

# Načrtovanje razvoja omrežja na ZGK Ravne

Matjaz Bobnar<sup>1</sup>, Igor Papič<sup>1</sup>, Jurij Bizjak<sup>2</sup>, Boštjan Blažič<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Petrol Energetika d. o. o., Koroška cesta 14, 2390 Ravne na Koroškem, Slovenija

E-pošta: matjaz.bobnar@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** V članku je prikazan postopek izdelave razvojnega načrta na primeru zaključenega gospodarskega kompleksa (ZGK) Ravne za 10-letno obdobje. V prvem delu so podana splošna izhodišča za načrtovanje omrežij, kjer so opisani cilji načrtovanja, metodologija in tehnični ter ekonomski kriteriji, po katerih načrtujemo razvoj elektroenergetskih omrežij. V nadaljevanju je opisano trenutno stanje omrežja ZGK Ravne. Na podlagi meritev v že izvedenih študijah je povzeto stanje kakovosti električne energije, kjer smo se osredotočili zlasti na fliker in harmonsko popačenje. V naslednjem koraku smo izdelali simulacijski model ZGK Ravne v programu DIgSILENT PowerFactory. V zadnjem delu smo na podlagi splošnih kriterijev načrtovanja predlagali načrte razvoja za ZGK Ravne. Upoštevali smo trenutno stanje v omrežju (obremenitve, kakovost električne energije), starost posamičnih elementov, predvidene rekonstrukcije in naraščanje porabe električne energije. Izdelan je bil terminski plan za obdobje 2011–2020. Obravnavana je bila še problematika kompenzacije jalove energije.

**Ključne besede:** fliker, kakovost preskrbe z električno energijo, kompenzacija jalove energije, razvoj distribucijskega omrežja.

## Planning the development of the electricity grid at the steelworks Ravne

The paper presents the process of planning the development of the distribution network at the steelworks Ravne for a 10-year period. In the first part we give a general starting point for network planning, where we describe the planning objectives, methodology and technical and economic criteria by which electricity networks are developed. Next, the current state of network Ravne (topology, equipment, consumption) is described. Based on the measurements the situation of power quality is summarized, where we particularly focus on the flicker and harmonic distortion. In the next step, we made a simulation model of the factory distribution network in the program DIgSILENT PowerFactory. Based on general planning criteria a development plan for the factory is proposed in the last part. We considered the current state of the network (load, power quality), age of individual items, expected reconstruction and growth in electricity consumption. We have developed a schedule for the time period of 2011–2020.

## 1 UVOD

Temeljni namen načrtovanja razvoja elektroenergetskih omrežij je zagotoviti ustrezno kakovost električne energije in zanesljivosti dobave v prihodnjem obdobju, in sicer tako obstoječim kot tudi novim porabnikom, ki bodo na omrežje šele priključeni [1]. Glavne cilje načrtovanja lahko strnemo v nekaj točk:

- ugotoviti potrebne ojačitve in posodobitve omrežja, s katerimi bomo lahko zagotovili nemoteno preskrbo in ustrezno kakovost električne energije ob naraščajoči obremenitvi in ob upoštevanju staranja elementov omrežja,

- omogočiti tehnično in ekonomsko optimalen razvoj omrežja, s čimer dosežemo ustrezno raven preskrbe ob najnižjih stroških,
- določiti potrebno dimenzioniranje naprav za njihovo čim boljše izkoriščenost,
- določiti optimalen terminski plan razvoja omrežja.

Glavni podatki, potrebni za izdelavo razvojnega načrta, so zlasti podatki o obstoječem stanju omrežja, ki obsegajo topologijo omrežja, podatke o elementih omrežja in podatke o obremenitvah v omrežju ter napoved obremenitve, ki podaja napoved pričakovane obremenitve omrežja za obdobje, ki ga obravnava razvojni načrt.

Ključnega pomena za izdelavo razvojnega načrta so še metode, ki jih uporabljamo za analizo obratovalnih stanj, zanesljivosti napajanja porabnikov in ekonomsko analizo, ter kriteriji načrtovanja, ki podajajo mejne vrednosti, ki ne smejo biti presežene, če želimo zagotoviti ustrezno kakovost in neprekinjenost dobave električne energije in optimalen razvoj omrežja.

