

# D5.2. Studija optimalnog tehničkog rješenja priključenja stanice za zamjenu baterija električnih vozila na prijenosni sustav

## Uvod

Iako služe za napajanje električnih vozila, stanice za zamjenu baterija su po karakteristikama sličnije baterijskim spremnicima, nego punionicama električnih vozila pa se mogu s gledišta operatora sustava uzeti kao baterijski spremnik s jednim dodatnim priključkom za odjelj električne energije. Iz takvog pristupa slijedi da u sustavu mogu sudjelovati u istim aktivnostima kao i ostali spremnici. Međutim, u Europskom zakonodavstvu pitanje spremnika energije još nije riješeno. Stoga stanice za zamjenu baterija električnih vozila priključene na prijenosnu mrežu predstavljaju na mjestu priključenja potrošače ili proizvođače električne energije, ovisno o režimu rada. Budući da su zahtjevi na mjestu priključenja različiti za potrošače i proizvođače, zahtjevi za priključenje stanice za zamjenu baterija na prijenosnu mrežu predstavljaju uniju zahtjeva za proizvođače i potrošače.

Kao primjer naprednog razmišljanja o statusu baterijskih spremnika u elektroenergetskom sustavu donosimo popis uvjeta za spajanje na mrežu koje je donio belgijski operator prijenosnog sustava Elia. Svi zahtjevi na priključenje navode se isključivo kao primjer dobre prakse.

U prvom poglavlju ove studije predstavljen je pregled uvjeta za priključenje stanice za zamjenu baterija na prijenosni sustav propisanih uredbama Europske Komisije, i to:

- UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/631 od 14. travnja 2016. o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključivanje proizvođača električne energije na mrežu (Mrežna pravila RfG) [1]
- UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/1388 od 17. kolovoza 2016. o uspostavljanju mrežnih pravila za priključak kupca (Mrežna pravila DCC) [2]

Drugo poglavlje donosi pregled dodatnih zahtjeva za priključenje za entitete s ograničenim rezervoarima energije, definiranih belgijskim federalnim mrežnim pravilima „Primary control - description of main technical and design characteristics“ s web stranice [3].

# 1 Zahtjevi za priključenje stanice za zamjenu baterija na prijenosnu mrežu – Uredbe Europske Komisije

U ovom poglavlju detaljno su opisani zahtjevi za priključenje kupaca na temelju Mrežnih pravila DCC (Demand Connection Code) [2], kao i zahtjevi za priključenje proizvođača električne energije na temelju Mrežnih pravila RfG (Requirements for Generators) [1].

## 1.1 Prijedlog tehničkih uvjeta priključenja stanice za zamjenu baterija kao kupca

Prije samog opisa zahtjeva za priključak stanice za zamjenu baterija na prijenosnoj ili distribucijskoj mreži važno je spomenuti da one u određenim režimima svoga rada troše električnu energiju pa prema definiciji Mrežnih pravila RfG, koja kaže da „postrojenja kupca“ znači postrojenje koje troši električnu energiju i priključeno je na najmanje jednom mjestu priključenja na prijenosni ili distribucijski sustav, spadaju u potrošače električne energije.

Postrojenje kupca priključeno na prijenosnu i/ili distribucijsku mrežu mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

1. Opći zahtjevi u pogledu frekvencije,
2. Opći zahtjevi u pogledu napona,
3. Zahtjevi u pogledu kratkog spoja,
4. Zahtjevi u pogledu jalove snage,
5. Zahtjevi u pogledu zaštite,
6. Zahtjevi u pogledu regulacije,
7. Kvaliteta električne energije.

### 1.1.1 Opći zahtjevi u pogledu frekvencije

Opći zahtjevi u pogledu frekvencije opisuju uvjete u kojima postrojenja kupca moraju ostati priključena na prijenosnoj mreži prilikom promjene frekvencije te opisuju frekvencijska područja i razdoblja rada u navedenim područjima frekvencije s obzirom na sinkrono područje.

Tablica 1 Opći zahtjevi u pogledu frekvencije [2]

Sinkrono područje	Frekvencijsko područje (Hz)	Razdoblje pogona
Kontinentalna Europa	47.5 – 48.5	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta
	48.5 – 49.0	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od razdoblja za 47.5 Hz – 48.5 Hz
	49.0 – 51.0	Neograničeno
	51.0 – 51.5	30 minuta
Nordijsko	47.5 – 48.5	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta
	48.5 – 49.0	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta
	49.0 – 51.0	Neograničeno
	51.0 – 51.5	30 minuta
Velika Britanija	47.0 – 47.5	20 sekundi
	47.5 – 48.5	90 minuta
	48.5 – 49.0	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 90 minuta
	49.0 – 51.0	Neograničeno
	51.0 – 51.5	90 minuta
	51.5 – 52.0	15 minuta
	47.5 – 48.5	90 minuta

Irska i Sjeverna Irska	48.5 – 49.0	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 90 minuta
	49.0 – 51.0	Neograničeno
	51.0 – 51.5	90 minuta
Baltičko	47.5 – 48.5	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta
	48.5 – 49.0	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od razdoblja za 47.5-48.5 Hz
	49.0 – 51.0	Neograničeno
	51.0 – 51.5	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta

### 1.1.2 Opći zahtjevi u pogledu napona

Opći zahtjevi u pogledu napona opisuju uvjete u kojima postrojenja kupca moraju ostati priključena na prijenosnoj mreži prilikom promjene napona i razdoblja rada u navedenim područjima napona s obzirom na sinkrono područje.

