

Robert Vlajčević
HOPS
robert.vlajcevic@hops.hr

Viktor Milardić
FER Zagreb
viktor.milardic@fer.hr

PROBLEMATIKA TREPERENJA NAPONA U PRIJENOSNOJ MREŽI HOPS-a

SAŽETAK

Zahtjevi na kvalitetu električne energije u suvremenim elektroenergetskim sustavima postaju sve veći, što rezultira visokim troškovima i investicijama u smjeru razvoja i izgradnje novih dijelova elektroenergetskog sustava. Izgradnja novih elemenata elektroenergetskih sustava i njihov utjecaj na kvalitetu električne energije potrebno je detaljno analizirati, posebno ukoliko se radi o elementima mreže kao što su elektrolučne peći. U ovom članku opisana je problematika ugradnje elektrolučne peći u dijelu elektroenergetskog sustava, kao i stanje treperenja napona (flikera) u prijenosnoj mreži HOPS-a.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, elektrolučna peć, flikeri

PROBLEMS OF FLICKER SEVERITY IN HOPS TRANSMISSION NETWORK

SUMMARY

The requirements for the power quality in modern power systems are becoming larger, resulting in high cost and investment towards the development and construction of new station bays and new lines in the power system. Construction of new station bays and new lines in the power systems and their impact on the power quality should be analyzed in detail, especially in case of electric arc furnaces connected to the power system. A problem of installing an electric arc furnace in the power system is described in this paper, as well as the state of flicker in the HOPS transmission network.

Key words: Power quality, electric arc furnace, flicker severity

1. UVOD

1.1. Problematika flikera

Visoki zahtjevi za kvalitetom električne energije u elektroenergetskim sustavima (EES) postavljaju se radi smanjenja negativnih učinaka različitih smetnji i poremećaja prilikom izgradnje novih dijelova EES-a. Ukoliko se radi o izgradnji novih elektrolučnih peći ili željezničke pruge, tada se uobičajeno provode studijske analize i proračuni kojima se analizira utjecaj priključenja novih dijelova mreže na kvalitetu električne energije u točki priključenja. Ukoliko je snaga kratkog spoja u točki priključenja relativno mala u odnosu na snagu elektrolučne peći, tada se u normalnom pogonu mogu očekivati nedozvoljene vrijednosti treperenja napona ili flikera, koje ne samo da uzrokuju smetnje u radu s elektroničkom opremom, već i negativno djeluju na ljudsko zdravlje.

Nije rijedak slučaj da su industrijski kompleksi željezara građeni u neposrednoj blizini elektrana, budući su za svoj rad koristili velike količine električne energije. Često su takvi elektroenergetski sustavi

građeni kao energetska otoci koji su se zbog povećanja sigurnosti napajanja i razvoja EES-a povezivali s drugim dijelovima EES-a.

S izgradnjom modernih EES-a značajno se podižu standardi u pogledu kvalitete električne energije koja za posljedicu ima dodatna financijska ulaganja kako u pogledu pojačanja mreže, tako i kroz ugradnju različitih elektroničkih uređaja kojima se nastoje ublažiti negativna povratna djelovanja elemenata EES-a, što će nužno dovesti do povećanja cijene električne energije [1].

Elektrolučne peći u svijetu najčešće se grade na industrijskom naponu 33 kV. Ovisno o tome na koji se naponski nivo priključuje postrojenje elektrolučne peći ovisi i intenzitet odnosno emisija flikera. Najmanji flikeri su u slučaju kada se u tu svrhu koristi transformacija 400/33 kV, ukoliko se radi o snagama peći od nekoliko stotina MW. Za nešto manje snage koristi se priključak na 220 kV mrežu, dok za najmanje snage peći koristi se priključak na 110 kV.

Međutim, u novije vrijeme nije rijedak slučaj da se problematika kvalitete napona u pogledu treperenja napona rješava na izvoru smetnje koristeći suvremene elektroničke uređaje koji imaju brzi odziv, reda veličine ms. Upravo je brzina odziva uređaja za potrebe kompenzacije elektrolučnih peći u pogledu smanjenja flikera najvažniji faktor kojim se ublažavaju brze i nagle promjene opterećenja na izvoru smetnje, kojim se ujedno i značajno podiže stupanj djelovanja same peći.

