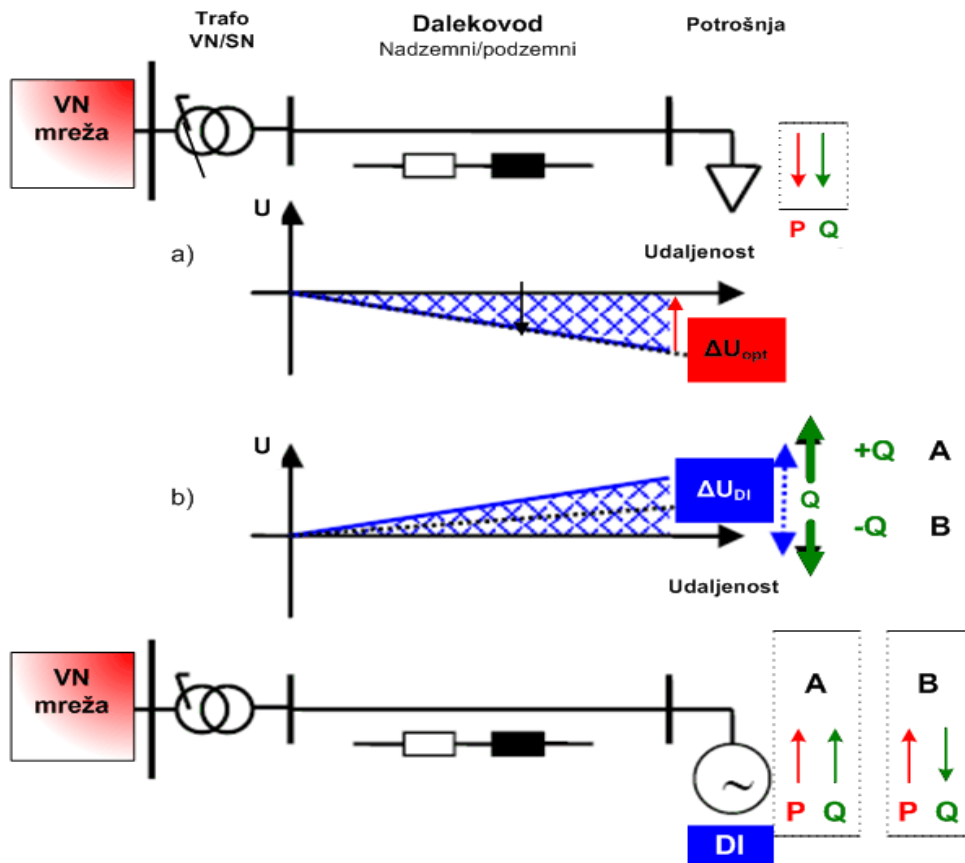
Elektrane veće snage i uobičajeno one priključene na SN mrežu, mogu se promatrati tijekom paralelnog pogona s gledišta potpore mreži i to u scenariju održavanja napona na mjestu sučelja s mrežom. Zahtjev za potporom mreži utvrđuje ODS ili čak OPS (Mrežna pravila, za snaga >5MW), a zahtjev mora biti odmjeren prema svakoj elektrani obzirom na snagu, vrstu generatora, značajki pogonskog stroja, regulaciji napona i slično. Razlikujemo statičko i dinamičko održavanje (potporu) napona mreže.

Pod statičkim održavanjem napona, podrazumijeva se održavanje napona u SN mreži u redovitim pogonskim slučajevima. U tim pogonskim slučajevima napon se održava u uvjetima sporih promjena i kada su prihvatljive granice promjena. Razinu statičkog održavanja napona mreže treba odrediti ODS, uvažavajući, ponaosob, mjerodavne značajke elektrane.

#### 3.2.2.1. Statička potpora naponu mreže kroz uvjete za priključenje

Temeljni utjecaji preuzimanja i predaje snage u nekoj točki mreže na naponske okolnosti prikazuje slika 7. Kupci električne energije preuzimaju iz mreže djelatnu i jalovu snagu, a razvod teče od napojnog postrojenja dalekovodom do mjesta priključenja kupca. Napon na mjestu priključenja kupca ima manju vrijednost nego li u napojnom postrojenju (a). Nasuprot tome, kada je u promatranoj točki mreže elektrana, smjer razvoda djelatne snage, posebno u vrijeme manjih opterećenja, može biti od elektrane prema napojnom postrojenju (b). Posljedično tome na mjestu priključenja elektrane napon ima povišenu vrijednost u odnosu na točke u mreži prema napojnom postrojenju.

Koristi li se ova mogućnost, napon se može povećati do jedne razine u slučaju kad nastupi istodobno napajanje mreže s djelatnom i jalovom snagom (A) ili do niže razine ako se jalova snaga djelomično ili potpuno kompenzira (B). Zato što se mijenja opterećenje i što je promjenjiva primarna snaga DI, može se prepoznati postojanje uvjeta za jako kolebanje napona, a time i potrebi za utvrđivanje dopuštenih granica kao i potrebi za podržavanjem napona.



Slika 7 Promjene napona kroz utjecaj opterećenja i pogon distribuiranog izvora.

Prvi pristup statičkoj potpori naponu mreže utvrđuje se kroz uvjete priključenja DI. Tako, kada postoji jedna jedina točka u mreži s mogućnosti priključenja elektrana, ili je ona ishođena nezaobilaznim uvjetima, uvjeti za promjenu napona se vežu za snagu kratkog spoja i to jednostavno preko koeficijenta snage kratkog spoja. Kada je impedancija mreže jako induktivna, procjena promjene napona pomoću koeficijenta je dosta stroga, odnosno, zahtjeva jako ograničenje snage izvora, pa je potrebno primijeniti proračun na bazi složene impedancije mreže s njenim faznim kutom, a koji postupak daje točniji rezultat za dopuštenu promjenu napona. Kod mreže sa zamkastim oblikom, i/ili s više u mreži raspoređenih DI, promjena napona se utvrđuje u složenijim uvjetima koristeći proračun toka snage. Pri tome se određuje dopuštena promjena napona za tu mrežu prema priključnoj točki s najvećom promjenom uz rad svih izvora.

Mrežna pravila utvrđuju dopuštena odstupanja napona u SN i NN mreži ali kao obvezu ODS-a za održavanjem napona (regulacijom), a ne i dopuštena odstupanja izazvana radom elektrane u točki njena priključenja. U tom smislu su Mrežna pravila nedorečena.

Praksa operatora mreže zagovara propisivanje dopuštene stacionarne promjene napona za SN i NN mreže. Tako pri pogonu SN mreže [2], bez smetnji i kvarova, iznos zbroja promjena napona uzrokovanih radom svih elektrana priključenih na SN mreže, u odnosu na vrijednost napona kada elektrane nisu u pogonu, ne smije niti na jednom mjestu priključenja na tu mrežu, prekoračiti vrijednost promjene (više ili niže) od primjerice 2%. Uvažavajući dopuštena odstupanja napona sabirnica postrojenja na višoj naponskoj razini (VN/SN ili SN/SN) i narečeno pravilo za promjenu napona u SN mreži, u bilo kojoj priključnoj točki NN mreže se tijekom pogona elektrane ne smije povisiti napon za vrijednost veću, u pravilu, od 2% u odnosu na napon bez pogona elektrane u toj točki NN mreže.

Elektrane s priključnim mjestom na NN mreži, unutar promatrane SN mreže, ne uzimaju se u obzir s gledišta utjecaja na naponske promjene.

ODS mora imati pravo, sagledavajući mogućnost zadržavanja stabilnog napona, u pojedinačnom slučaju odstupiti od propisane vrijednosti i sukladno stvarnim okolnostima u nekoj točki mreže utvrditi nižu razinu porasta napona od propisane, jer kasnije u pogonu to može biti neostvarivo.

### 3.2.2.2. Statička potpora naponu mreže kroz upravljanje proizvodnjom jalove snage

Sada važeća Mrežna pravila elektroenergetskog sustava i Tehnički uvjeti za priključenje malih elektrana suglasni su u bitnim nadležnostima ODS-a i obvezama elektrane kao korisnika mreže ali i sukobljeni u pristupu utvrđivanja graničnih vrijednosti proizvodnje jalove snage (područje vrijednosti  $\cos \varphi$ ). Također, ne postavljaju se uvjeti za postupak upravljanja (regulacijom) proizvodnjom jalove snage. Kod elektrana s generatorom koji ne mogu proizvoditi jalovu energiju obvezuje se na ugradnju naprava za kompenzaciju jalove snage.