Tablica 2. Naponski rasponi i razdoblja za napone od 300 kV do 400 kV [2]

Sinkrono područje	Naponski raspon (p.u.)	Razdoblje pogona
Kontinentalna Europa	0.90 – 1.118	Neograničeno
	1.118 – 1.15	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 20 minuta i ne duže od 60 minuta
Nordijsko	0.90 – 1.05	Neograničeno
	1.05 – 1.10	60 minuta
Velika Britanija	0.90 – 1.10	neograničeno
Irska i Sjeverna Irska	0.90 – 1.18	Neograničeno
Baltičko	0.90 – 1.118	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta
	1.118 – 1.15	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 30 minuta

Tablica 3. Naponski rasponi i razdoblja za napone od 110 kV do 300 kV [2]

Sinkrono područje	Naponski raspon	Razdoblje pogona
Kontinentalna Europa	0.90 – 1.05	Neograničeno
	1.05 – 1.10	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 20 minuta i ne duže od 60 minuta
Nordijsko	0.90 – 1.05	Neograničeno
	1.05 – 1.10	Određuje svaki OPS, ali ne kraće od 60 minuta
Velika Britanija	0.90 – 1.05	Neograničeno
	1.05 -1.10	15 minuta
Irska i Sjeverna Irska	0.90 – 1.05	Neograničeno
Baltičko	0.90 – 1.097	Neograničeno
	1.097 – 1.15	20 minuta

### 1.1.3 Zahtjevi u pogledu kratkog spoja

Zahtjevi u pogledu kratkog spoja odnose se na maksimalne vrijednosti struje kratkog spoja na mjestu priključenja koje postrojenje kupca priključeno na prijenosnu ili distribucijsku mrežu mora moći izdržati. Nadležni OPS dostavlja vlasniku postrojenja kupca (odnosno kupaca s vlastitom proizvodnjom) priključenog na prijenosni i/ili distribucijski sustav procjenu minimalne i maksimalne struje kratkog spoja koja se može očekivati na mjestu priključenja.

#### 1.1.4 Zahtjevi u pogledu jalove snage

Zahtjevi u pogledu jalove snage odnose se na postrojenja kupaca i distribuciju priključenu na prijenosnu mrežu. Postrojenja kupaca priključena na prijenosni sustav moraju moći održati stacionarni rad na mjestu priključenja u rasponu jalove snage koju odredni nadležni OPS u skladu s uvjetima da potrošnja i isporuka jalove snage neće biti veća od 48% najveće sposobnosti potrošnje ili isporuke (ovisno što je veće), osim u slučaju da postrojenje kupca priključeno na prijenosu mrežu dokaže tehničke ili financijske koristi za sustav, a nadležni OPS ih prihvati.

#### 1.1.5 Zahtjevi u pogledu regulacije

Zahtjevi u pogledu regulacije odnose se na planove i postupke rada različitih regulacijskih uređaja kupaca priključenih na prijenosnu i/ili distribucijsku mrežu koje zajednički dogovaraju kupac i OPS, a bitni su za sigurnost sustava. Zahtjevi u pogledu regulacije odnese se na: otočni rad, prigušenje oscilacija, poremećaje u prijenosnoj mreži i automatsko ponovno uključenje [2] i [4].

#### 1.1.6 Kvaliteta električne energije

Zahtjevi u pogledu kvalitete električne energije odnose se na uređaje kupaca priključene na prijenosnu i/ili distribucijsku mrežu od kojih se zahtjeva da njihov rad ne izaziva izobličenja (naponska i strujna) ili fluktuaciju napona. Maksimalne vrijednosti naponskih i strujnih izobličenja na mjestu priključenja kupaca propisana su normama i Mrežnim pravilima pojedinih OPS-ova.

### 1.2 Prijedlog tehničkih uvjeta priključenja stanica za zamjenu baterija kao proizvođača

#### 1.2.1 Mjesto priključenja

Tehnički uvjeti ovog dokumenta su primjenjivi za mjesto priključenja na mrežu kao što je sukladno članku 2., definicija 15. iz Uredbe Europske komisije o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključenje proizvođača električne energije na mrežu [1]. Ovaj termin definiran je u ugovorima o priključenju i označava se u ovom dokumentu kao Mjesto priključenja.