Za kvalitetu električne energije odgovorni su HOPS i korisnici mreže. Obveza HOPS-a je planiranje i održavanje razine kvalitete električne energije kako za postojeće, tako i za buduće korisnike mreže. Odgovornim planiranjem i razvojem EES-a nužno je zadržati razinu kvalitete električne energije na način da se buduće korisnike mreže ne dovede u neravnopravan položaj. Isto tako vrlo je važno naglasiti, ukoliko bi se narušila kvaliteta električne energije u distribucijskoj mreži izazvana problematičnim radom postrojenja priključenog na prijenosnu mrežu, tada bi se odgovornost za rješavanje problema flikera korisnika mreže mogla svaliti na HOPS. U tom slučaju bi troškovi rješavanja problema flikera mogli biti višestruko veći od troškova koje bi korisnik mreže trebao uložiti u svoje postrojenje [2]. Odabir načina tehničkog rješenja kompenzacije flikera prije svega je ekonomsko pitanje investitora izgradnje jednog takvog postrojenja. Međutim, ima situacija gdje su pojedini industrijski kompleksi izgrađeni prije nego su postroženi propisi, pa je taj problem često i problem lokalne elektroprivredne kompanije.

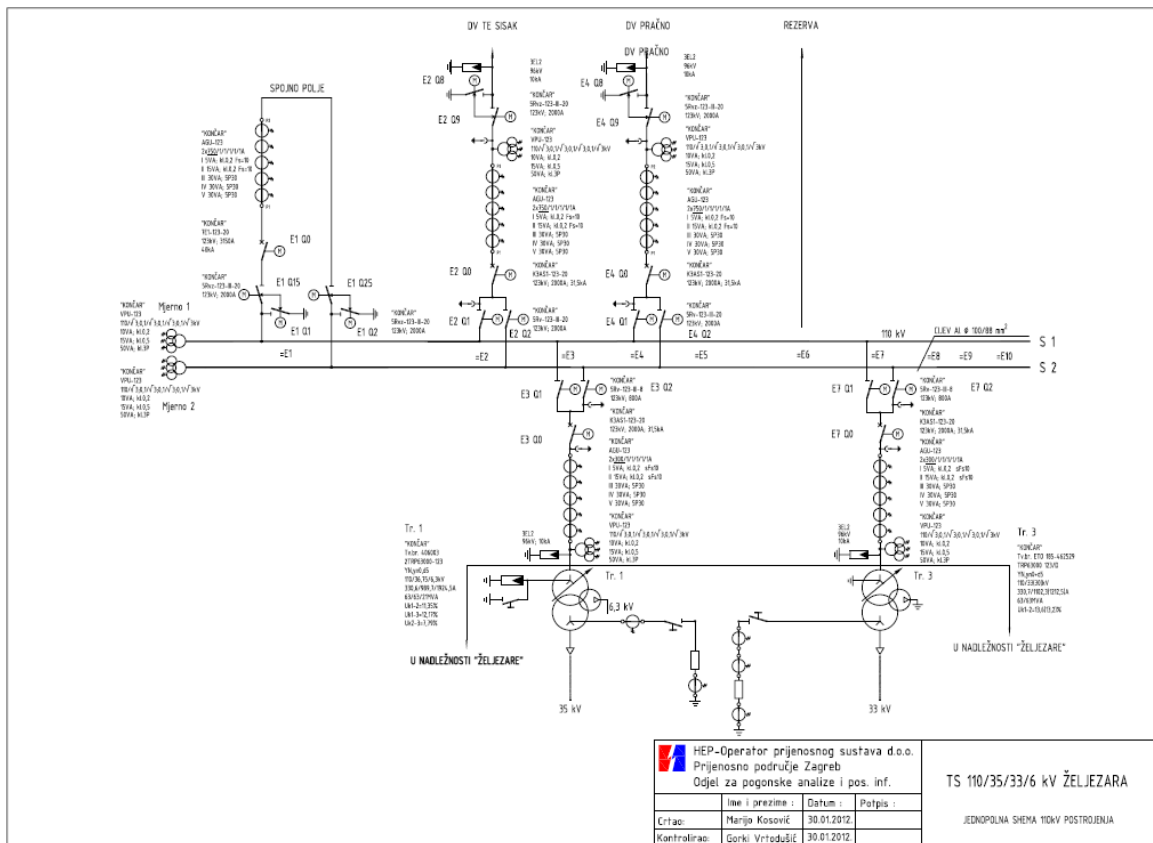
Jedno takvo postrojenje elektrolučne peći nalazi se u Sisku koje u svom radu emitira izrazito visoke vrijednosti flikera. Postrojenje je priključeno na 110 kV mrežu u kojoj je relativno mala snaga kratkog spoja. Budući da novi vlasnik ABS Sisak ima namjeru povećati snagu peći sa sadašnjih 28,8 MW, očigledno je da će se dodatno povećati i sam problem s flikerima.