Jedna praksa [2] i [3] ukazuje kako su obvezno utvrđeni uvjeti rada generatora s gledišta proizvodnje jalove energije, ovisno od njegove vrste i povezano s proizvodnjom djelatne energije. Područje  $\cos \varphi$  je u pravilu propisano za elektrane u NN mreži, a za elektrane u SN mreži se potonje propisuje ali i dodatno uređuje u ugovoru o korištenju mreže. Primjerice, zahtjev kaže kako pri isporuci djelatne snage, elektrana mora moći u svakoj radnoj točki proizvoditi i jalovu snagu, koja odgovara vrijednosti faktora snage na mjestu priključenja na mrežu od primjerice:

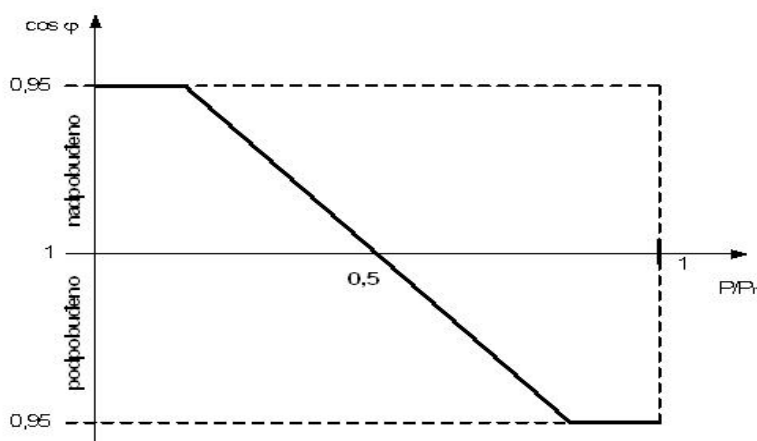
$$\cos \varphi = 0,95_{\text{podpobuđeno}} \text{ (induktivno) do } 0,95_{\text{nadpobuđeno}} \text{ (kapacitivno)}$$

S takvim uskim granicama vrijednosti faktora snage jamačno elektrana ne može uzrokovati pogonske probleme mreži.

Glede izbora načina postavljanja kriterija upravljanja jalovom snagom valja biti određen u preporuci već kod davanja uvjeta za priključenje elektrane. Mogući su izbori:

- nepromjenjiv faktor snage  $\cos \varphi$ , ili
- nepromjenjiva jalova snaga  $Q$  (kvar), ili
- $\cos \varphi = f(P)$  ili
- karakteristika  $Q=f(U)$  (točnije  $Q=f(\Delta U)$ ).

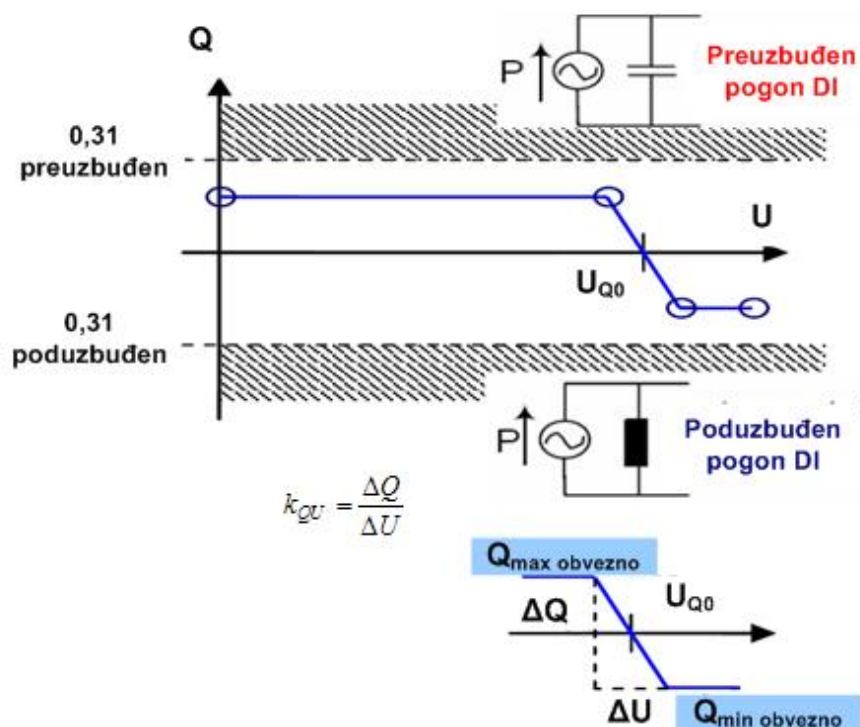
Često se proizvodnja jalove snage veže za trenutnu proizvodnju djelatne snage pa se primjenjuje funkcija  $\cos \varphi = f(P)$  prema slici 8.



Slika 8 Potpora vrijednosti napona kroz proizvodnju jalove snage prema funkciji  $\cos \varphi = f(P)$ .

Kada Operator mreže zahtijeva određenu karakteristiku davanja jalove snage ( $Q$ ) u mrežu, mora se svaka vrijednost jalove snage, proizašla iz karakteristike, postaviti automatski u zadanom vremenskom slijedu pa tako to za karakteristiku  $\cos \varphi (P)$  znači u vremenu od 10 sekundi. Kako bi se kod iole značajnih promjena tokova snage unutar SN mreže u kratkim vremenskim odsječcima izbjegla pojava skokova napona, treba izabrati karakteristiku s kontinuiranim tokom i s ograničenom strminom.

Postupak prema kojem je proizvedena jalova snaga ovisna od napona (slika 9) može biti koristan i za stabilizaciju napona mreže. Naime, ovim postupkom se najbolje mogu uravnotežiti potrošnja i napajanje u nekoj točki mreže (lokalni učinci), a istodobno stabilizirati vrijednost napona.



Slika 9. Postupak proizvodnje potrebne jalove energije prema funkciji  $Q=f(U \text{ ili } \Delta U)$

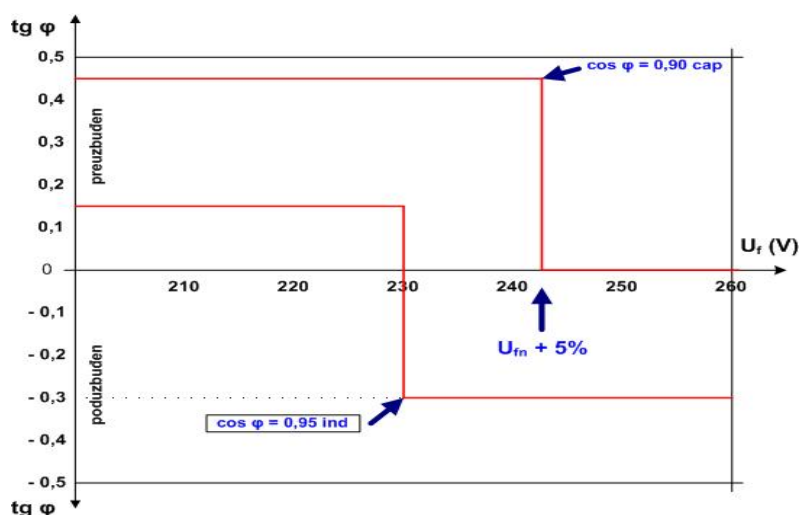
Pristup podrške naponu proizvodnjom jalove snage prema  $Q=f(U)$ , koji je u proizvodnji jalove snage također oslonjen na trenutno raspoloživu djelatnu snagu, uvodi njihovu povezanost preko  $\tan \varphi$  ( $\tan \varphi = Q/P$ ). Primjerice, ako je u nekom trenutku djelatna snaga generatora  $P_M \leq 20\% P_{ng}$ , za karakteristiku proizvodnje jalove snage vrijedi:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{0,2 * P_{ng}}$$

Ova karakteristika se utvrđuje za skupine izvora vezane za naponske razine i snagu elektrane, a svaka skupina ima zadane različite granične vrijednosti faktora snage pri nazivnoj prividnoj snazi generatora. Elektrana se promatra kao izvor koji mora imati zahtijevanu karakteristiku proizvodnje jalove snage nevezano za vrstu generatora.