#### 1.2.2 Nazivna djelatna snaga stanice za zamjenu baterija

Za stanicu za zamjenu baterija nazivna djelatna snaga  $P_n$  definirana je kao maksimalna djelatna snaga koja može biti predana i preuzeta u normalnom pogonskom stanju, kao što je definirano Mrežnim pravilima RfG u članku 2, definicija 16. [1]. Ova vrijednost je definirana u ugovorima o priključenju i sastoji se od ukupno instalirane snage stanice minus procijenjeni gubici djelatne snage do mjesta priključenja.

#### 1.2.3 Rasponi napona

Koherentno s kriterijem za sinkrono područje kontinentalne Europe (kao što je definirano u Mrežnim pravilima RfG [1] i Mrežnim pravilima DCC [2]), stanica za zamjenu baterija bi trebala biti sposobna bez isklopa iz mreže biti u pogonu toliko dugo dok je napon na mjestu priključenja u rasponu prikazanom u Tablica 4. Referentna vrijednost napona (u p.u.) je osnovni napon ( $U_n$ ) vrijednosti do 300 kV, a koji je osiguran korisniku mreže od strane nadležnog OPS-a. Za naponske raspone izvan 0.9 – 1.118 p.u., vremena trajanja dana u Tablica 4 su indikativna i trebala bi biti dogovorena između nadležnog OPS-a i vlasnika stanice za zamjenu baterija u ovisnosti o stvarnim tehničkim ograničenjima.

Tablica 4. Rasponi napona

Rasponi napona (p.u.)	Vrijeme trajanja
0.85 – 0.90	60 minuta
0.90 – 1.118	Neograničeno
1.118 – 1.15	20 minuta

#### 1.2.4 Raspon frekvencijskog područja

Kao što je definirano u Mrežnim pravilima RfG [1], stanica za zamjenu baterija bi trebala biti sposobna bez isklopa iz mreže biti u pogonu dokle god je frekvencija na mjestu priključka unutar raspona frekvencijskog područja navedenog u Tablica 5. Bilo koje odstupanje od navedenih vrijednosti može biti dogovoreno s nadležnim OPS-om ukoliko je odstupanje opravdano. Za raspon frekvencijskog područja između 51.5 – 52.0 Hz, vrijeme trajanja dogovara se između vlasnika stanice za zamjenu baterija i nadležnog OPS-a. Tijekom pogona u nadfrekvencijskom području koje je naznačeno u Tablica 5 s „Potrebno dogоворити“, OPS koordinira s vlasnikom stanice za zamjenu baterija s obzirom na shemu rasterećenja u državi, kako je definirano u Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava [5].

Tablica 5. Raspon frekvencijskog područja [6]

Raspon frekvencijskog područja (Hz)	Razdoblje pogona
47.5 -48.5	30 minuta
48.5 – 49.0	Minimalno 60 minuta
49.0 – 51.0	Neograničeno
51.0 – 51.5	Potrebno dogоворити
51.5 – 52.0	Potrebno dogоворити

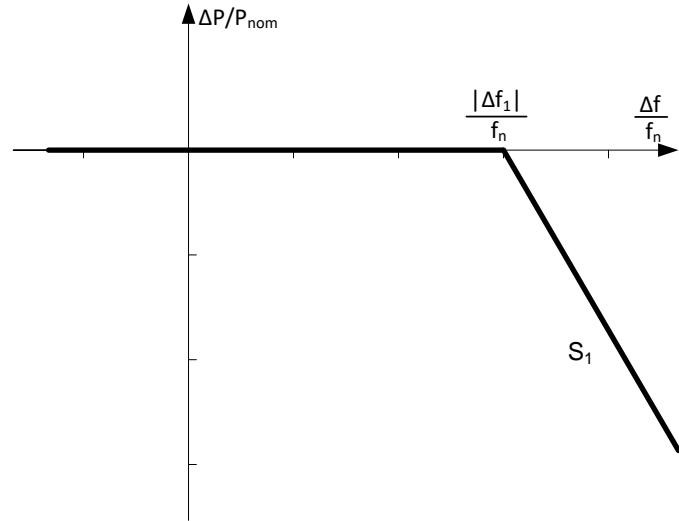
#### 1.2.5 Mogućnost sudjelovanja u zaštitnim planovima

Stanica za zamjenu baterija bi trebala biti sposobna primiti i uzeti u obzir informacije i signale od dispečerskog centra nadležnog OPS-a kao što je naznačeno u zaštitnim planovima i u ugovorima o priključenju.

#### 1.2.6 Ograničen frekvencijski osjetljiv odziv djelatne snage (LSM) [3]

Prema belgijskom dokumentu [3], u slučaju pozitivnog frekvencijskog odstupanja iznad 200 mHz ( $\Delta f_1$ ) od nazivne vrijednosti frekvencije  $f_1$ , djelatna izlazna snaga stanice za zamjenu baterija trebala bi se smanjiti kao što je prikazano na Slika 1, gdje bi snaga u p.u. trebala omogućiti praćenje statizma ( $s_1$ ) prilagođenog između 2% i 12% (inicijalna fiksna vrijednost na 9% ili prema zahtjevu OPS-a).

