

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Klemen Žumer

Toplotne črpalke in kakovost električne napetosti v omrežju

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija

Ljubljana, 2016

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Klemen Žumer

Toplotne črpalke in kakovost električne napetosti v omrežju

Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija

Mentor: izr. prof. dr. **Gregor Geršak**, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, 2016

IZJAVA

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja izr. prof. dr. Gregorja Gerška, univ. dipl. inž. el.. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali.

Ljubljana, 31.8.2016

Klemen Žumer

ZAHVALA

Kot prvemu bi izrekel hvaležnost mentorju na fakulteti, izr. prof. dr. Gregorju Geršaku za vse usmeritve in nasvete pri nastanku diplomske naloge.

Posebno bi se rad zahvalil podjetju Elektro Gorenjska, d.d. za omogočanje opravljanja praktičnega izobraževanja in za dovoljenje uporabe konkretnih podatkov v diplomskem delu. Med njimi bi rad izpostavil mentorja praktičnega izobraževanja, Urbana Ažmana, dipl. inž. el. za vse preneseno znanje, potrpežljivost med izobraževanjem in za odlično predstavljen splošen pregled kakovosti napetosti. Hvala tudi gospodu Milanu Špecu, ki mi je dovolil obravnavati njegov primer slabih napetostnih razmer in za podatke o njegovi toplotni črpalki.

Zahvalil bi se tudi družini, zlasti staršema, ki sta mi omogočila celotno šolanje, za vso skrb v življenju in spodbude. Posebna hvala očetu za vse predano znanje in za opombe, ki so mi pomagale pri izboljšanju te naloge.

Na koncu pa bi se rad zahvalil še svoji ženi Luciji, ki mi stalno stoji ob strani, me posluša in me ima rada.

POVZETEK

Namen diplomske naloge je predstaviti toplotne črpalke in njihov vpliv na kakovost električne napetosti v omrežju. Odjemalci v današnjem času uporabljamo ogromno električnih naprav, kjer mnoge od njih slabšajo napetostne razmere v omrežju. Večkrat je mentor praktičnega izobraževanja v podjetju Elektro Gorenjska, d.d. pri reševanju problemov zaradi slabih napetostnih razmer naletel na odjemalce, ki so kot toplotni vir uporabljali toplotne postaje. Na njegovo priporočilo sem izbral toplotne črpalke, ki so zadnje čase močno v porastu. Na konkretnem primeru sem prikazal napetostno stanje odjemalca, ki za ogrevanje hiše uporablja toplotno postajo in se je zaradi težav s kakovostjo napetosti pritožil distribucijskemu podjetju.

S to diplomsko nalogo bi rad poudaril, da za slabe napetostne razmere ni mogoče kazati s prstom le na enega krivca. To je težava, v katero so vključeni tako proizvajalci električnih naprav, odjemalci kot tudi distribucijska podjetja. Slednja so kot dobavitelj električne energije seveda dolžna vzpostaviti ustrezne napetostne razmere, vendar pa so zaradi nevednih in nerazumevajočih odjemalcev večkrat kritizirani kot edini krivec.

V začetku diplomskega dela sem na kratko predstavil kakovost oskrbe z električno energijo, ki je temelj za zanesljivo delovanje strojev in za minimaliziranje njihovih izgub, za preprečitev okvare opreme in naprav ter za končno zadovoljstvo uporabnikov. Kakovost oskrbe z električno energijo je nadpomenka kakovosti napetosti v omrežju. Kakovost napetosti sloni na poznavanju kratkostične moči in na elektromagnetni združljivosti, določena pa je s standardom SIST EN 50160. Podvržena je tokovnim in elektromagnetnim motnjam, ki napetost popačijo ter poslabšajo delovanje naprav in opreme. Opisal sem vseh trinajst elektromagnetnih motenj, vendar me v povezavi s toplotnimi črpalkami zanimajo le napetostni upadi in hitre napetostne spremembe.

V drugem delu naloge sem se površno dotaknil distribucijskega omrežja, ki je zadnji segment v verigi omrežja, od vira energije do odjemalca. Za zagotavljanje napetosti in frekvence v skladu s standardi mora biti omrežje dobro načrtovano. Velikokrat je ravno neustrezen presek vodnikov kriv za nedopustno velike tokovne obremenitve in za prevelike padce napetosti. Pri načrtovanju so pomembne tudi dolžine vodnikov med uporabniki, oddaljenost med virom in odjemalcem ter faktor istočasnosti. Izpeljal sem tudi enačbo za izračun padca napetosti na vodu z dolžino l .