Glede na opisano metodologijo vidimo, da tvori napovedovanje porabe izhodišče za izdelavo načrta razvoja. Pri napovedovanju porabe so ključne informacije o načrtovanih povečanjih porabe (npr. širitve proizvodnje, novi porabniki), kjer takih informacij ni na voljo, pa se lahko uporabijo tudi statistične metode napovedovanja. Statistične metode zajemajo tako statistično obdelavo podatkov odjema na določenem mestu kot tudi npr. upoštevanje napovedi o rasti obremenitev v določeni panogi.

Poleg osnovnih ciljev načrtovanja omrežja je v obravnavanem primeru ključno natančno obravnavanje sistema kompenzacije jalove energije in flikerja. Kompenzacija jalove energije je kritična pri velikih industrijskih porabnikih, predvsem zaradi možnosti nastanka resonanc in posledično ojačenja harmonikov, fliker pa je posledica specifične obratovanja obločnih peči in ga je nujno upoštevati pri načrtovanju omrežja, saj vpliva na porabnike v širokem območju.

## 2 KRITERIJI NAČRTOVANJA RAZVOJA ELEKTROENERGETSKEGA OMREŽJA

Kot smo že omenili, želimo z načrtovanjem razvoja elektroenergetskega omrežja v prihodnosti omogočiti nemoteno napajanje porabnikov in zagotoviti ustrezno raven kakovosti električne energije. Obenem želimo tudi, da se omrežje ekonomsko optimalno razvija. Tako lahko kriterije načrtovanja razdelimo v skupini tehničnih in ekonomskih kriterijev; v nadaljevanju bodo predstavljeni tehnični kriteriji, to so zanesljivost napajanja, kakovost električne napetosti in dopustno obremenjevanje elementov omrežja [1].

### 2.1 Zanesljivost napajanja

Zanesljivost napajanja je pomemben dejavnik, saj je vsak izpad električne energije povezan s finančno izgubo, v določenih primerih pa lahko tudi kvarno vpliva na delovanje določenih porabnikov.

Prekinitve napajanja lahko delimo na načrtovane in naključne. S stališča porabnika sta pomembna število in trajanje prekinitev, zato se lahko kot kriteriji zanesljivosti napajanja uporabijo naslednji parametri: število trajnih naključnih prekinitev na leto, število kratkotrajnih naključnih prekinitev na leto in skupno trajanje naključnih prekinitev v letu. Pri določanju zanesljivosti napajanja načrtovanega omrežja moramo poznati: topologijo sistema, vgrajene stikalne elemente, podatke o delovanju zaščitnih naprav, podatke o zanesljivosti posameznih elementov (oz. pogostnost odpovedi), ki jo podajajo statistično določene vrednosti (npr. za transformator, vod, odklopnik ...), delež trajnih odpovedi in delež prehodnih odpovedi, čas odpravljanja okvare, čas zagotovitve rezervnega napajanja in čas avtomatskega ponovnega vklopa.

Škodo, ki nastane zaradi izpadov električne energije, lahko zmanjšamo s pravilnim sekcioniranjem omrežja.

### 2.2 Kakovost napetosti

Kakovost električne energije oz. kakovost napetosti je ključnega pomena za pravilno delovanje porabniških naprav. Po naši zakonodaji mora kakovost napetosti ustrezati določilom standarda SIST EN 50160 [2]. Opredeljuje elektromagnetne motnje v nizkonapetostnem (NN) in sredjenapetostnem (SN) omrežju na odjemnem mestu, kjer se srečujeta odjemalec in javno razdelilno omrežje.

### 2.3 Pojav resonance v omrežju

Pri načrtovanju omrežja moramo biti posebej pozorni tudi na možnost resonančnih razmer v sistemu. Vsa električna vezja, ki vsebujejo člene z induktivnim in kapacitivnim karakterjem, imajo eno ali več resonančnih frekvenc. Pri resonančni frekvenci lahko doseže impedanca sistema zelo visoke ali zelo nizke vrednosti, kar povzroči ojačenje tokovnih in napetostnih harmonskih komponent. Če ima npr. omrežje v bližini harmonske frekvence  $\omega_h$  visoko impedanco, lahko že majhna harmonska komponenta bremenskega toka pri tej frekvenci povzroči visoko harmonsko komponento napetosti. Podobno velja za napetost.