Kod elektrana malih snaga (do 250 kW) uobičajeno su prisutni asinkroni i statički generatori (izmjenjivači) pa je potreban sklop za kompenzaciju jalove snage. Karakteristika proizvodnje jalove snage (Slika 10.) se prilagođava i zahtjevu da kompenzacijske naprave ne budu složene te da ne ulaze u područje rada s ferorezonancijom kao popratnom pojavom itd. [5].

Kod elektrana veće snage (preko 250 kW do 10 MW), ovaj pristup se vraća klasičnoj karakteristici  $Q = f(U)$ , uz to da se zahtjeva sposobnost proizvodnje jalove snage do  $\cos \varphi = 0,8$  pri nazivnoj djelatnoj snazi. Ova sposobnost elektrane uključuje zajedno sposobnost generatora i kompenzacijskog postrojenja [4]. S ovakvim upravljanjem jalovom snagom kod ovih DI zalazimo u područje statičke i dinamičke podrške naponu na mjestu priključenja elektrane na mrežu (vidi slijedeću točku).



Slika 10. Karakteristika proizvodnje jalove snage za izvore male snage priključene na NN mrežu (1f)

Odstupanja od graničnih vrijednosti i način ostvarenja upravljanja jalovom snagom treba vezati za značajke generatora kao što je vrsta (SG, ASG, dvostruko napajani ASG, izmjenjivač ...), snaga i mjesto priključenja na mrežu (SN ili NN), a što prikazuje Tabela I.

Tabela I. Spособnost pojedinih vrsta generatora u proizvodnji jalove snage

Vrsta elektrane	Vrsta generatora	Spособnost za proizvodnju Q	Obilježje spособnosti
Hidroelektrana	- IZ, SG, DASG - ASG	- da - ne	- promjenjiva - dodatna oprema
Kogeneracija	IZ, SG	da	pretežito stalna
Vjetroelektrana	- IZ, SG, DASG - ASG	- da - ne	- promjenjiva - dodatna oprema
Sunčana	IZ	da	promjenjiva

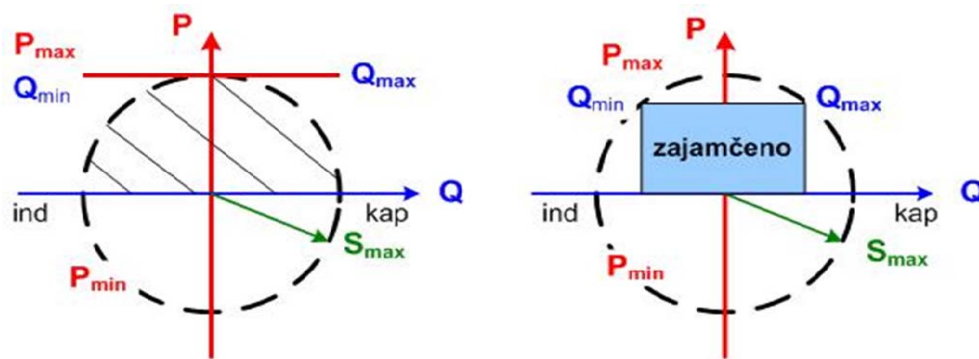
U slučaju kada su u DI ugrađeni asinkroni generatori, jalovu energiju, prema izabranom postupku, treba proizvesti u vlastitom kompenzacijskom postrojenju elektrane, a za kojeg Operator mreže može, u slučaju jako promjenjivih potreba za Q, zahtijevati mogućnost regulacije. Ovo se postrojenje mora uključivati na mrežu istodobno s asinkronim generatorom.

U distribucijskom sustavu, na istoj naponskoj razini biti će izvora s proizvodnim jedinicama vrlo različitih spособnosti upravljanja jalovom snagom. U takvim uvjetima je optimiranje proizvodnje jalove energije na razini jednog dijela mreže složeno, jer vrsta generatora određuje spособnost proizvodnje i mogućnosti upravljanja s  $Q_{gen}$ . Temeljno ograničenje za najveću jalovu snagu ( $Q_{max}$ ) u trenutku "t", za svaki generator:

$$Q_{max}(t) = \sqrt{(S_{max}^2) - (P_M^2)}$$

Ograničenje u nekom trenutku "t" uvjetovano je prije svega s trenutnim iznosom djelatne snage što je generator predaje u mrežu  $P_M(t)$ , odnosno, postoji zajamčena spособnost proizvodnje jalove snage (slika 11).





Slika 11. Sposobnost proizvodnje jalove snage u funkciji trenutno raspoložive djelatne snage

Sva iznesena motrišta na sposobnost DI glede jalove snage, ne odnose se na pomoćnu uslugu sustavu već kao potreban uvjet za rad generatora u pogonskim stanjima distribucijske mreže.

### 3.2.3. Dinamička potpora naponu mreže

Pod dinamičkom potporom mreže, podrazumijeva se održavanje napona pri propadima napona u mreži visokog napona, kako bi se spriječilo neželjeno isključenje izvora velikih snaga, a time i nestabilnog pogona cijelog sustava. S obzirom na brzo rastući broj elektrana koje se priključuju na SN mrežu i porastom snage DI koji se priključuju na SN mrežu, uključivanje ovih postrojenja u dinamičku mrežnu potporu postaje sve izglednije [2]. Zato se ova pitanja mora urediti u dokumentima koji uređuju uvjete priključenja i korištenja mreže.

Općenito, pred elektranu se postavlja zahtjev „prolaska kroz kvarno stanje mreže“ (kratica FRT-Fault Ride Through) kod nastupa svih kratkih spojeva u mreži što praktično znači:

- Elektrana se kod kvarova u mreži ne smije odvojiti od mreže pod svim okolnostima,
- Elektrana mora tijekom kvara u mreži podupirati napon mreže predajom u mrežu jalove struje (smanjenje propada napona),
- Elektrana ne smije nakon otklanjanja kvara iz SN mreže uzimati iz mreže veću induktivnu struju nego prije kvara (povišenje napona).

Vrsta elektrane, snaga i druge značajke generatora, kao i značajke kvarova u mreži sučeljenoj s DI, utjecajni su činitelji mogućnosti izbora načina izvođenja dinamičke potpore DI mreži.

#### 3.2.3.1. Utjecajni činitelji za ponašanje DI

Kada promatramo značajke kvarova u mreži, utjecajni činitelj za naponske prilike na mjestu priključenja elektrane, svakako je udaljenost kvara, pa s gledišta ponašanja elektrane i mogućnosti ostajanja na mreži govorimo o „bliskim“ i „udaljenim“ kvarovima. Bliski kvarovi su oni koji izazivaju propade napona (efektivna vrijednost poluvalnih titraja linijskog napona) ispod 70% nazivnog napona, a udaljeni su oni koje obilježava propad napona čija vrijednost niti jednog trenutka nije ispod 70% nazivnog napona. Može se iste kriterije umjesto za mjesto priključenja, primijeniti za napona na stezaljkama generatora [6].

Glede ponašanja elektrana pri kvarovima u SN mreži, temeljni utjecajni činitelj su ipak značajke samog generatora koje utječu na doprinos struji kratkog spoja. Zato se uobičajeno postavljaju i razlikuju zahtjevi za elektrane koje imaju sinkroni generator i na SN mrežu su priključene preko generatorskog (blok) transformatora, a doprinos struji kratkog spoja je velik (skupina elektrana: A). Drugu skupinu (skupina elektrana: B) čine elektrane koje mogu imati sve druge vrste generatora, a doprinos struji kratkog je mali ili bitno manji od prethodne skupine [2].