Prijelazna reakcija mora biti najmanje 1% p.u. u sekundi, s početnim kašnjenjem aktivacije što je kraće tehnički moguće i u svakom slučaju manje od 2 sekunde (osim u slučaju objektivnih tehničkih ograničenja).



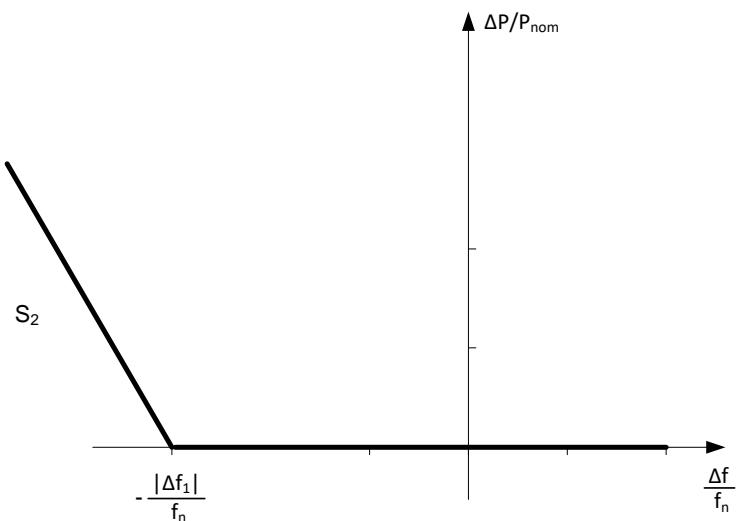
Slika 1 Sposobnost stanice za zamjenu baterija za frekvencijski odziv djelatne snage u slučaju skoka frekvencije [3]

U slučaju negativnih frekvencijskih odstupanja iznad 200 mHz i ako je trenutna djelatna izlazna snaga stanice za zamjenu baterija manja od raspoložive maksimalne snage, djelatna snaga stanice će se povećati, kao što je prikazano na Slika 2. Iznad ove mrtve točke od 200 mHz snaga se u p.u. mora biti u mogućnosti povećati prateći statizam ( $S_2$ ) u prilagodljivom rasponu između 2% i 12% (inicijalna fiksna vrijednost na 9% ili prema zahtjevu OPS-a).

Slično odredbama za pozitivno frekvencijsko odstupanje, prijelazna reakcija mora biti najmanje 1% p.u. u sekundi, s početnim kašnjenjem aktivacije što je kraće tehnički moguće i u svakom slučaju manje od 2 sekunde (osim u slučaju objektivnih tehničkih ograničenja).

Osim ako nadležni OPS eksplisitno ne deaktivira funkciju regulacije frekvencije prema gore, ovaj zahtjev ima veći prioritet od ograničenja djelatne snage. To znači da, ako se pojavi pad frekvencije tijekom ograničenja djelatne snage stanice za zamjenu baterija ( $P_{ref}$ ), ovo ograničenje ( $P > P_{ref}$ ) neće biti aktivno kada je frekvencija niža od 49.8 Hz.

Signal aktivacije/deaktivacije ove funkcije treba biti predviđen između dispečerskog centra i nadležnog operatora prijenosnog sustava i upravitelja postrojenja stanice za zamjenu baterija.



Slika 2. Sposobnost stanice za zamjenu baterija za frekvencijski odziv djelatne snage u slučaju pada frekvencije [3]

### 1.2.7 Pružanje jalove snage

Sukladno Mrežnim pravilima RfG [1], maksimalna prividna snaga stanice za zamjenu baterija određuje treba li se postrojenje smatrati regulacijskom jedinicom i sudjeluje li ili ne u pružanju naponske stabilnosti. Granice induktivnih i kapacitivnih režima dogovaraju se između vlasnika stanice za zamjenu baterija i nadležnog OPS-a (sukladno članku 18. Mrežnih pravila RfG [1]).

### 1.2.8 Isključenje s mreže

#### Frekvencijski kriterij

Prema [3], kako bi se izbjegao otočni pogon mreže koja nema potrebna sredstva za upravljanje, stanica za zamjenu baterija će biti odvojena s mreže s kašnjenjem od najviše 200 ms ako je frekvencija manja od 47.5 Hz ili veća od 52.0 Hz prema zahtjevima iz Tablica 5.

#### Naponski kriterij

Pridržavajući se zahtjeva prolaska kroz stanje kvara u mreži i pogonskim rasponima napona definiranih u Tablica 4, stanica za zamjenu baterija će se odvojiti od mreže u slučaju niskih ili visokih vrijednosti napona, pri čemu se od korisnika mreže traži predlaganje postavki isključenja odobrenih od strane nadležnog operatora prijenosnog sustava, kako se navodi u [3].