Pojav resonance je zlasti pereč pri vgradnji kondenzatorjev za kompenzacijo jalove energije. Resonančna frekvenca sistema praviloma upada z večanjem moči kompenzatorja in z nižanjem resonančne frekvence uglašene (tj. filterskega) kompenzatorja. Medtem ko so resonančne frekvence odvisne od induktivnosti in kapacitivnosti v sistemu, je sama velikost impedance pri resonanci odvisna od ohmske komponente elementov sistema.

Impedančne frekvenčne karakteristike je treba določiti pred vsako vgradnjo kondenzatorske kompenzacije v sistem. Upoštevati moramo še, da sprememba topologije ali elementov omrežja (zamenjava transformatorja, kratkostična moč ...) vplivajo na frekvenco resonance. Pozorni moramo biti tudi na bremena, ki so vir harmonikov, saj lahko povzročijo visoko harmonsko popačenje v omrežju.

### 2.4 Obremenjevanje elementov omrežja

Pri dopustnem obremenjevanju elementov elektroenergetskega omrežja bomo posebej obdelali obremenjevanje vodov, obremenjevanje transformatorjev in dopustne padce napetosti v omrežju. Nadzemne in kabelske vode lahko obremenimo največ do meje njihove termične obremenljivosti. Termično obremenljivost določa maksimalna temperatura, pri kateri vodnik lahko obratuje brez trajnih posledic na prevodnem vodniku in na izolaciji.

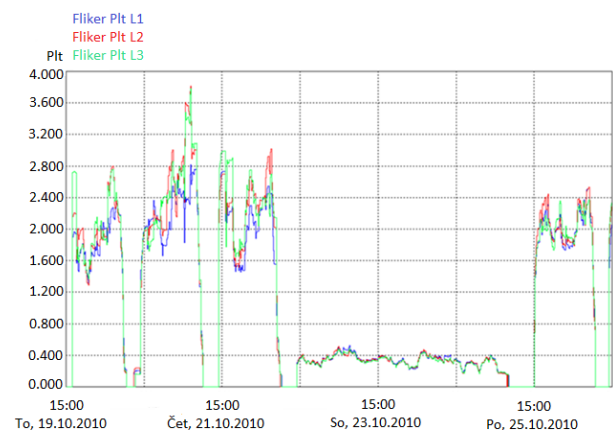
Pomembna dejavnika, ki ju moramo upoštevati pri obremenjevanju vodov, so izgube v vodniku in padci napetosti. Zaradi relativno velikih izgub je obratovanje vodnikov na njihovi termični meji dopustno le pri zagotavljanju rezervnega napajanja. Zaradi omejevanja izgub naj v normalnih obratovalnih razmerah obremenitve ne presegajo:

- pri nadzemnih vodih 50 % termične meje,
- pri kabelskih vodih 75 % termične meje.

V rezervnih obratovalnih stanjih lahko vode obremenimo do termične meje, če padci napetosti to dopuščajo.

Transformator je lahko trajno obremenjen s svojo nazivno močjo, če pri tem temperatura transformatorja ne preseže maksimalne dovoljene nadtemperature. Upoštevati moramo, da se nazivni podatki podajajo pri





Slika 3: Potek vrednosti dolgotrajnega flikerja zbiralke 110 kV

### 3.3 Kompenzacija jalove energije

Pri kompenzaciji jalove energije sta pomembna vsaj dva vidika. Prvi je zadostnost kompenzacije, torej ustrezna velikost in fleksibilnost kompenzatorjev, ki omogoča vzdrževanje ustreznega  $\cos\phi$ , drugi pa ustrezna konfiguracija kompenzatorjev, ki preprečuje ojačenje značilnih harmonskih komponent v omrežju.

## 4 SIMULACIJE OBRATOVANJA ZGK RAVNE

Obratovanje ZGK Ravne je bilo analizirano s pomočjo programskega paketa DIGSILENT PowerFactory[5], ki na podlagi izračunov vrednosti tokov in napetosti v omrežju ter z njimi povezanih veličin v statičnih razmerah omogoča načrtovanje in analizo elektroenergetskih omrežij. S pomočjo simulacijskega modela ZGK Ravne smo preverili pretoke moči po posameznih vodih, padce napetosti, ki nastanejo pri največjih obremenitvah, obremenitev vodov in transformatorjev glede na njihovo termično mejo oz. nazivno moč.