#### 3.2.3.2. Ponašanje elektrane kod udaljenih kvarova

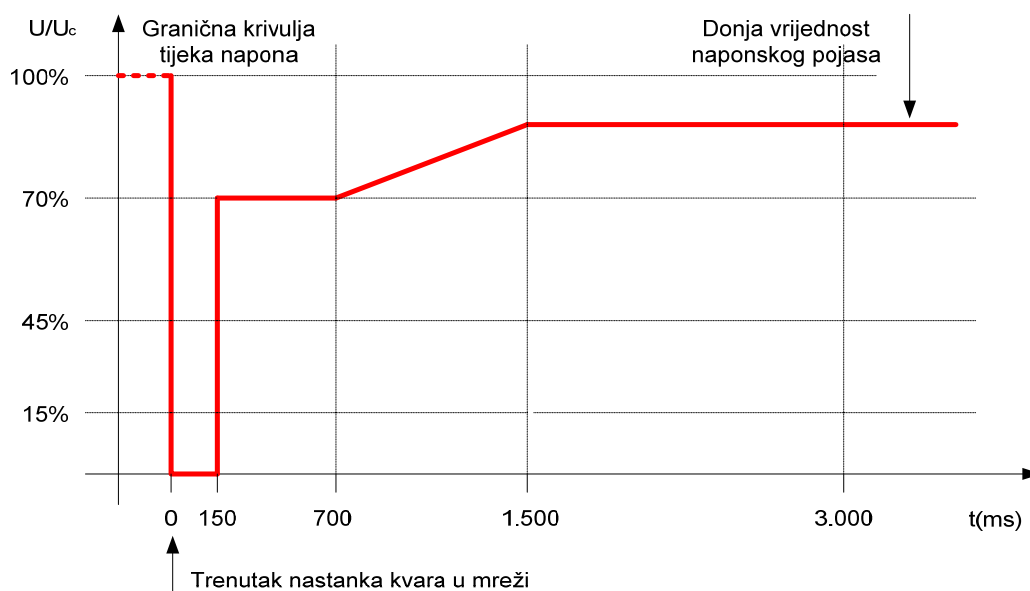
Za sve vrste elektrana postavlja se zahtjev kako se ne smiju odvojiti od mreže kada u njoj nastupi udaljeni trofazni kratki spoj, pa čak niti onda kad je najduže vrijeme odgode isključenja kvara od strane zaštite do 5 sekundi. Tijekom trajanja kvara, generatori elektrane moraju podržavati napon mreže. Iz ovog

zahtjeva nedvojbeno proistječe potreba za sposobnošću regulacije u elektrani kojom će se osigurati tijekom kvara u mreži potpora naponu mreže predajom u mrežu jalove struje, a s ciljem smanjenja propada napona.

### 3.2.3.3. Ponašanje elektrane s velikim doprinosom struji kratkog spoja kod bliskih kvarova

Kod pojave trofaznog kratkog spoja u blizini sučelja elektrane s mrežom i ako je njegovo trajanje ukupno  $\leq 150$  ms, ne smije doći do nestabilnog pogona ili isključenja elektrane u cijelom pogonskom području rada generatora. Ovaj zahtjev se, uobičajeno, još i veže za odnos snage trofaznog kratkog spoja mreže na mjestu kvara ( $S''_{kmreže}$ ) i priključne djelatne snage elektrane ( $P_{ne}$ ). Primjerice, zahtjev kazuje kako odnos  $S''_{kmreže} / P_{ne}$  mora biti  $\geq 6$ , što se mora u svakom slučaju provjeriti može li to određena elektrana ispuniti. Dakako, ponašanje elektrane valja promatrati i tijekom vremena djelovanja rezervne zaštite. Značajke ponašanja elektrane A kod kratkih spojeva u mreži koji uzrokuju promjene napona na sučelju elektrane i mreže prikazuje slika 12.

Kada pak nastupi stanje u mreži u kojem napon poprimi iznose iznad granične krivulje tijeka napona, elektrana se ne smije odvojiti od mreže, a napajanje vlastite potrošnje elektrane mora biti bez smetnji. Pri tome se kod SN mreža polazi od toga kako su ODS i proizvođač dogovorili, odnosno ugovorili kao obveznu, vrijednost napona na mjestu predaje elektrane proizvedene električne energije u mrežu „U<sub>c</sub>“. Napon „U“ označava najmanju vrijednost od tri nadzirana linijska napona.



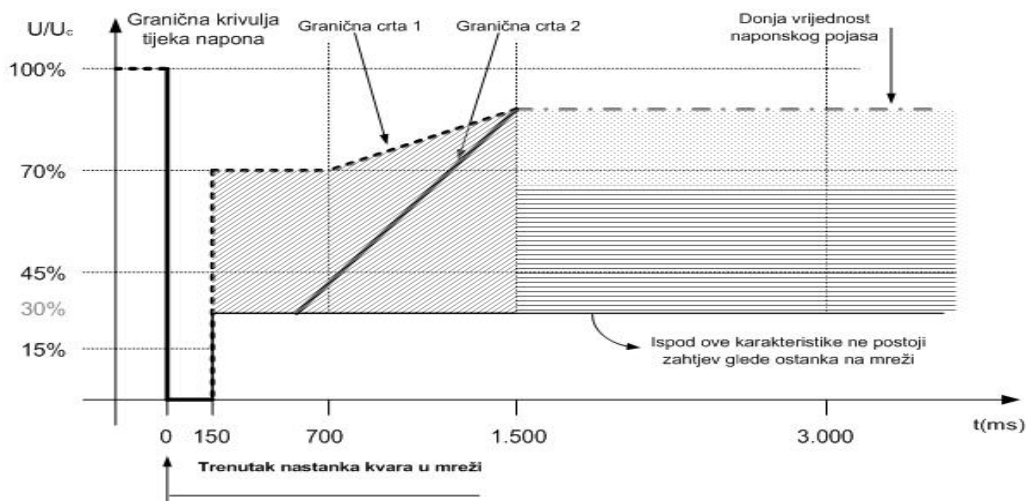
Slika 12. Granična krivulja tijekom vrijednosti napona na mjestu priključka elektrane A na mrežu

### 3.2.3.4. Ponašanje elektrane s malim doprinosom struji kratkog spoja kod bliskih kvarova

Za sve elektrane B, prema [2], ODS uobičajeno propisuje slijedeće uvjete:

- Elektrana se ne smije odvajati od mreže pri propadima napona do 0%  $U_c$  ako su trajanja propada  $\leq 150$  ms i
- Kod propada napona ispod 30%  $U_c$ , ne postoji nikakav zahtjev glede ostajanja elektrane u paralelnom pogonu s mrežom.

Propadi napona s vrijednostima iznad granične vrijednosti označenih s crtom 1 (slika 13.), ne smiju dovesti do nestabilnosti ili odvajanja elektrane od mreže, a zahtjevi su prošireni i na nesimetrične propade napona. Pri propadima napona s vrijednostima iznad granične vrijednost označenih sa crtom 2, a ispod granične vrijednost označenih sa crtom 1, elektrane trebaju proći kroz kvar (kratki spoj) bez odvajanja od mreže. Napon „U“ označava najmanju vrijednost od tri nadzirana linijska napona.



Slika 13. Granična krivulja tijekom vrijednosti napona na mjestu priključka elektrane B na mrežu

Doprinos vrijednosti struje kratkog spoja elektrane tijekom vremena prolaska kroz kvar, potrebno je uskladiti s ODS-om. Prilikom usklađivanja, ako to iziskuju obilježja priključenja elektrane na mrežu, dopušteno je pomicanje granične crte 2.

U toj „borbi“ za očuvanje pogona elektrane kod težih naponskih propada dopušteno je kratkotrajno odvajanje od mreže, ako se elektrana može ponovo sinkronizirati na mrežu najkasnije 2 sekunde nakon početka kratkotrajnog odvajanja. Nakon uspješne ponovne sinkronizacije mora se povećavati djelatna snaga s usponom u koracima od najmanje 10% nazivne snage u sekundi.

Treba računati i na to kako napon neće odmah nakon isključenja kvara porasti na vrijednost prije nastupa kvara nego tek nakon nekog vremena.

### 3.2.3.5. Potpora naponu mreže proizvodnjom jalove snage tijekom trajanja kvara

Bit dinamičke potpore naponu na sučelju elektrane i mreže tijekom trajanja kvara je u tome da elektrana predaje u mrežu, osim induktivne jalove struje potrebne pogonu prije nastupa kvara, također i dodatnu jalovu struju, bez obzira dogodi li se kvar blizu ili udaljeno od elektrane [6]. Time se smanjuje propad napona. Nakon isključenja kvara, ne smije uslijediti preuzimanje induktivne jalove snage iz mreže, a ako se ovaj zahtjev ne može u potpunosti ostvariti, treba barem osigurati da se preuzimanje završi unutar 400 ms nakon isključenja kvara, a što je temelj za potporu naponu.