#### Ponovno priključenje na mrežu

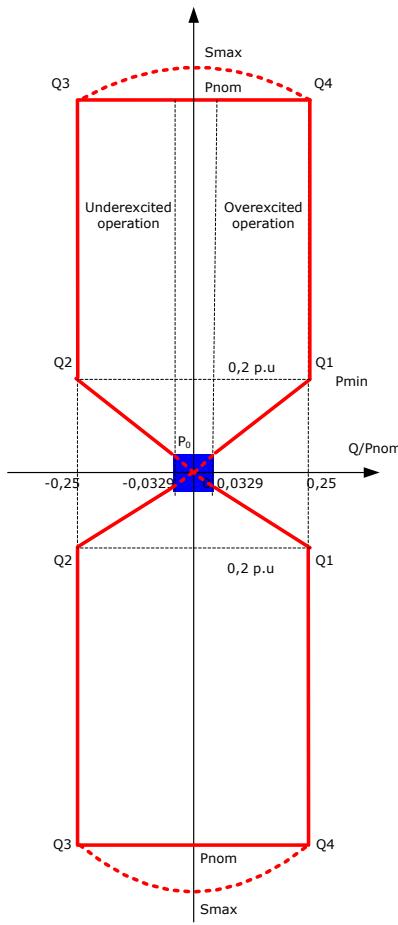
Automatsko ponovno uključenje na mrežu nakon događaja odvajanja nije dopušteno. Ponovno uključenje mora koordinirati nadležni OPS u skladu s važećim Pravilnikom [1].

## 2 Prijedlog dodatnih tehničkih uvjeta priključenja stanica za zamjenu baterija prema pravilniku belgijskog operatora ELIA

### 2.1 Pružanje jalove snage

Sukladno belgijskim federalnim mrežnim pravilima (FGC) članku 68 [7], maksimalna prividna snaga stanice za zamjenu baterija određuje treba li se ona smatrati regulacijskom jedinicom i sudjeluje li ili ne u regulaciji napona, gdje će se granice induktivnih i kapacitivnih režima dogovoriti između vlasnika stanice i nadležnog OPS-a (sukladno članku 71 FGC [7]). Pragovi za regulacijsku jedinicu iznose 25 MVA.

*Zahtjevi za sudjelovanje stanica za zamjenu baterija u pomoćnim uslugama regulacije energije u Belgiji*  
Za svaki napon na mjestu priključenja između 90% i 111.8%  $U_{norm,ex}$  (normalni pogonski napon na mjestu priključenja) i za bilo koju vrijednost izlazne djelatne snage između  $P_{min}$  (jednako 20%  $P_{nom}$ ) i  $P_{nom}$ , stanica za zamjenu baterija bi trebala biti u stanju proizvesti ili potrošiti barem jalovu snagu na mjestu priključenja koja je unutar područja ograničenog s  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  (Slika 3). Za područje gdje je preuzeta ili injektirana snaga veća od  $P_{nom}$ , potrebna je razmjena jalove snage unutar granica kapaciteta  $S_{max}$  spremnika energije koji se nalaze unutar stanice. Za naponske vrijednosti izvan 90% i 111.8% naponskog raspona, traži se da stanica za zamjenu baterija može pružiti jalovu snagu maksimalno unutar svojih tehničkih mogućnosti.



Slika 3 P-Q/P<sub>max</sub> profil za stanice za zamjenu baterija gdje P<sub>nom</sub> predstavlja stanja injekcije u mrežu i preuzimanja s mreže [3]

Za svaku vrijednost djelatne snage predane u ili preuzete s mreže između P<sub>0</sub>, P<sub>min</sub> najmanji raspon pogonske točke za koju će se kontrolirati jalova snaga definira se dvjema vrijednostima faktora snage izračunatima prema (Q<sub>1</sub>, 0,2 · P<sub>nom</sub>) i (Q<sub>2</sub>, 0,2 · P<sub>nom</sub>). Udaljenosti [Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>] i [Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>] moraju biti najmanje jednake 0,5 · P<sub>nom</sub>.

Za vrlo nisku proizvodnju djelatne snage (manje od P<sub>0</sub>) jalova snaga može biti nekontrolirana, međutim predane/vrijednosti moraju biti ograničene unutar raspona  $Q = (-3.29, 3.29)\% \cdot P_{nom}^2$  unutar plavog područja na Slika 3. Gore navedeni zahtjevi vrijede i za injekciju i preuzimanje djelatne snage. Za naponske vrijednosti izvan 90% i 111.8% naponskog raspona, traži se da stanica za zamjenu baterija može sudjelovati u regulaciji jalove snage do maksimuma tehničkih mogućnosti instalacije.

#### *Zahtjevi za stanice za zamjenu baterija koje ne sudjeluju u regulaciji energije u Belgiji*

Za svaki napon na mjestu priključenja između 90% i 105% U<sub>norm,ex</sub> (normalni pogonski napon na mjestu priključenja) se stanica za zamjenu baterija mora neutralno ponašati na mjestu priključenja bez obzira je li snaga (P) injektirana ili preuzeta.