Pri simulaciji smo uporabili razpoložljive električne parametre kablovodov, transformatorjev in podatke o maksimalnem odjemu moči na posameznih odjemnih mestih. S pomočjo poznanih prenosnih sposobnosti kablov in transformatorjev smo poleg napetosti in pretokov moči prikazali še obremenjenost elementov glede na njihovo prenosno sposobnost oziroma maksimalno obremenljivost, ki jo določa termična meja. Ker je situacija, ko vsa bremena obratujejo pri maksimalni moči, malo verjetna, smo izvedli še simulacijo z upoštevanjem zmanjšane obremenitve. Pri tej simulaciji smo določili obremenitve glavnih napajalnih transformatorjev v ZGK Ravne.

Omrežje ZGK Ravne je v normalnem obratovanju napajano radialno. V simulacijah smo upoštevali radialno napajanje porabnikov (odprta zanka), preverili pa smo tudi rezervna obratovalna stanja (žarkasto napajanje).

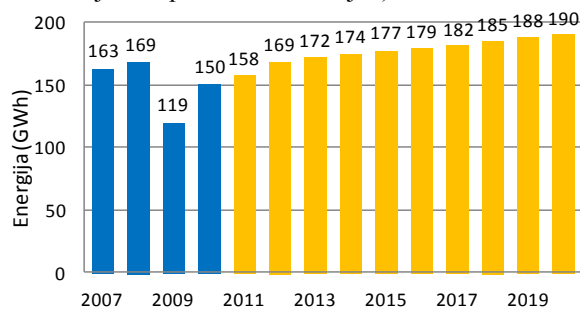
### 4.1 Izvedba tretjega sektorja zbiralk

Proučena je bila tudi izvedba tretjega sektorja zbiralk v RTP Železarna Ravne (Sistema III) na 20 kV napetostnem nivoju. V simulacijah smo skušali

predvsem ugotoviti, kako izvedba Sistema III vpliva na nivoje harmonikov in na fliker. Vir flikerja je predvsem obločna peč, viri harmonikov pa so tako obločna peč kot tudi pretvorniški pogoni, priključeni na Sistem I. Ugotovili smo, da je skupno harmonsko popačenje (*Total Harmonic Distortion*, THD) Sistema III približno 3-krat manjše od popačenja Sistema II. Naj še enkrat poudarimo, da je harmonsko popačenje močno odvisno od impedance sistema, ki je pogojena tudi s kompenzatorji jalove energije. Fliker Sistema II in Sistema III je približno enak in se iz napetostnega nivoja 110 kV malo spremeni. Nekatera bremena na 20 kV lahko povzročijo tudi manjše povečanje flikerja, medtem ko direktno priključeni motorji načeloma fliker nekoliko zmanjšajo.

### 4.2 Analiza rasti odjema ZGK Ravne

Pri ocenjevanju bodoče porabe električne energije predvidevamo, da se bo poraba v prihodnjih letih povečevala in se predvidoma v letu 2012 vrnila na vrednost iz leta 2008 (pred gospodarsko krizo). Po tem letu je rast porabe električne energije ocenjena z 1,5-odstotno letno rastjo, kar prikazuje slika 4. Podobno ocenjujemo tudi rast konične odjemne moči, to je 1,5 % leto. V bližnji prihodnosti (po ocenah nekje med letoma 2013 in 2014) se predvideva gradnja nove TP EPŽ III, kamor bosta priključeni obstoječi EPŽ peči (elektro pretaljevanje pod žlindro), ki sta daj priključeni na TP Nova jeklarna, in še dve dodatni EPŽ peči, vsaka z močjo 2,4 MVA. V napovedih smo zaradi tega v letu 2013 in 2014 konično odjemno moč delovne moči dodatno povečali, v vsakem letu po 2,27 MW (kot je bilo ocenjeno v predhodnih študijah).



Slika 4: Skupna poraba delovne energije na območju ZGK Ravne (dosedanja in predvidena)

Prav tako smo v omenjenih letih povečali odjem energije, vsako leto po 2,3 GWh, kar ustreza obratovanju peči s 1000 delovnimi urami na leto.