Kod sinkronih generatora priključenih izravno na mrežu, samim načinom rada moguće je ispunjenje ovog zahtjeva. Kod drugih vrsta generatora i značajki proizvodnog procesa doprinos dodatnoj induktivnoj jalovoj struji slijedi vremensku ovisnost. Trenutna vrijednost jalove struje ovisi od efektivnoj vrijednosti polutitraja linijskog napona i iznosi 2% nazivne struje elektrane po svakom postotku propada napona.

Kod trofaznog kratkog spoja, na strani elektrane prema mreži, tri linijska napona mijenjaju se približno jednako, pa u slučaju spremnosti elektrane, kroz tri vodiča teku i dodatne jalove struje simetričnih vrijednosti. Kod dvofaznog kvara mijenja se pretežno jedan od tri linijska napona, a dodatna jalova struja teče kroz dvije kvarom pogođene faze.

Kod jednofaznog kvara u mreži s uzemljenom neutralnom točkom, na mrežnoj strani se tri linijska napona mijenjaju manje nego kod prethodno opisanih kvarova. Moguće „mrtvo područje“ u području nazivnog napona (sjenčano) kod kvarnog stanja, može se spriječiti odgovarajućom dodatnom jalovom strujom čija je vrijednost na razini vrijednosti za normalni pogon.

Sposobnost elektrane za proizvodnju dodatne induktivne jalove struje ( $I_{dj}$ ) mora nastupiti vrlo brzo nakon nastupa kvarnog stanja (20 ms), a gornja se vrijednost može ograničiti na nazivnu vrijednost struje elektrane/generatora ( $I_{ne}$ ).

Povratak elektrane s pogonskog stanja u funkciji potpore naponu mreže na normalni pogon, smije se dogoditi nakon reda veličine nekoliko sekundi, primjerice tri.

Kao primjer načela potpore elektrane održanju napona mreže tijekom kvara u mreži, a proizvodnjom dodatne induktivne jalove struje, vidi se na slici 14. [6].



Sve elektrane priključene na SN mrežu, prema [2], tijekom trajanja simetričnog kvara u mreži, mogu ostati u pogonu i isporučivati električnu energiju u mrežu. Tijekom trajanja nesimetričnog kvara u mreži, elektrana ne smije napajati mrežu nikakvom vrstom jalove energije koja bi na mjestu priključka elektrane na mrežu, u fazama neizloženim kvaru, uzrokovala napone veće od  $1,1 U_0$ .

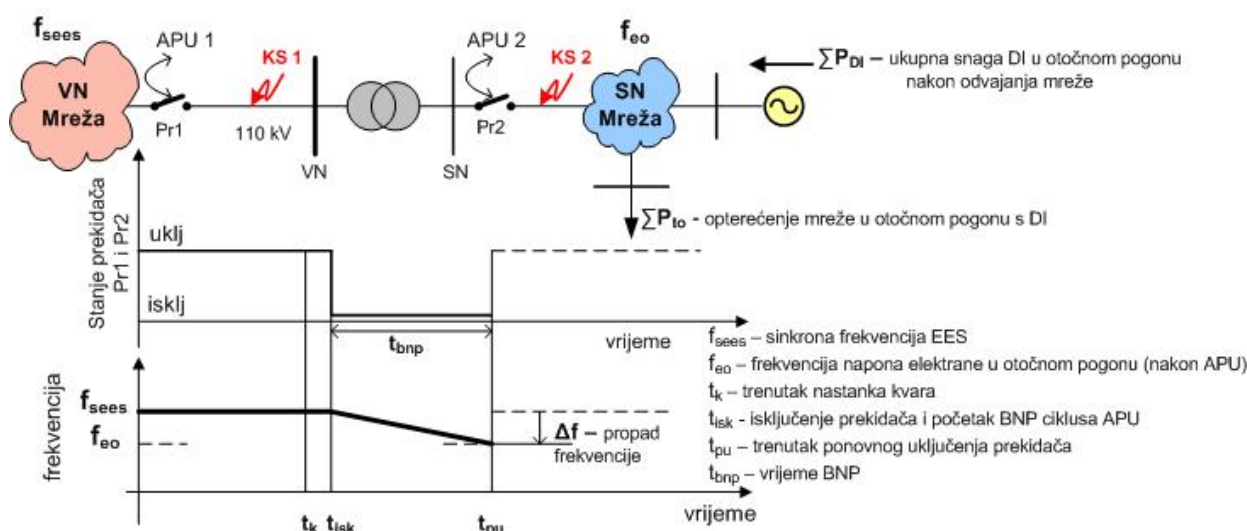
Općenito, kao temeljni zahtjev, važi kako sve elektrane na SN mreži trebaju ostati na mreži pri propadima napona iznad granične crte sa slike 12., odnosno granične crte 1 sa slike 13. ODS, u smislu navedenog načela, utvrđuje za svaku razinu propada napona, u kojoj je mjeri potrebno proizvesti i isporučiti u mrežu jalovu struju kao potporu održanja napona.

Ovisno o konkretnim uvjetima na mjestu priključenja, stvarno vrijeme zadržavanja elektrane na SN mreži u prikazanim okolnostima propada napona, može se skratiti djelovanjem zaštite za odvajanje, a o tome treba odlučivati ODS.

### 3.3. Ponašanje DI u SN mrežama pri automatskom ponovnom uključenju

#### 3.3.1. Opći pristup automatskom ponovnom uključenju

Automatsko ponovno uključenje u SN mrežama je jedna od temeljnih sastavnica pouzdanosti napajanja koja doprinosi kakvoći opskrbe električnom energijom. Gledajući od sabirnica TS VN/SN, kao mrežnih izvora, pogon SN mreže je redovito zrakast. To pojednostavljeno znači kako su DI u takvoj mreži s mrežnim izvorom u paralelnom pogonu povezani preko jednog voda. Na slici 16. pojednostavljeno prikazujemo priključak mrežnog izvora preko jednog voda 110 kV (nije isključena takva inačica sheme napajanja) i priključak DI na SN mrežu zajedno s opterećenjem koje može s DI oblikovati otočni pogon.



Slika 16. Značajke APU u SN mreži s DI

Poznato je kako prekid veze između dijelova EES dovodi do asinkronog rada pojedinih dijelova i kako se u ovisnosti o veličini neravnoteže djelatne snage ( $\Delta P = \Sigma P_{DI} - \Sigma P_{to}$ ) mijenja frekvencija i napon, odnosno fazni pomak između napona mreže i napona elektrane. Kada je uzrok prekidu trofazni kratki spoj na vodu, a primjenjuje se trofazno automatsko ponovno uključenje (APU), nakon ponovnog uključenja pojavljuju se, zbog faznih pomaka vektora napona, prijelazne pojave praćene velikim strujama izjednačenja i velikim elektromagnetskim momentima [11], koji mogu ugroziti generatore u elektranama (posebno statorski namotaj i temelje).

Uvažavajući nedvojbenu korist od APU-a, neopravdano je odustati od njegove primjene, upitno je preporučiti primjenu uređaja za nadzor uvjeta uključenja u svim slučajevima, a s druge pak strane ne smijemo podcijeniti ugrozu od asinkronog uključenja. Zato se kod utvrđivanja uvjeta priključenja elektrane u SN mrežu s primijenjenim APU-om, mora prvo provesti analiza razine ugroze generatora strujom asinkronog uključenja kako bi se utvrdile stvarne okolnosti ugroze generatora. Temeljni kriterij koji nas treba voditi je obilježje odnosa:

struja asinkronog uključenja ( $I_{asuk}$ )/najveća udarna struja kratkog spoja ( $\sqrt{2}I''_{ks}$ ),

ili pojednostavljeno,

struja asinkronog uključenja ( $I_{asuk}$ )/nazivna struja generatora ili elektrane ( $I_{ng}$  ili  $I_{ne}$ ).