Mjerenja koja su provedena tijekom pokusnog rada elektrolučne peći sukladno važećim mrežnim pravilima, kao i prema normi EN 50160:2010 ukazuju na nedozvoljene vrijednosti flikera u 95% vremena, iz čega proizlazi zahtjev za žurnim definiranjem tehničkog rješenja kompenzacije, obzirom na vrijeme koje je potrebno da bi se isto moglo realizirati. U tom pogledu mogu se očekivati dva načina rješavanja kompenzacije. Prvi način je ugradnja dinamičke kompenzacije kojom bi se vrijednost flikera dovela na dozvoljene granice. Drugi način je priključak postrojenja elektrolučne peći na naponski nivo 220 kV, što je detaljnije opisano u [3].

1.2. Elektrolučna peć u postrojenju ABS Sisak

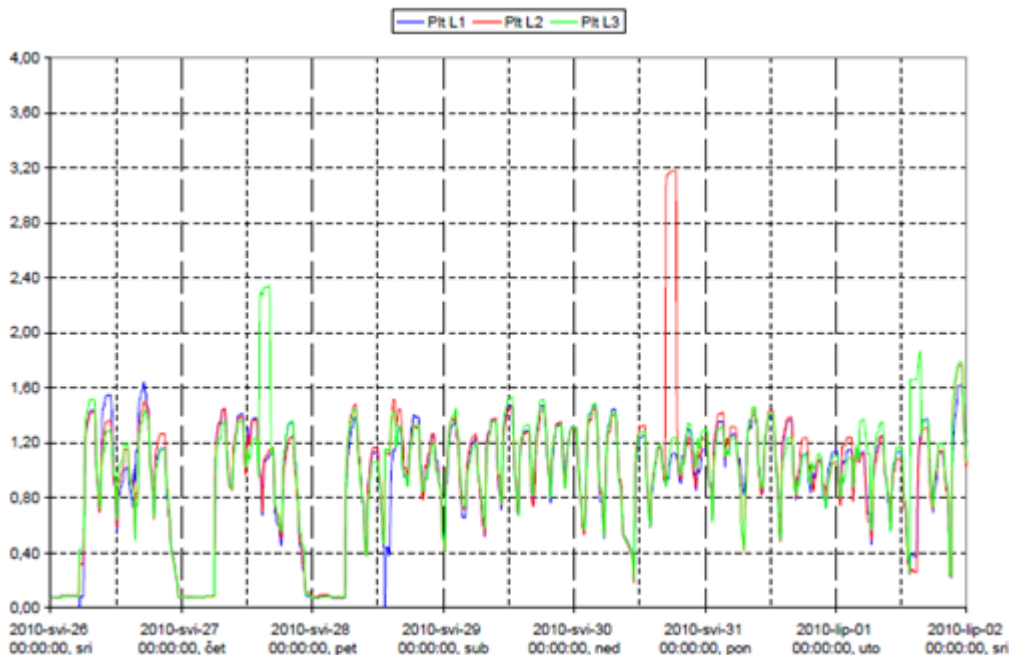
Jedno takvo postrojenje elektrolučne peći nalazi se u Sisku, u pogonu je od svibnja 2010. godine koje u svom radu s maksimalnom snagom od 28,8 MW emitira izrazito visoke vrijednosti flikera. Postrojenje je priključeno na 110 kV mrežu u TS 110/35 kV Željezara, u kojoj je snaga kratkog spoja relativno mala (2074 MVA), te su i prigušenja flikera relativno slaba. Budući da novi vlasnik ABS Sisak ima namjeru povećati snagu peći sa sadašnjih 28,8 MW, očigledno je da će se dodatno povećati i sam problem s flikerima [4].