### 4.3 Simulacije ob povečani obremenitvi (2020)

S pomočjo simulacijskega modela ZGK Ravne smo preverili obremenjenost elementov omrežja ob povečani obremenitvi kot posledici širjenja proizvodnje v ZGK Ravne. Simulirali smo napovedano stanje za leto 2020, kjer glede na leto 2010 predvidevamo 1,5-odstotno letno rast porabe električne energije in moči za vsa obstoječa bremena na celotnem območju ZGK Ravne, razen za

UHP, VPP in EPŽ peči. Dodatno upoštevamo tudi predvideno povečanje porabe zaradi novih bremen (dveh EPŽ peči) in novo topologijo, ki predvideva novo TP EPŽ III ter prehod TP Kisikarna na 20 kV nivo. Pri simulacijah v nobenem scenariju ni prišlo do čezmernih vrednosti.

## 5 NAČRT RAZVOJA ZGK RAVNE

V načrtu razvoja ZGK Ravne smo podali predvidene in priporočljive posodobitve omrežja, ki bodo pripomogle k zanesljivemu in učinkovitemu obratovanju omrežja na ZGK Ravne.

### 5.1 Kabelske povezave in glavni transformatorji

Priporočene posodobitve omrežja so zasnovane predvsem na starosti in življenjski dobi elementov omrežja ter na rezultatih simulacij, ki nakazujejo obremenitve posameznih kablov in transformatorjev.

Rezultati simulacij kažejo, da transformatorji in kabli v normalnih obratovalnih razmerah niso preobremenjeni. V rezervnih obratovalnih stanjih sicer nekatere povezave dosegajo večje obremenitve (do 100 % termičnega toka), vendar v teh primerih ne gre za trajno obratovanje. Poleg tega smo pri določanju obremenitve kablov upoštevali maksimalne moči bremen.

Glavni problem pri kabelskih vodih je starost. Problematični so zlasti oljni kabli, ki so stari približno 40 let in zahtevajo relativno drago vzdrževanje.

Pri transformatorjih je problematična zlasti starost transformatorjev TR I, TR II, TR III, TR V in TR VI, ki so na koncu pričakovane življenjske dobe. Ker gre za

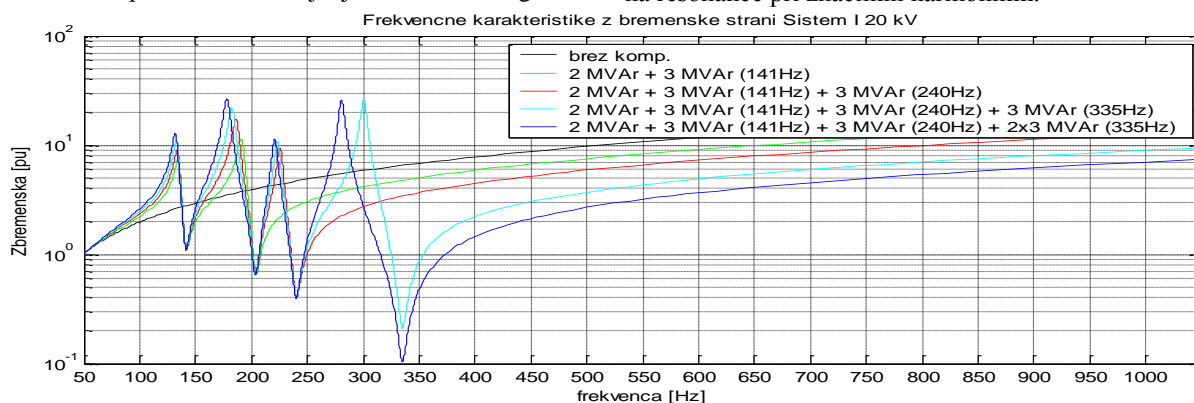
transformatorje, ki so v rezervi, lahko pričakujemo, da bo tudi njihova življenjska doba daljša od pričakovane.

### 5.2 Koncept pametnega omrežja

Eden glavnih ciljev razvoja elektroenergetskih sistemov v prihodnosti je vpeljava koncepta pametnih omrežij (SmartGrid). V zagotavljanje zanesljivega in učinkovitega obratovanja takšnih omrežij se bodo lahko aktivno vključevali tako proizvajalci električne energije kot tudi bremen. Novi izzivi bodo obvladljivi le s pomočjo nadaljnje avtomatizacije omrežja, z informacijskim povezovanjem elementov omrežja in z vpeljavo sodobnih kompenzacijskih ukrepov. Uvajanje informacijskih tehnologij in večja avtomatizacija omrežja bosta omogočila večjo fleksibilnost in učinkovitost obratovanja omrežja.