Dakle, ako je struja asinkronog uključenja manja ili jednaka od s njom uspoređenih ( $I_{asuk} \leq \sqrt{2}I''_{ks}$  ili  $I_{asuk} \leq I_{ng}$  ili  $I_{ne}$ ), pri čemu se promatra trofazni kratki spoj na stezaljkama generatora i uzima u obzir utjecaj tereta koji ostaje napajan iz DI u otočnom pogonu, tada možemo prihvatiti primjenu trofaznog APU višefaznih kvarova. Naime, kod rotacionih generatora to znači kako kod asinkronog uključenja u paralelni pogon s mrežom nakon ciklusa APU, neće doći do naprezanja generatora koja su veća od naprezanja pri trofaznom kratkom spoju na stezaljkama generatora. Tada se možemo opredijeliti za jedan od slijedećih načina izbjegavanja asinkronog uključenja:

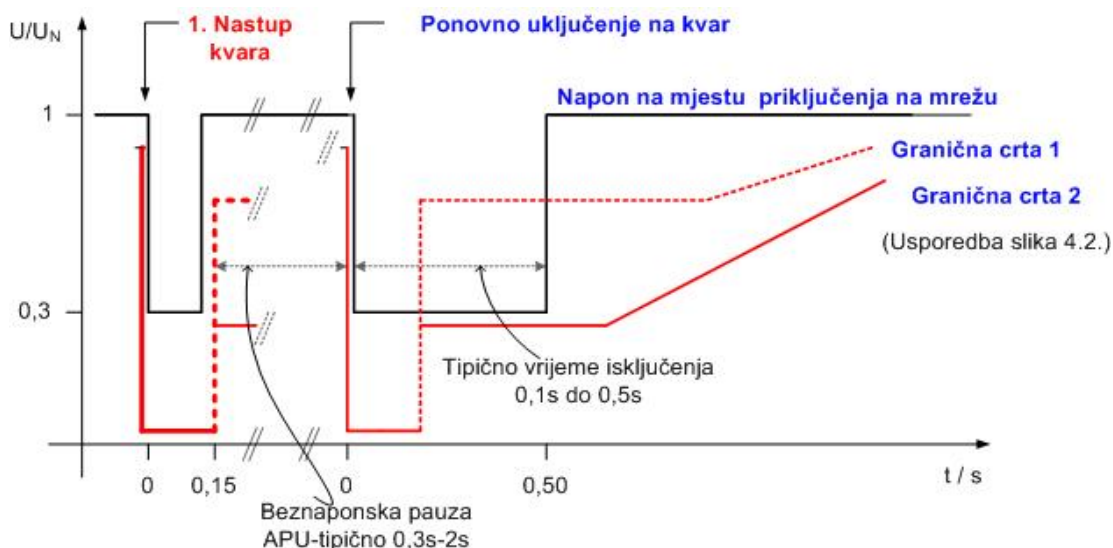
- u svakom slučaju primijeniti brzo odvajanje DI iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom i zaprečavanje otočnog pogona DI s dijelom mreže, pri čemu je važno odrediti podešenje podnaponske zaštite za odvajanje,
- kod DI sa sposobnošću prolaska kroz kvar u mreži, osigurati uz zaštite u mreži i uređaj za nadzor uvjeta uključenja u paralelni pogon nakon beznaponske pauze.

Ako se pokaže kako u nekoj točki mreže nisu zadovoljeni kriteriji prihvatljivih naprezanja generatora pri trofaznom kratkom spoju i djelovanju trofaznog APU, moguće je donijeti odluku o primjeni obje prethodne mjere ili o neprimjenjivanju APU-a.

Za potrebe podešenja podnaponske zaštite za odvajanje DI od mreže treba provesti proračune preostalog napona na stezaljkama generatora varirajući udaljenost kvara [8]. Istraživanja treba provesti kako za sinkrone tako i za asinkrone generatore. Kod istraživanja statičkih generatora s izmjenjivačem treba razlikovati elektrane kod kojih su ovi u izravnom spoju s mrežom od elektrane kod kojih napajaju rotor generatora (AS generator s dvostrukim napajanjem). Kod elektrana s mreži sučeljenim izmjenjivačem vrlo je mali doprinos struji kvara pa je značajan propad napona na stezaljkama elektrane i kod udaljenog kvara [8].

### 3.3.2. Ponašanje elektrane u SN mreži pri automatskom ponovnom uključenju u VN mreži

Ponašanje elektrana priključenih na SN mrežu kod automatskog ponovnog uključenja u prijenosnoj mreži, također je predmet posebnih zahtjeva ODS-a [2]. Provest ćemo razmatranje za scenarij s neuspješnim automatskim ponovnim uključenjem (u daljnjem pisanju: APU) pri kvarovima u VN mreži (110 kV) nad kojim ODS nema nadležnost. U takvom scenariju dolazi do dva uzastopna propada napona (slika 17.).



Slika 17. Tijek promjena iznosa napona elektrane na mjestu priključenja pri neuspješnom APU u VN mreži



Iznos propada napona odnosi se na mjesto priključka DI na mrežu, a neovisan je o mjestu kvara u mreži. Slika prikazuje opći tijek napona pri djelovanju distantne zaštite vodova visokog napona, a bez prijenosa signala na drugu stranu voda. Podešenje dosega prvog stupnja osigurava sigurno isključenje u kratkom vremenu za prvo isključenje kvara na bilo kojem mjestu dalekovoda (produženi prvi stupanj). Tijekom vremena beznaponske pauze APU-a, koje uobičajeno traje 0,3 do 2 sekunde, zaštitni uređaj se sam predpodešava na normalni doseg prvog stupnja (85% dužine voda). Pretpostavimo li trajan kvar i mjesto kvara obuhvaćeno drugim stupnjem jednog od uređaja zaštite, ovaj zaštitni uređaj sada isključuje kvar u skladu sa standardnim programom vremenskog odgađanja isključenja od na primjer 0,5 sekunde.

Pod pretpostavkom da svi uređaji zaštite djeluju u skladu s postavljenim vrijednostima, iz toga može proizaći da prvi propad napona potraje samo 0,15 s, dok se drugi propad napona može biti vremenski odgađa do isteka drugog vremenskog stupnja djelovanja zaštite od pretpostavljenih 0,5 sekunde.

Nadalje, crvenom bojom prikazane su granične crte napona, sve do crte, pri kojoj se elektrana s priključkom na SN mrežu ne smije odvojiti od mreže (u svezi s ovim vidi rečeno u prethodnoj točki). U slučaju da otkáže jedan od uređaja zaštite za isključivanje kratkog spoja, pad napona neće se pri prvom kvaru završiti nakon 150 ms. U takvom slučaju elektrana se ne smije odvojiti pri tijeku iznosa napona iznad krivulje, prikazane na slici 13.

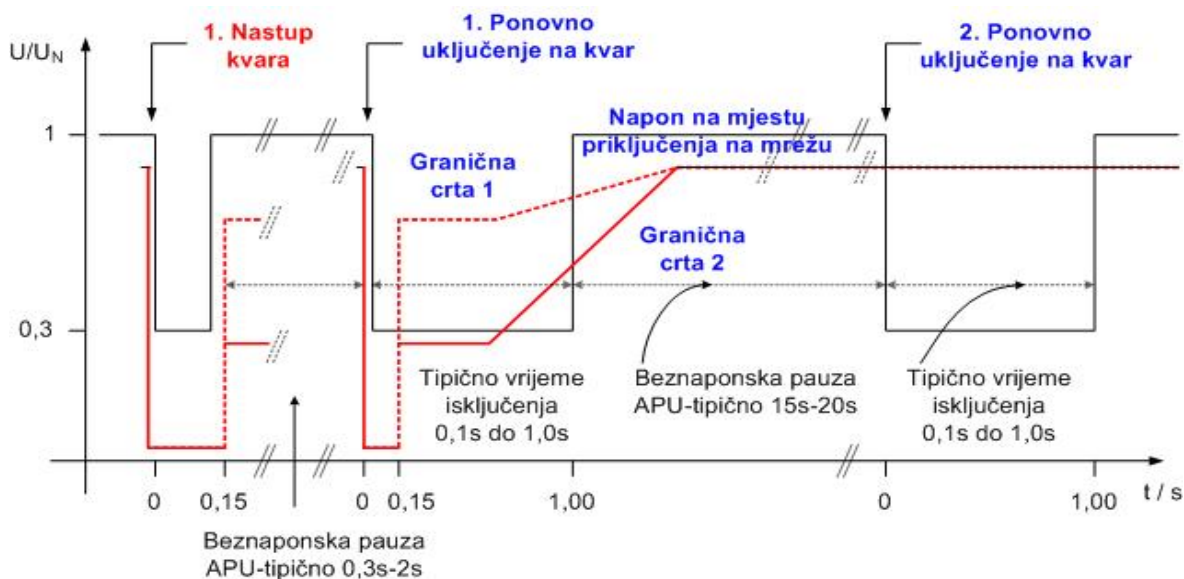
### 3.3.3. Ponašanje elektrane u SN mreži pri automatskom ponovnom uključenju u SN mreži