Za svaki napon na mjestu priključenja između 90% i 105% U<sub>norm,ex</sub> (normalni pogonski napon na mjestu priključenja) i za bilo koju vrijednost izlazne djelatne snage između P<sub>min</sub> (jednaka 20% P<sub>nom</sub>) P<sub>nom</sub>, stanica za zamjenu baterija bi trebala biti sposobna proizvoditi, na zahtjev nadležnog operatora prijenosnog sustava, dvije razine jalove snage između Q<sub>3</sub> i Q<sub>4</sub> (udaljenost [Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>] mora biti najmanje jednaka

$0.5 \cdot P_{nom}$ ). Vrijednosti ovih dviju razina moraju biti uobičajeno dogovorene između vlasnika stanice za zamjenu baterija i nadležnog operatora prijenosnog sustava. Ovaj uvjet vrijedi i za stanja predaje i preuzimanja djelatne snage u/s mreže.

Za naponske vrijednosti izvan 90% i 105% naponskog raspona, zahtjeva se da stanica za zamjenu baterija može sudjelovati u regulaciji napona do maksimuma njegovih tehničkih mogućnosti.

#### *Odredbe za slučaj nedostupnosti stanice za zamjenu baterija*

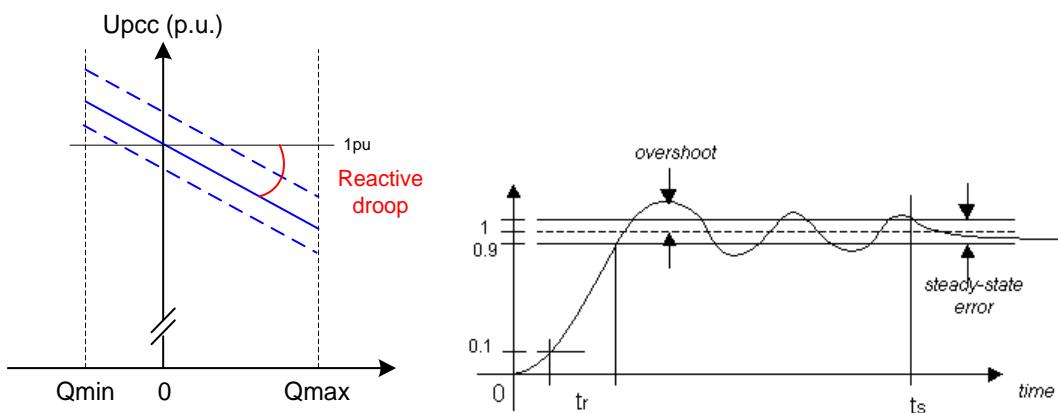
U slučaju nedostupnosti modula unutar stanice za zamjenu baterija (zbog poremećaja ili održavanja) sposobnost jalove snage može se prilagoditi na temelju raspoloživog kapaciteta ( $P_{av}$ ) umjesto  $P_{nom}$  (kao na Slika 3).

## 2.2 Regulacija napona i jalove snage

### *Opće pravilo*

Sukladno belgijskim federalnim mrežnim pravilima [7], regulacijska jedinica stanice za zamjenu baterija mora biti u stanju prihvatići svu jalovu snagu mjerenu na mjestu priključenja:

- Automatski u slučaju sporijih ili bržih promjena napona mreže. Ovo će se dogoditi prema statizmu za jalovu snagu (engl. „Reactive droop“);
- Kroz promjenu zadane vrijednosti regulatora na zahtjev nadležnog operatora sustava. Potrebna količina ovog zahtjeva su MVAR-i mjereni na mjestu priključenja;
- Razmjena jalove snage s mrežom – unutar zadane vrijednosti za modifikaciju napona najmanje od 0.90 p. u. do 1.118 p. u. – s koracima ne većim od 0.01 p. u.;
- Iznos izlazne jalove snage bi trebao biti nula kad je iznos pogonskog napona na mjestu priključenja jednak zadanoj vrijednosti napona.



Slika 4 Princip regulacije napona i jalove snage (lijevo); Prikaz dinamičkog odziva regulacije napona (desno) [3]

Automatska regulacija napona treba ispuniti zahtjeve statizma jalove snage (Slika 4 (lijevo)). Na zahtjev nadležnog operatora sustava, zadana vrijednost regulatora se može mijenjati i radna točka se pomiče paralelno isprekidanim linijom s istim nagibom, kako je prikazano na Slika 4 (lijevo). Upravljačka petlja pojačala (engl. „The control loop gain“) će se dogovoriti između nadležnog operatora prijenosnog sustava i korisnika mreže tako da se  $\alpha_{eq}$  nalazi između 18 i 25.

$$\alpha_{eq} = \frac{\frac{\Delta Q_{net}}{0.45 \cdot P_{nom}}}{\frac{\Delta U_{net}}{U_{norm,ex}}}$$

Značenja oznaka su slijedno:  $U_{net}$  je pogonski napon na mjestu priključenja,  $U_{norm,ex}$  je nominalna vrijednost pogonskog napona na mjestu priključenja,  $Q_{net}$  je jalova snaga predana u mrežu iz stanice za zamjenu baterija izmjerena na mjestu priključenja,  $P_{nom}$  je maksimalni iznos djelatne snage predan u mrežu iz stanice za zamjenu baterija na mjestu priključenja.