### 5.3 Kompenzacija jalove energije

Zaradi nepredvidljivosti obratovanja kompenzatorjev na 0,4 kV in možnosti nastopanja resonančnih točk v širokem frekvenčnem spektru mora kompenzacija izboljšati impedančne razmere pri frekvencah značilnih harmonikov, ki so v omrežju ZGK Ravne najbolj zastopani. Možna rešitev vključuje filternski kompenzator s štirimi stopnjami moči 3 MVar, pri čimer je ena stopnja ušlaena na frekvenco 141 Hz, druga na frekvenco 240 Hz ter dve stopnji na frekvenco 335 Hz. Resonančne točke, gledano z bremenske strani 20 kV zbiralk Sistem I (slika 5), se nahajajo pri frekvencah, kjer harmoniki ne nastopajo, pri čemer kompenzatorji na 0,4 kV napetostnem nivoju nimajo bistvenega vpliva na resonance pri značilnih harmonikih.



Slika 5: Frekvenčna karakteristika impedance omrežja z zbiralk 20 kV

### 5.4 Kompenzacija flikerja

Pri rešitvah za kompenzacijo flikerja smo upoštevali tudi možnost priključitve dodatne peči moči 70 MVA v jeklarni Ravne. Tako rekoč edina celovita rešitev, ki nam omogoča ustrezno znižanje flikerja, je priključitev jeklarne Ravne na 220 kV napetostni nivo [6]. Prikllop obločnih peči jeklarne Ravne na napetostni nivo 220 kV reši problem flikerja na območju Koroške in dela Štajerske. Skupno obratovanje peči 36 MVA in 70 MVA kljub temu brez dinamične kompenzacije ni

sprejemljivo. Sprejemljivo je samostojno obratovanje peči 36 MVA in skupno obratovanje obeh peči ob uporabi SVC. Na meji sprejemljivega je samostojno obratovanje peči 70 MVA brez dinamične kompenzacije, kar povzroča dvig flikerja v prenosnem omrežju Slovenije in v Avstriji. Nivo flikerja nove peči je odvisen od izvedbe in obratovanja peči [6]. Rezultati so podani v tabeli 1, kjer rezultati I pomeni obstoječe stanje, II priklop peči 70 MVA na 220 kV sistem, III priklop peči 36 MVA na 220 kV sistem in IV priklop

peči 36 MVA, 70 MVA in SVC (statični var kompenzator) na 220 kV.

Tabela 1: Vrednosti flikerja ob priključitvi jeklarne Ravne na 220 kV

RTP	Nap. nivo (kV)	I. Ravne 36 MVA	II. Ravne 70 MVA	III. Ravne 36 MVA	IV. Ravne SVC+36+70 MVA
Žel. Jesen.	110	7,17	7,04	7,16	6,94
Moste	110	1,52	1,58	1,55	1,41
Žel. Ravne	110	3,24	5,04	3,16	3,92
Žel. Štore	110	1,24	1,20	1,14	1,23
Okroglo	110	1,53	1,59	1,56	1,41
Kleče	110	1,09	1,16	1,11	0,99
Beričevo	110	0,86	0,94	0,88	0,77
Lj. Center Slovenj Gradec	110	0,91	0,98	0,93	0,82
Podlog	110	0,93	0,85	0,76	0,85
Pekre	110	0,74	0,44	0,37	0,40
Hudo	110	0,50	0,53	0,47	0,48
Divča	110	0,23	0,27	0,25	0,21
Beričevo	220	0,60	0,74	0,65	0,56
Podlog	220	0,45	0,76	0,59	0,59
Kleče	220	0,59	0,71	0,64	0,54
Beričevo	400	0,60	0,73	0,65	0,56
Podlog	400	0,45	0,67	0,54	0,50
Okroglo	400	0,71	0,83	0,75	0,64
Obersielach (AT)	400	0,27	0,58	0,42	0,45
Obersielach (AT)	220	0,25	0,80	0,55	0,62

## 6 SKLEP

Cilj študije je bil izdelati razvojni načrt za ZGK Ravne za 10-letno obdobje in v tem okviru določiti terminskega plana izvedbe posameznih investicij ter njihovo finančno ovrednotenje.