TS 110/35/6,3 kV Željezara izgrađena je 1987. godine i povezana s EES-om s dva 110 kV dalekovoda prema TE Sisak i TS Pračno. U transformatorskoj stanici trenutno su instalirana dva energetska transformatora, TR1 snage 63 MVA i TR 3 snage 63 MVA. Objekt je u dvojnog vlasništva HOPS-a i ABS Sisak. Na slici 1. prikazana je jednopolna shema TS 110/35(33) kV Željezara.



Slika 1. Jednopolna shema postrojenja TS 110/35(33) kV Željezara

Mjerenja koja su provedena tijekom pokusnog rada elektrolyčne peći sukladno važećim mrežnim pravilima, kao i prema normi EN 50160:2010 ukazuju na nedozvoljene vrijednosti flikera. Na slici 2. prikazane su izmjerene vrijednosti jakosti dugotrajnog flikera u sedmodnevnom mjerenju kvalitete električne energije na obračunskom mjernom mjestu na TR3 u TS Željezara na 110 kV. Iz rezultata mjerenja je jasno da vrijednost dugotrajnog flikera prelazi 1 u više od 95% posto vremena tijekom 7 dana, što je granična vrijednost prema [5].



Slika 2. Vrijednosti dugotrajne jakosti flikera u TS 110/35(33) kV Željezara, svibanj 2010.

Na slici 3. prikazano je područje prijenosne mreže unutar kojeg su izmjerene nedozvoljene vrijednosti jakosti flikera, što nužno ukazuje na potrebu za rješavanjem tehničkog problema kompenzacije flikera.



Slika 3. Prikaz područja u prijenosnoj mreži HOPS-a na sisačkom području s nedozvoljenim vrijednostima jakosti flikera

U tablici I. navedene su vrijednosti jakosti flikera koje su izmjerene u okolnim trafostanicama u okruženju željezara ABS Sisak [6], iz čega je vidljivo da su vrijednosti značajno iznad dozvoljenih [7].

Tablica I. Jakosti flikera u okruženju željezara ABS Sisak

TS	$P_{st95\%}$	$P_{It95\%}$
Željezara 110 kV	1.89	1.51
TE Sisak 220 kV	0.72	0.62
Petrinja 110 kV	1.55	1.16
Međurić 110 kV	0.90	0.70
Mraclin 110 kV	0.64	0.42

U tablici II. prikazane su vrijednosti flikera izmjerene u travnju 2011., za vrijeme normalnog uklopnog stanja mreže. Tablica prikazuje vrijednost snage trolnog kratkog spoja u TS 110 kV Željezara, kao i jakosti kratkotrajnog flikera pri naponu na sabirnicama 113 kV.

Tablica II. Izmjerene vrijednosti flikera u TS Željezara pri snazi elektrolučne peći 28,8 MW pri naponu prijenosne mreže od 113 kV

Uklopno stanje mreže	Kratkotrajni fliker P_{st} 95%	Kratkotrajni fliker P_{st} 100%	Rasklopna snaga kratkog spoja S_{k3} (MVA)	Struja kratkog spoja I_{k3} (kA)	Napon na 110 kV u TS Željezara (kV)	Odstupanje P_{st} od mrežnih pravila
TS Željezara s uključenim mrežnim TR 220/110 kV bez generatora u TE Sisak	2.0	3.2	2149	10.98	113.0	$P_{st} > 4 \times P_{st_{MP}}$

U svrhu određivanja optimalnog tehničkog rješenja kompenzacije flikera u TS Željezara bivši vlasnik željezare Sisak CMC naručio je studiju za odabir rješenja dinamičke kompenzacije koja je predviđjela ugradnju dinamičke kompenzacije STATCOM snage 55 MVar [8].