Za automatsku kontrolu napona i ručnu promjenu zadane vrijednosti (na zahtjev mrežnog operatora) prikaz odziva regulatora (Slika 4 (desno)) mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

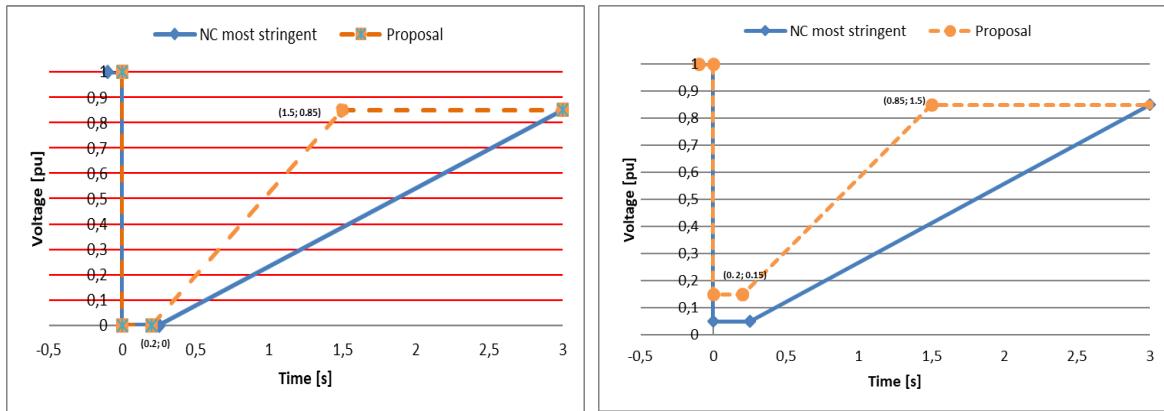
- Postavljeno vrijeme  $t_s$  mora biti ispod 10 sekunda. Ovo vrijeme uključuje vrijeme reakcije  $t_r$  u slučaju automatske napomske stabilnosti;
- Vrijeme reakcije  $t_r$  se ne smije poklopiti s gore zahtijevanim postavljenim vremenom (u rasponu 1 – 5 sekunda);
- Regulator mora osigurati da je napon na mjestu priključka kontroliran s točnošću od 0.5% nominalnog pogonskog napona na mjestu priključka. Odstupanje se još naziva pogreškom stacionarnog stanja  $V_{ss}$  napona na mjestu priključenja (engl. „Steady-state error“);
- Prekoračenje mora biti što manje moguće i u svakom slučaju ne veće od pogreške stacionarnog stanja;
- Tolerancija pogreške jalove snage ne bi smjela biti veća od 5% punog iznosa jalove snage;
- Promjena zadane vrijednosti bi se trebala odviti u koracima ne većima od 0.5%;
- Omjer prigušenja bi trebao biti osiguran za bilo koju popratnu oscilaciju veću od 5% kako bi bila u skladu sa smanjenom – signalnom stabilnošću ;
- Kontrola djelatne i jalove snage bi trebala biti odvojena (tj. kroz automatsku prilagodbu omjera R/X).

### 2.3 Prolazak kroz stanje kvara u mreži (engl. „Fault-Ride-Through“)

*Prolazak kroz stanje kvara u mreži za stanice za zamjenu baterija iznad 25 MW ili 75 MW i priključene na mrežu nazivnih napona većih od 110 kV*

Stanica za zamjenu baterija s kapacitetom većim od 25 MW ili 75 MW i priključenim na napomske razine veće od 110 kV bi trebala biti u pogonu na mreži tijekom brzih prijelaznih napona i kratkih spojeva za kojih se profil napona naziva *Prolazak kroz stanje kvara u mreži* (engl. „Fault-Ride-Through“). Stanica za zamjenu baterija mora ispunjavati zahtjeve sa Slika 5 (lijevo), pri čemu će stanica ostati priključena na mrežu sve dok najmanji napon faze bude iznad profila na Slika 5 (desno), mjereno na mjestu priključenja.

Također se zahtjeva da stanica za zamjenu baterija ostane priključena na mrežu sve dok joj tehničke mogućnosti to dopuštaju. Isti profil je primijenjen i za asimetrične smetnje.