Tretji del diplomske naloge opisuje toplotne črpalke, ki so zadnje čase kot način ogrevanja zelo v porastu. Predstavljajo obnovljivi vir energije, saj črpajo sončno energijo akumulirano v snoveh. Opisal sem splošno delovanje tokokroga toplotnih naprav, njene temeljne enote ter različne vrste glede na princip delovanja. Pri svojem raziskovanju sem se usmeril v toplotne črpalke zrak/voda, kjer se izkorišča toploto akumulirano v zraku in se jo prenese na vodo. Podrobneje sem se posvetil tudi električnim elementom znotraj toplotne črpalke. Kompresor je zanimiv zlasti iz vidika zagonov in njegove glasnosti, električno krmiljenje in regulacija ter električni grelec pa iz vidika povečanja porabe električne energije.

V četrtem delu naloge sem poudaril razloge za nastanek težav v relaciji toplotnih črpalk in elektroenergetskega omrežja. Težave toplotnih črpalk nastanejo zaradi preobčutljivosti na elektromagnetne motnje ali morebitnih velikih zagonskih tokov, težave v omrežju pa vzrok starosti ali slabega načrtovanja.

V zadnjem delu diplomske naloge sem teoretični del nadgradil s konkretnim primerom slabih napetostnih razmer. Odjemalec uporablja kakovostno toplotno črpalko z mehkim zagonom, vzrok za težave pa se nahaja v omrežju s premajhnimi preseki.

Ključne besede: kakovost napetosti v omrežju, distribucijsko omrežje, toplotna črpalka

ABSTRACT

The aim of this thesis is to present heat pumps and their impact on the quality of the electricity supply network. Customers today use a lot of electrical appliances, where many of them deteriorating voltage conditions on the network. Several times the mentor of practical education in the company Elektro Gorenjska, d.d. in solving problems due to poor voltage conditions encountered clients who are used as the heat source of the heat station. On his recommendation I chose the heat pump, which recently strongly on the rise. A specific example I show the stress state of the client, which is used for heating houses heat station and is due to problems with the quality of the voltage appealed to the distribution company.

This thesis would like to emphasize that the poor power situation can not show the finger at only one culprit. This is a problem which includes both manufacturers of electrical appliances, customers as well as distribution companies. The latter as a supplier of electricity, of course, required to establish the appropriate voltage conditions, but because of the ignorant and unsupportive customers repeatedly criticized as the only culprit.

At the beginning of the thesis, I briefly introduced the quality of electricity supply, which is the basis for the reliable operation of the machines and to minimize their losses, to prevent damage to the equipment and appliances, and for end user satisfaction. The quality of the power supply is superior voltage quality in the network. The voltage quality is based on knowledge of the short-circuit power and electromagnetic compatibility and determined by the SIST EN 50160 standard and is subject to the current electromagnetic disturbances that distort the voltage and impair the operation of plant and equipment. I described all thirteen of electromagnetic interference, but I'm in conjunction with heat pumps only interested voltage sags and rapid voltage changes.

In the second part of the thesis I carelessly touched the distribution network, which is the last segment in the chain network, the power source to the customer. To ensure voltage and frequency in accordance with the standards must be well-planned network. It is often very inadequate conductor cross section to blame for the unacceptable high current load and excessive voltage drops. When planning are also important as the cable length between the users, the distance between the source and the customers as well as simultaneous factor. I also carried out the equation for calculating the voltage drop on the line with a length l .

The third part of the thesis describes a heat pump, which recently as a method of heating is on the rise. A source of renewable energy, as extracting solar energy accumulated in substances. I described the general operation of the circuit thermal plants, its basic unit and different types according to the principle of operation. In my research I have focused on the heat pump air / water, which exploits the heat accumulated in the air and transfer it to the water. More information I dedicated the electric element inside the heat pump. The compressor is particularly interesting from the perspective starts and its volume electric control and regulation, and an electric heater but from the point of view of the increase in electricity consumption.

In the fourth part of the thesis I pointed out the reasons for the emergence of problems in between the heat pump and the electricity grid. Problems of heat pumps caused by hypersensitivity to electromagnetic interference or any large initial currents problems in the network but the cause of old age or poor planning.

In the last part of the thesis I theoretical part with concrete examples of bad voltage conditions. The client uses good quality heat pump with soft start, the cause of the problem is located in the network with insufficient sections.

Key words: the voltage quality in the network, distribution network, a heat pump

KAZALO

1	UVOD	1
2	KAKOVOST NAPETOSTI V OMREŽJU	2
2.1	Kakovost storitev	2
2.2	Neprekinjenost napajanja	3
2.3	Kakovost napetosti	3
2.3.1	Standard SIST EN 50160	4
2.3.2	Kratkostična moč in elektromagnetna združljivost	6
2.3.3	Elektromagnetne motnje v omrežju	8
2.3.4	Splošne značilnosti napetosti	12
2.3.5	Merjenje kakovosti napetosti	13
3	DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE	14
3.1	Načrtovanje omrežja	14
3.1.1	Dimenzioniranje vodnikov	14
3.1.2	Dolžina voda	16
3.1.3	Oddaljenost vira	16
3.1.4	Faktor istočasnosti	16
3.2	Padec napetosti v omrežju	17
4	TOPLOTNE ČRPALKE	20
4.1	Splošen proces delovanja tokokroga toplotne črpalke	20
4.2	Učinkovitost toplotnih črpalk	21
4.3	Sestava in vrste toplotnih črpalk	22