Za potrebe studije obavljeni su proračuni flikera kroz simulacijski model zasnovan na modelu okolne prijenosne mreže i to za različite varijante pogonskog stanja mreže. Studija je predložila da optimalno tehničko rješenje kompenzacije flikera predstavlja ugradnju dinamičke kompenzacije STATCOM u 33 kV postrojenju elektrolučne peći.

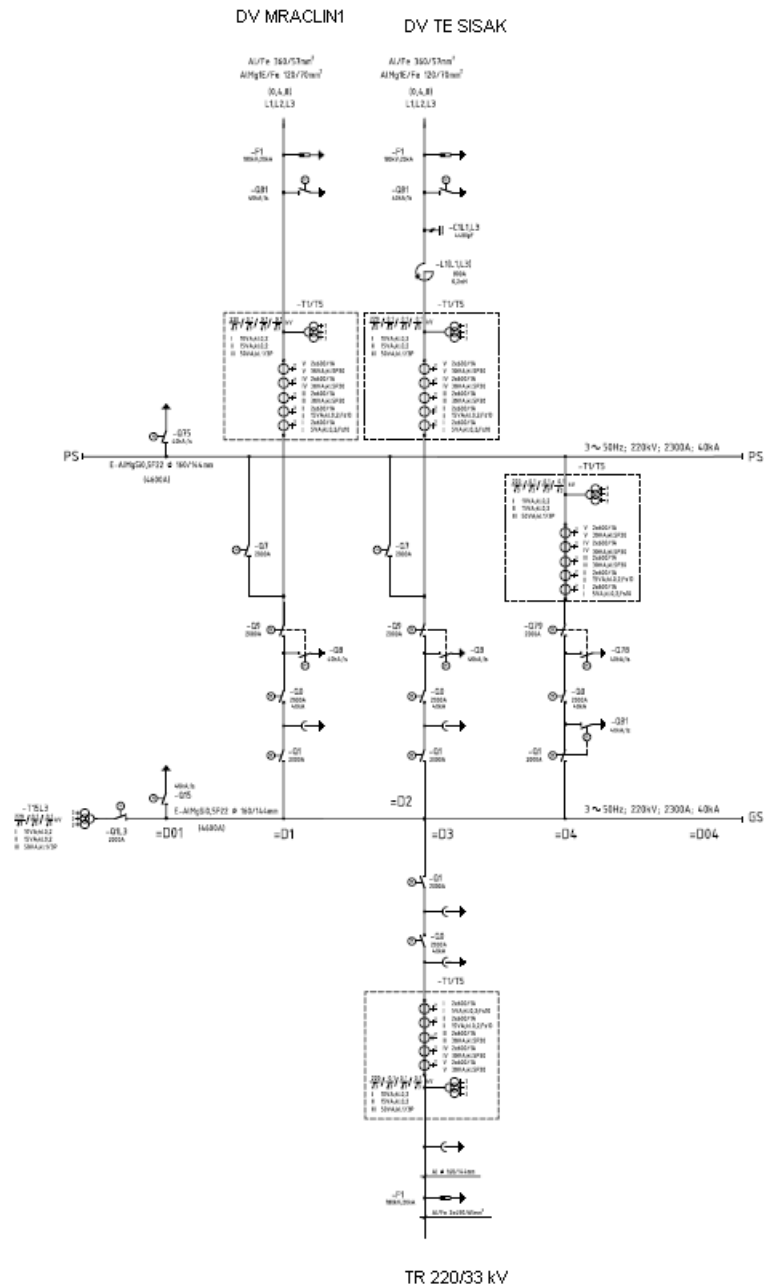
Kao alternativa tom rješenju nameće se priključak elektrolučne peći na 220 kV razinu transformacijom 220/33 kV, kojom bi se vrijednosti flikera značajno smanjile, dok bi se TS 110/35 kV Željezara mogla koristiti za potrebe HEP-a.