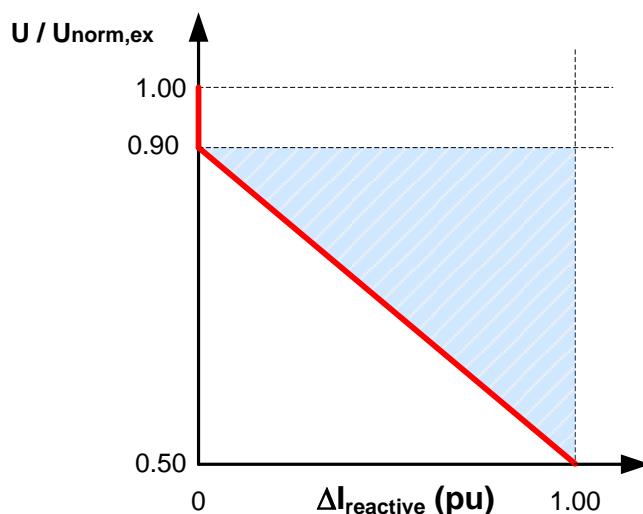
Slika 5. Prolazak kroz stanje kvara za stanice za zamjenu baterija kapaciteta iznad 25 MW ili 75 MW i priključene na naponske razine veće od 110 kV (lijevo); Prolazak kroz niskonaponsko stanje kvara za sve ostale stanice (desno) [3]

#### Prolazak kroz stanje kvara za ostale stanice za zamjenu baterija

Sve preostale stanice za zamjenu baterija također bi trebale imati sposobnost pogona tijekom brzih prijelaznih napona i kratkih spojeva u mreži za kojih se profil napona naziva *Prolazak kroz stanje kvara u mreži* (engl. „Fault-Ride-Through“). Stanice za zamjenu baterija moraju ostati priključene na mrežu sve dok najniži napon faze (na mjestu priključenja) bude iznad profila na Slika 5 (desno). Preporučljivo je, međutim, ostati priključen na mrežu sve dok to dopuštaju tehnički uvjeti stanice. Isti profil odnosi se i na asimetrične smetnje.

#### 2.4 Injekcija jalove struje u slučaju nisko-naponskog prolaska kroz stanje kvara i u slučaju simetričnih kratkih spojeva

Sukladno belgijskim federalnim mrežnim pravilima FGC [7], stanica za zamjenu baterija će injektirati dodatnu jalovu struju u mrežu u usporedbi sa stanjem prije kvara za vrijeme niskonaponskih uvjeta za stanja preuzimanja i predaje s/u mrežu. Ova pozitivna sekvenca jalove struje će biti funkcija pozitivne sekvence napona na mjestu priključenja i ukupne struje predane u mrežu od strane stanice za zamjenu baterija. Predaja dodatne jalove struje u mrežu određuje prema Slika 6, gdje za napone između 1 p.u. i 0.9 p.u.  $U_{norm,ex}$  stanica treba slijediti normalan način naponskog statizma (engl. „Voltage droop“).



Slika 6. Predaja dodatne jalove struje [3]

Ako je relevantno, predaja struje u mrežu može se ostvariti funkcijom napona na svakoj priključnoj točki modula spremnika tako da je ponašanje stanice za zamjenu baterija ekvivalentno onome prikazanom na Slika 6. Veličina dodatne jalove struje ( $\Delta I_{reactive}$ ) će biti određena kao linearna funkcija pozitivne ili negativne promjene napona ( $\Delta U$ ) s obzirom na vrijednost prije poremećaja s ukupnom injekcijom jalove struje ograničenom na 100% nazivne struje. Stanica za zamjenu baterija mora biti sposobna osigurati najmanje 2/3 očekivane ukupne jalove struje unutar 20 sekundi nakon početnog odstupanja napona i očekivana jalova struja mora se dobiti s točnošću od 10% unutar 60 ms. U slučaju realnog prioriteta injektiranja struje, ukupni doprinos struje bi bio ograničen ukupnom prividnom strujom na 1 p.u.

Dinamička naponska podrška mora se održati barem 500 ms nakon oporavka napona u normalnom naponskom rasponu ili u rasponu od 60 minuta definiranih u paragrafu 1.2.3.

## 2.5 Ponovna uspostava pogona nakon poremećaja

Nakon uklanjanja kvara ponovna uspostava pogona će biti odobrena s gradijentom koji se treba dogоворити с nadležним operatorom sustava.

## Zahvala

Rad autora sufinancirala je Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt Electric Vehicle Battery Swapping Station - EVBASS (IP-2014-09-3517).

### 3 Reference

- [1] E. Komisija, u *UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/631 od 14. travnja 2016. o uspostavljanju mrežnih pravila za zahtjeve za priključivanje proizvođača električne energije na mrežu*, 2016.
- [2] E. Komisija, »UREDBA KOMISIJE (EU) 2016/1388 od 17. kolovoza 2016. o uspostavljanju mrežnih pravila za priključak kupca,« 2016, p. 10–54.
- [3] Elia, »Primary control - description of main technical and design characteristics.,« [Mrežno]. Available: [http://www.elia.be/~media/files/Elia/users-group/Working-Group-Balancing/R1\\_Technical-design-note-for-primary-frequency-control-reserves\\_V1-0\\_Final.pdf](http://www.elia.be/~media/files/Elia/users-group/Working-Group-Balancing/R1_Technical-design-note-for-primary-frequency-control-reserves_V1-0_Final.pdf).
- [4] HEP-ODS, *Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu*, 2018.
- [5] HOPS, *Mrežna pravila prijenosnog sustava*, 2017.
- [6] HOPS, *Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu*, 2018.
- [7] Koningswege, *Federal grid code of 19 December 2002 (in Dutch and French)*, 2002.