S gledišta primjene APU u SN mreži koja je u paralelnom pogonu s na nju priključnima DI, postoje određene okolnosti koje valja prepoznati i na temelju istraživanja i provedbe simulacija doći do podataka koji će olakšati donošenje pravih odluka. Navodimo i obrazložimo tri okolnosti:

- a) Primjena trolnog isključenja svih vrsta kvarova u mreži, a posljedično tome primjena trolnog ponovnog uključenja na strani mreže, može u slučaju da elektrana ostane u pogonu s mrežom nakon beznaponske pauze APU-a, dovesti do spajanja mreže i elektrane s nedopuštenim pomakom faznih napona.
- b) Napajanje mjesta kvara tijekom beznaponske pauze, uvjetovane zaštitom i automatikom sa strane mreže, s dovoljnom energijom od strane DI za održanje električnog luka na mjestu kvara, jamačan je uzrok neuspješnom APU [8]. U mrežama u kojima su na vodove priključeni DI, pretpostavka za uspješno ostvarenje cilja uporabe APU-a, onemogućiti utjecaj prolaznog uzroka kvara u mreži na nastanak trajnog kvara, je u obostranom odvajanju mjesta kvara od napona, odnosno, kako sa strane mrežnog izvora tako i sa strane DI. Narečeni se cilj mora postaviti ispred drugih, a to znači na temelju istraživanja u mreži utvrditi okolnosti i opredijeliti se za neko od rješenja. Rješenja su:
  - o ako je doprinos elektrane uzbuđi zaštite prema mreži za svaki kvar dostatan, tada se mreže oprema zaštitom sa sposobnošću obostranog isključenja voda u kvaru, uz sposobnost elektrane davanju dinamičke potpore naponu mreže tijekom kvara i otočnog pogona elektrane s dijelom mreže,
  - o ako je doprinos elektrane uzbuđi zaštite za svaki kvar nedostatan i struja kvara je vrijednosti kod koje je moguće samogašenje luka na mjestu kvara, uz sposobnost elektrane davanju dinamičke potpore naponu mreže, a ako je kvar trajni elektrana se odvaja od mreže ili
  - o bezuvjetno odvajanje elektrane iz mreže kod neprimjerenih uvjeta u stanju kvara u mreži.
- c) Naponske okolnosti tijekom složenog ciklusa APU (brzi+spori) jamačno mogu dovesti do neprimjerenih uvjeta pogona elektrane i do njenog odvajanja unatoč zahtjevu za dinamičnom potporom mreži.

APU u SN mreži odvija se u dva ciklusa. Nakon ciklusa s kratkom beznaponskom pauzom (brzi APU–0,3 s) ako postoji kvar i dogodi se neuspješni APU, slijedi drugi pokušaj ponovnog uključenja (spori APU - primjerice 15 do 20 s). Pri drugom ciklusu APU mogu se elektrane u SN mreži odvojiti od mreže (slika 18.).

Također, i kod kvarova u SN mreži potrebno je uzimati u obzir događaje sa zatajenjem zaštite i dugim vremenima isključenja od strane rezervne zaštite.



Slika 18. Tijek promjena iznosa napona pri neuspješnom dvostrukom ciklusu APU-a u SN mreži.

Kod kvarova u SN mreži, u kojoj ima priključenih elektrana, a na SN vodovima se primjenjuje APU, načelno se generatori mogu odvojiti od mreže, jer odvajanje u ovom slučaju nema nikakvog učinka niti posljedica na stabilnost elektroenergetskog sustava VN mreže, odnosno, moraju se ispuniti isti zahtjevi glede odvajanja od mreže kao što je naprijed opisano.

Rješenje u opisanim okolnostima leži u pravilnom podešenju zaštite za odvajanje elektrane od mreže i to funkcije podnaponske zaštite  $U <<$  (bez vremenske odgode) kao i podnaponske zaštite  $U <$  (s vremenskom odgodom). Za to su svakako potrebna istraživanja prijelaznih stanja mreže s različitim vrstama DI i njihovim značajkama, a putem prikladnih računalnih programa (Neplan, Matlab, ...) kao i u živoj mreži.

### 3.4. Odvajanje DI iz paralelnog pogona s mrežom

Kakve god postavljali zahtjeve za ponašanje DI u paralelnom pogonu s mrežom, nezaobilazno je osmisliti zaštitu od neprimjerenih pogonskih uvjeta. Zahtjevi pak mogu utjecati na podešenje djelovanja zaštite, bogatiji sadržaj, ali ne na temeljna obilježja i pravila djelovanja koja sažeto iznosimo.

Odvajanje DI iz paralelnog pogona s mrežom mora se poduzeti kada nastupe neprimjereni uvjeti za paralelni pogon. Pod neprimjerenim uvjetima paralelnog pogona elektrane s mrežom, podrazumijevaju se stanja paralelnog pogona kod kojih dolazi do:

- odstupanja tokova snage od ugovorenih/dopuštenih vrijednosti,
- odstupanja napona i frekvencije na mjestu priključenja većih od dopuštenih

U pristupu zaštiti za odvajanje, neke elektrane, prvo je potrebno:

- utvrditi značajke karakterističnih električnih veličina paralelnog pogona u normalnom pogonu i u poremećenim stanjima (napon, frekvencija, tok radne i jalove snage),
- utvrditi značajke karakterističnih električnih veličina paralelnog pogona u uvjetima kvara u mreži i u elektrani, a potom
- utvrditi kriterije za djelovanje zaštite za odvajanje elektrane od mreže u svakom slučaju poremećaja i kvara.

Izbor uređaja zaštite s funkcijom zaštite od neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona elektrane s mrežom (funkcije odvajanja) nadležan je ODS, a za izbor zaštite elektrane od kvarova, nadležan je vlasnik elektrane, a sve zajedno mora biti sukladno s tehničkim zahtjevima koje propisuje ODS. Funkcije zaštite elektrane i funkcije odvajanja elektrane iz paralelnog pogona s mrežom mogu biti ostvarene:

- pojedinačnim uređajima zaštite ili digitalnim integriranim uređajima zaštite (kod elektrana sa sinkronim/asinkronim generatorima),
- kao dio upravljačkog sklopa izmjenjivača (kod sunčanih mikroelektrana s izmjenjivačem),
- kao dio upravljačkog sklopa agregata (kod hidroelektrana i termoelektrana).

Osnovne funkcije zaštite za odvajanje temelje se na nadzoru najstrožih uvjeta paralelnog pogona elektrana - mreža, a koji minimalno podrazumijevaju:

- a) održavanje napona unutar dopuštenih granica i
- b) održavanje frekvencije unutar dopuštenih granica.

Za otkrivanje otočnog pogona elektrane s dijelom distribucijske mreže (engl. *loss of main LOM* ili „gubitak mreže“) moguće je korištenje i sljedećih dodatnih funkcija zaštite za odvajanje:

- a) brzina pada frekvencije ( $df/dt$ ),
- b) skok vektora napona ( $d\phi_U/dt$ ),
- c) skok iznosa snage ( $\Delta P$ ),
- d) podnaponska zaštita uvjetovana smjerom jalove snage ( $U</Q>$ ) i
- e) odvajanje djelovanjem zaštite u mreži.

Zaštita od smanjenja napona i smjer jalove snage ( $U</Q>$ ) u elektranu, nadzire ponašanje elektrane nakon nastanka kvara u mreži, a elektrana koja sprječava ponovni oporavak mrežnog napona preuzimanjem induktivne jalove snage iz mreže ili kroz nedostatnu potporu pogonskom naponu, mora se odvojiti od mreže prije isteka vremena zatezanja djelovanja zaštitnih uređaja u mreži.