2. PRIKLJUČAK ŽELJEZARE ABS SISAK TRANSFORMACIJOM 220/33 kV

2.1. Uvod 220 kV dalekovoda u TS Željezara

Da bi se elektrolučna peć priključila na 220 kV razinu, potrebno je u TS Željezara dovesti napon 220 kV. Optimalno tehničko rješenje priključka može se postići uvodom DV 220 kV Mraclin-TE Sisak 1 u dužini od cca 6.3 km. Za tu svrhu potrebno je izgraditi 220 kV rasklopno postrojenje u TS Željezara s glavnim i pomoćnim sabirnicama, koje se treba sastojati od dva dalekovodna polja, 1 ili 2 transformatorska polja te spojno polje, kao što je prikazano na slici 4.

Za tu svrhu postoji raspoloživi prostor unutar kompleksa željezare ABS Sisak, kako za smještaj rasklopišta, tako i za koridor dvostrukog priključnog dijela 220 kV dalekovoda.



Slika 4. Prijedlog jednopolne sheme RP 220 kV Željezara

Gledajući s aspekta sniženja jakosti flikera, priključkom željezare ABS Sisak na 220 kV razinu može se očekivati sniženje flikera za faktor 2. Obzirom da se za ugrađenu elektrolučnu peć u II fazi rada očekuje povećanje snage na 43.5 MW, napravljena je analiza utjecaja priključenja elektrolučne peći transformacijom 220/33 kV u TS 220/110/35/33 kV Željezara na sniženje jakosti flikera, uz uvod DV 220 kV Mraclin-TE Sisak 1 u TS Željezara i uvod DV 220 kV Mraclin-Prijedor u TE Sisak. Rezultati analize prikazani su u tablici III.

Tablica III. Rezultati analize priključka željezare ASB Sisak transformacijom 220/33 kV u TS Željezara pri snazi elektrolučne peći 43,5 MW, uz uvod DV 220 kV Mraclin-TE Sisak 1 u TS Željezara i uvod DV 220 kV Mraclin-Prijedor u TE Sisak

Ukupno stanje prijenosne mreže	Dugotrajni fliker P_{It} 100%	Rasklopna snaga kratkog spoja S_{k3} (MVA)	Struja kratkog spoja I_{k3} (kA)	Napon na 220 kV u TS Željezara (kV)	Odstupanje Pst od mrežnih pravila
TS 220/110/35/33 kV Željezara s uz uvod DV 220 kV Mraclin-TE Sisak 1 u TS Željezara i uvod DV 220 kV Mraclin-Prijedor u TE Sisak	1.42	3171	8.3	220	$P_{It} > 1.7 \times P_{ItMP}$

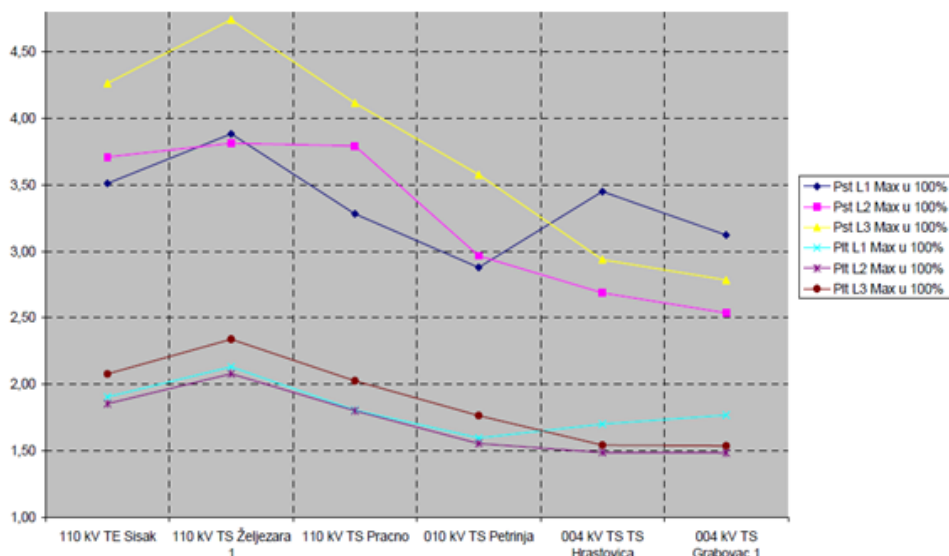
Na temelju analize rezultata vidljivo je da bi priključak elektrolučne peći transformacijom 220/33 kV u TS Željezara značajno utjecao na sniženje jakosti flikera. Obzirom na činjenicu da su naponske prilike u 220 kV mreži takve da se mogu očekivati povišeni naponi u mreži (viši od nazivnih 220 kV), to će i izmjerene vrijednosti flikera biti zasigurno veće.