V začetku študije so bila podana splošna izhodišča za načrtovanje razvoja omrežij. Opisani so bili cilji načrtovanja, metodologija in tehnični ter ekonomski kriteriji, po katerih načrtujemo razvoj elektroenergetskih omrežij.

Obratovanje ZGK Ravne je bilo analizirano s pomočjo programskega paketa DIgSILENT PowerFactory. S pomočjo modela smo proučili pretoke moči, obremenitve vodov in transformatorjev ter določili padce napetosti v omrežju. Pri določenih vodih smo videli, da so neustrezni, zato smo predlagali nove. Poleg normalnega obratovalnega stanja je bila preverjena tudi obremenjenost nekaterih vodov in transformatorjev v rezervnih obratovalnih stanjih. V poročilu sta bili ocenjeni tudi rast porabe električne energije in konične moči za 10-letno obdobje. Osredinili smo se tudi na fliker in kompenzacijo jalove energije. Pri kompenzaciji je treba posebno pozornost nameniti

dimenzioniranju filtrskih dušilk kompenzatorjev, saj lahko v nasprotnem primeru pride do ojačenja harmonikov v omrežju porabnika. Glede flikerja smo proučili več scenarijev in ugotovili, da je edina celovita rešitev priklop jeklarne na 220 kV napetostni nivo, kar bi omogočilo tudi nadaljnjo širitev proizvodnje.

V zadnjem delu študije so bili predlagani načrti razvoja za ZGK Ravne. Velik del investicij v omrežje ZGK Ravne je potreben zaradi visoke starosti nekaterih elementov omrežja, ki so že na koncu življenjske dobe.

## LITERATURA

- [1] Papič Igor *et. al.* "Načrt razvoja elektroenergetskega omrežja na lokaciji ZGK Ravne", *Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani*, študija, 2011.
- [2] SIST EN 50160:2000, "Značilnosti napetosti v javnih razdelilnih omrežjih", standard.
- [3] SIST EN 60868-0:2001, "Flickermeter, Part 0: Evaluation Of flicker severity", standard.
- [4] Papič Igor *et. al.* "Analiza širjenja flikerja v prenosnem omrežju Slovenije", *Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani*, študija, 2008.
- [5] DIgSILENT PowerFactory, Version 14.1, Tutorial, DIgSILENT GmbH Gomaringen, Germany, May 2011.
- [6] Papič Igor, Blažič Boštjan, "Priključitev jeklarne Ravne na napetostni nivo 220 kV", *Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani*, študija, 2011.

**Matjaž Bobnar** je diplomiral leta 2009 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od leta 2010 je zaposlen kot mladi raziskovalec v Laboratoriju za električna omrežja in naprave na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Njegovo delo na podiplomskem študiju zajema razpršene vire električne energije, aktivna omrežja in nesimetrije.

**Igor Papič** je diplomiral leta 1992, magistriral leta 1995 in doktoriral leta 1998 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. V letih 1994–1996 je bil na izpopolnjevanju pri Siemensovem oddelku za prenos in razdelitev električne energije v Erlangnu v Nemčiji. Leta 2001 je bil gostujoči profesor na University of Manitoba v Winnipegu (Kanada). Od leta 2009 je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Njegova raziskovalna dejavnost vključuje aktivne kompenzatorje, naprave FACTS, kakovost električne energije in aktivna distribucijska omrežja.

**Jurij Bizjak** je diplomiral leta 1992 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od 1. junija 1992 je zaposlen v Petrol Energetiki, d. o. o. Ravne na Koroškem. Najprej je opravljal dela strokovnega sodelavca na področju elektroenergetike. Od leta 2003 je direktor področja elektrike v Petrolu energetiki. Področje dela obsega nemoteno obratovanje elektroenergetskega sistema na ZGO Ravne in Štore, razvoj EES na omenjenih lokacijah in preskrbo končnih porabnikov na teh ZGO z električno energijo.

**Boštjan Blažič** je diplomiral leta 2000, magistriral leta 2003 in doktoriral leta 2005 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer je od leta 2007 zaposlen kot asistent. Poleg poučevanja njegovo delo zajema še raziskave na področju kakovosti električne energije, sodobnih kompenzacijskih naprav in razpršenih virov električne energije.