### 3.4.1. Preporučeni sadržaj i podešenje zaštite za odvajanje

Značajke primarne energije te tehničke i pogonske osobine proizvodnih jedinica kod različitih vrsta elektrana zahtijevaju podozriv i promišljen pristup oblikovanja koncepta zaštite za odvajanje kod pojedinih vrsta elektrana.

Kod priključenja elektrane na sabirnice transformatorske stanice u SN mreži, preporučuje se postaviti vrijednosti prorade zaštite za odvajanje elektrane od mreže na mjestu priključenja prema Tabeli II., a vrijednosti prorade zaštite za odvajanje generatora, na prekidaču ispred blok transformatora (ako ga ima), prema Tabeli III.

Podešene vrijednosti djelovanja zaštite odnose se na ugovorenu vrijednost električnog napona  $U_c$  u SN mreži, koja je u pravilu jednaka nazivnom naponu mreže. One se izračunavaju na primarnu vrijednost preko prijenosnog omjera naponskog mjernog transformatora. Napon  $U_n$  je sekundarni nazivni napon mjernog naponskog transformatora, a time i nazivni napon za ulaz mjernog napona zaštitnog uređaja. Napon  $U_{NS}$  je napon na NN strani blok transformatora.

Tabela II. Preporučene vrijednosti podešenja djelovanja zaštite za odvajanje elektrane na mjestima priključenja, kod priključenja elektrane na sabirnice transformatorske stanice

Funkcija zaštite	Područje podešenja prorade zaštite	Preporučene vrijednosti podešenja prorade zaštite	
Nadnaponska zaštita- $U>$	$1,00 - 1,30 \times U_n$	$1,15 U_c$	$\leq 100 \text{ ms}$
Nadnaponska zaštita- $U>>$	$1,00 - 1,30 \times U_n$	$1,08 U_c$	1 minuta
Podnaponska zaštita- $U<$	$0,1 - 1,00 U_n$	$0,8 U_c$	2,7 sekundi
<sup>1)</sup> Zaštita $U</Q>$	$0,70 - 1,00 U_n$	$0,85 U_c$	0,5 sekundi
<sup>1)</sup> Nadfrekventna/podfrekventna zaštita	$50,0 - 52,0 \text{ Hz}$ $47,5 - 50 \text{ Hz}$	$\leq 100 \text{ ms}$	

<sup>1)</sup> uvjetno

Tabela III. Preporučene vrijednosti podešenja djelovanja zaštite za odvajanje generatora od mreže, ispred blok transformatora, kod priključenja elektrane na sabirnice transformatorske stanice

Funkcija zaštite	Područje podešenja prorade zaštite	Preporučene vrijednosti podešenja prorade zaštite	
Nadnaponska zaštita $U>>$	$1,00 - 1,30 U_n$	$1,20 U_{NS}$	$\leq 100 \text{ ms}$
Podnaponska zaštita $U<$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,80 U_{NS}$	1,5 – 2,4 s
Podnaponska zaštita $U<<$	$0,10 - 1,00 U_n$	$0,45 U_{NS}$	300 ms
Nadfrekventna zaštita $f>$	$50,0 - 52,0 \text{ Hz}$	51,5 Hz	$\leq 100 \text{ ms}$
Podfrekventna zaštita $f<$	$47,5 - 50 \text{ Hz}$	47,5 Hz	$\leq 100 \text{ ms}$

#### 4. ZAKLJUČAK

U bliskoj budućnosti, promjene u distribucijskoj mreži imat će jedno posebno obilježje, a to je izgradnja velikog broja proizvodnih postrojenja prije svega s obnovljivim izvorima energije. Distribucijska mreža prepuna raspršenih izvora različitih značajki, pretvara se u distribucijski sustav s novom pogonskom dinamikom i dvosmjernim tokovima opterećenja i snage kvara.

Priključenje, paralelni pogon s mrežom i može biti otočni pogon elektrana s dijelom mreže, su nova područja stručnih izazova s kojima su suočeni inženjeri ODS-a, projektanti, inženjeri u izgradnji, elektroenergetski inspektori i drugi.

Poseban izazov za Operatora distribucijskog sustava jest korištenje svih značajki distribuiranih izvora električne energije iskoristivih u poboljšanju kakvoće opskrbe električnom energijom. Tu se prije svega misli na kakvoću napona i pouzdanost napajanja.

Objedinjavanje distribuiranih izvora i distribucijske mreže u distribucijski sustav više je od onog što sadrži izraz paralelni pogon, jer znači aktivnu ulogu elektrane u statičkoj i dinamičkoj potpori održanju stabilnosti napona mreže, jer znači opstojnost pogona elektrane na prolazna stanja kvara u mreži i napose preuzimanja opskrbe kupaca u dijelu mreže kroz otočni pogon. Preduvjet za takvo objedinjavanje je ponašanje distribuiranih izvora u paralelnom pogonu s mrežom i u otočnom pogonu s dijelom mreže, uz utvrđivanje razvidnih kriterija i uvjeta za određivanje sposobnosti elektrana, u smislu obveznih tehničkih uvjeta te odgovarajuće metodologije za utvrđivanje naknade Proizvođaču za pružanje usluga sustavu.

I dok se još nedavno za sve pogonske probleme, koje donosi utjecaj distribuiranih izvora u elektroenergetskom sustavu, imalo rješenje u bezuvjetnom odvajanju od mreže, danas je filozofija na strani opstojnosti paralelnog pogona s mrežom, a otočni pogon određenih vrsta elektrana s dijelom mreže nije više heretičko pitanje.

Dakako, nije na Operatoru distribucijskog sustava propisivati zahtjeve koji nemaju opravdanu korist za korisnike mreže, niti one koji znače veliki trošak za vlasnika elektrane i ako čine korist, kao niti one koje imaju veliku razinu ugroze sigurnosti rada temeljnih činitelja distribuiranih izvora. Mora se pronaći razumna tehnička i gospodarska rješenja.

Pred nama je vrijeme za prijeko potrebne prilagodbe Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava i tvorbe novih Tehničkih uvjeta za priključenje elektrana na distribucijsku mrežu. Kako bismo mogli u njih ugraditi odrednice korisne za rad distribucijskog sustava i u konačnici za korisnike mreže, prvo moramo raspolagati znanjima o svim značajkama pogona distribucijskog sustava s distribuiranim izvorima, potom moramo provoditi istraživanja složenih pojava odgovarajućim programima za simulaciju kao i istraživanja u živom pogonu.

#### LITERATURA

- [1] RH MINGORP, „Mrežna pravila elektroenergetskog sustava“, podzakonski akt, 6. ožujka, 2006 godina.
- [2] BDEW, „Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz - Richtlinien für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“, izdanje lipanj 2008.
- [3] VWEW, „Richtlinien für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz“, 4. izdanje 2001.
- [4] H. Basse, T. Leibfried, J. Backes; Spannungshaltung in Verteilnetzen bei Stützung durch dezentrale Erzeugungsanlagen mit lokaler Blindleistungsregelung“, ETG Kongress, Dusseldorf, Oktober 2009.
- [5] Družb sistemskih upravljačev distribucijskega omrežja Slovenije, „Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10 MW“ Ljubljana, studeni 2007.
- [6] VWEW Energieverlag GmbH, Beiblatt „Verhalten von EEG-Erzeugungsanlagen bei Störungen im Netz“, 2003.
- [7] M. Geidl, „Protection of Power Systems with Distributed Generation: State of the Art“ (ETH) Zurich, srpanj 2005.
- [8] G. Oberlechner, „Schutzaspekte bei dezentralen netzgekoppelten Energieerzeugungsanlagen“ Diplomarbeit, TU Graz, travanj 2004.

- [9] J. Jäger, T. Keil, T. Degner, N. Schafer, „Schutztechnik in DER Netzen“ Universität Erlangen-Nürnberg, publikacija, 13. Kassel symposium „Energie-Systemtechnik“ 2008.
- [10] K. Hinz, „ Anforderungen an den Netzschutz beim Anschluss“, E.ON edis Demmin, Energietag Brandenburg, Cottbus, rujun 2005.
- [11] Dr.sc. B. Filipović-Grčić, „O asinhronom uklapanju generatora kod brzog automatskog ponovnog uklapanja“, 17. savjetovanje JUKO CIGRE, Struga 1985.