U prijedlogu promjena mrežnih pravila stoji da će se flikeri razmatrati unutar 95% vremena (kao i u [5]), čime bi se uvjeti priključka željezare ABS Sisak na 220 kV razinu, obzirom na problematiku flikera značajno ublažili, ali ne u tolikoj mjeri da bi zadovoljili zakonske propise. Stoga se može pretpostaviti da bi za konačno stanje kompenzacije flikera na sisačkom području trebalo dodatno ugraditi dinamičku kompenzaciju SVC, kojom bi se ujedno povećao faktor snage elektrolučne peći.

2.2. Problematika prigušenja flikera

Flikeri se od izvora smetnje širi kroz prijenosnu i distribucijsku mrežu. Prigušenja su relativno slaba u okolnoj prijenosnoj i distribucijskoj mreži. Prigušenja su veća što smo više udaljeni od izvora smetnje.

Tijekom srpnja 2011. obavljena su mjerenja jakosti flikera za vrijeme rada elektrolučne peći sa snagom 28,8 MW, uz isključeno RP 220 kV u TE Sisak. Ukupno stanje 220 kV mreže bilo je uspostavljeno provizornim spojem DV 220 kV Međurić-Mraclin neposredno ispred rasklopišta u TE Sisak, tako da su uvjeti u mreži bili izvanredni. Mjerenja su provedena u 110 kV prijenosnoj mreži, te okolnoj 10 kV i 0,4 kV distribucijskoj mreži na području Siska i Petrinje, s ciljem utvrđivanja realne slike prigušenja flikera. Na slici 5. prikazane su vrijednosti kratkotrajnog i dugotrajnog flikera za određene točke u EES-u u 100% vremena mjerenja, sukladno Mrežnim pravilima. Obzirom na neraspoloživost 220 kV RP u TE Sisak očekivano su vrijednosti flikera bile značajno veće od prethodno izmjerenih [6].



Slika 5. Prikaz rezultata mjerenja jakosti flikera u okruženju TS Željezara, srpanj 2011.

Sa slike je vidljivo relativno slabo prigušenje jakosti flikera od izvora smetnje do krajnje točke na 0,4 kV. U tablici IV. prikazane su vrijednosti prigušenja jakosti flikera za različite naponske razine.

Tablica IV. Prikaz faktora prigušenja flikera u prijenosnoj i distribucijskoj mreži

KOEFICIJENT PRIJENOSA KRATKOTRAJNOG FLIKERA T_{PstAB} IZMEĐU RAZLIČITIH NAPONSKIH RAZINA	IZNOS	NAPONSKE RAZINE
$T_{Pst95\%Pračno-Petrinja} = \frac{Pst95\%Petrijnja}{Pst95\%Pračno}$	L1 – 0,88 L2 – 0,87 L3 – 0,87	110 kV – 10 kV
$T_{Pst95\%Petrijnja-Hrastovica} = \frac{Pst95\%Hrastovica}{Pst95\%Petrijnja}$	L1 – 0,96 L2 – 0,96 L3 – 0,93	10 kV – 0,4 kV (početak izvoda)
$T_{Pst95\%Petrijnja-Banski Grabovac 1} = \frac{Pst95\%Banski Grabovac 1}{Pst95\%Petrijnja}$	L1 – 0,98 L2 – 0,97 L3 – 0,92	10 kV – 0,4 kV (kraj izvoda)
$T_{Pst95\%Pračno-Hrastovica} = \frac{Pst95\%Hrastovica}{Pst95\%Pračno}$	L1 – 0,85 L2 – 0,84 L3 – 0,81	110 kV – 0,4 kV (početak izvoda)
$T_{Pst95\%Pračno-Banski Grabovac 1} = \frac{Pst95\%Banski Grabovac 1}{Pst95\%Pračno}$	L1 – 0,87 L2 – 0,84 L3 – 0,80	110 kV – 0,4 kV (kraj izvoda)

3. PROBLEMATIKA FLIKERA U MREŽI HOPS-a

Osim vrlo složene situacije s izraženo visokim vrijednostima flikera na sisačkom području, u prijenosnoj mreži HOPS-a nailazimo na sličan problem na splitskom području gdje se nalazi još jedna elektrolučna peć. U ovom slučaju radi se o elektrolučnoj peći snage 25 MW, koja je priključena u TS Meterize [9].

U tijeku je izrada preliminarne analize izgradnje novih 6 elektrovučnih podstanica za potrebe nove pruge visoke učinkovitosti između Rijeke i Zagreba, za koju se također očekuje problem s nedozvoljenim vrijednostima jakosti flikera. Najveći problemi se očekuju na području EVP Oštarije, gdje se planira ugradnja dinamičke kompenzacije, koja bi kompenzirala kako problem nedozvoljene strujne i naponske nesimetrije, tako i problem nedozvoljenih vrijednosti flikera. U tu svrhu provoditi će se detaljna studijska istraživanja.

4. ZAKLJUČAK

Problematiku kvalitete napona u pogledu kompenzacije flikera na sisačkom području nužno je riješiti radi nedozvoljenih vrijednosti koje višestruko prelaze dozvoljene vrijednosti kako prema Mrežnim pravilima [7], tako i prema normi EN 50160:2010, [5]. Izgradnjom priključka 220 kV u TS Željezara uz rješenje kompenzacije flikera omogućava se također korištenje TS za potrebe HEP-a. Izgradnjom novih dijelova EES-a svakako će se morati posvetiti dužna pažnja osiguranju kvalitete električne energije, s posebnim osvrtom na rješavanje problematike nedozvoljenih vrijednosti flikera.

5. LITERATURA

- [1] R. Cai: "Flicker interaction studies and flickermeter improvement", Eindhoven University of Technology, Netherlands, ISBN 978-90-386-1842-5, June, 2009
- [2] J. F. G. Cobben: "Power Quality Implication at the Point of Connection, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, the Netherlands, ISBN: 978-90-386-1030-6, 2007.

- [3] R. Vlajčević, „Povećanje sigurnosti napajanja i postizanja povoljnijih vrijednosti treperenja napona u prijenosnoj mreži“, Magistarski rad, FER Zagreb, studeni 2011.
- [4] R. Vlajčević, S. Čurlin: “Rekonstrukcija TS 110/35(33)/6.3 kV Željezara i izgradnja novog 33 kV postrojenja elektrolučne peći u CMC Sisak”, 9. Simpozij o sustavu vođenja EES-a, HRO CIGRE, Zadar, 2010.
- [5] EN 50160: (2010), "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", CENELEC, July 2010.
- [6] M. Lasić, A. Tomasović: “Mjerenja opterećenja i kvalitete napona na lokaciji CMC Sisak i u okolnoj prijenosnoj elektroenergetskoj mreži nakon prve faze dogradnje pogona nove elektrolučne peći“, Izvještaj o ispitivanju, Končar Institut za elektrotehniku, Zagreb, lipanj 2010.
- [7] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, NN 36/06.
- [8] V. Ravlić, I. Pavić, B. Đikić: „Tehničko rješenje dinamičke kompenzacije flikera u 110 kV mreži na lokaciji CMC Sisak d.o.o.“, Ravel d.o.o., Zagreb, listopad 2010.
- [9] M. Jadrić, B. Terzić, G. Petrović: “Analiza utjecaja nove elektrolučne peći čeličane „CMC Sisak“ na kvalitetu napona u točki priključka“, FESB Split, veljača 2009.