4.3.1	Kompresor.....	24
4.3.2	Električno krmiljenje in regulacija.....	26
4.3.3	Električni grelec.....	26
5	TOPLOTNE ČRPALKE IN KAKOVOST NAPETOSTI V OMREŽJU.....	27
5.1	Preobčutljivost toplotnih črpalk.....	27
5.2	Preveliki zagonski tokovi.....	27
5.3	Prestaro omrežje.....	28
5.4	Slabo načrtovano omrežje.....	28
5.4.1	Premajhni preseki vodov.....	28
5.4.2	Predolgi vodi.....	28
5.4.3	Premajhna kratkostična moč.....	28
6	KONKRETEN PRIMER.....	29
6.1	Napetostne razmere odjemalca.....	29
6.2	Obstoječe NN omrežje.....	35
6.3	Predlog rešitve neustreznih napetostnih razmer.....	36
6.4.	Sklep konkretnega primera.....	38
7	SKLEP.....	39
8	VIRI IN LITERATURA.....	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Faktor istočasnosti glede na število odjemalcev.....	17
Slika 2: Shematsko delovanje toplotne črpalke.....	21
Slika 3: Tabelaričen prikaz trajanja in globine upadov.....	30
Slika 4: Grafični povzetek meritev značilnosti napetosti.....	31
Slika 5: Tedenski potek 10-minutnih efektivnih vrednosti napajalne napetosti vseh treh faz..	32
Slika 6: Tedenski potek minimalnih vrednosti napajalne napetosti vseh treh faz.....	32
Slika 7: Tedenski potek minimalnih vrednosti napajalne napetosti in prikaz maksimalnih tokov v vseh treh fazah.....	33
Slika 8: Tedenski potek 10-minutnih efektivnih vrednosti napajalne napetosti in prikaz maksimalnih tokov v vseh treh fazah.....	34
Slika 9: 10-minutne efektivne vrednosti toka.....	34
Slika 10: Obstoječe omrežje.....	35
Slika 11: Predlagana in verjetno upoštevana rešitev.....	36
Slika 12: Napajani odjemalci preko TP Lovec.....	37
Slika 13: Prvotno predlagana rešitev, ki je bila zavrnjena.....	38

KAZALO TABEL

Tabela 1: Značilnosti napetosti, katerih velikosti so definirane za opazovano obdobje.....	5
Tabela 2: Elektromagnetne motnje po IEC in CELEC.....	8
Tabela 3: Splošne značilnosti napetosti.....	12
Tabela 4: Električno dimenzioniranje vodnikov.....	15

UPORABLJENI SIMBOLI

Simbol	Razlaga pomena simbola
S	presek vodnika [mm^2]
l	dolžina vodnika [km]
λ	specifična prevodnost snovi [S/m]
P	moč odjemalca [W]
$\Delta U\%$	padec napetosti v procentih [%]
U_f	fazna napetost [V]
U_{med}	medfazna napetost [V]
ρ	specifična upornost snovi [Ωm]
R	električna upornost [Ω]
f	faktor istočasnosti
f_∞	faktor neskončnosti
N	število odjemalcev
ΔU	padec napetosti [V]
X	reaktanca vodnika [Ω]
r	upornost na enoto dolžine [Ω/m]
x	reaktanca na enoto dolžine [Ω/m]
P_f	fazna moč [W]
P_{med}	medfazna moč [W]
I_n	nazivna vrednost toka [A]
U_n	nazivna vrednost napetosti [V]
ε	grelno število
$Q_{t\check{c}}$	grelna moč toplotne črpalke [kW]
$P_{t\check{c}}$	dovedena električna moč [kW]

UPORABLJENE KRATICE

Kratika	Razlaga pomena kratice
BDP	Bruto domači proizvod
NN	Nizka napetost
VN	Visoka napetost
EMC	Elektromagnetna združljivost
IEC	International Electrotechnical Commission – mednarodna elektrotehniška komisija
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization – evropski elektrotehniški komite za standardizacijo
THD	Harmonski faktor popačenja
COP	Učinkovitost toplotne črpalke
TP	Transformatorska postaja
PSO	Prostostoječa omarica

1 UVOD

V današnjih časih je oskrba z električno energijo nekaj tako samoumevnega kot voda, ki jo imamo v naših krajih v izobilju, zato jo ne znamo ceniti. Zavedamo se, da se voda z vnašanjem raznih odpadkov hitro onesnaži. Enako je z električno energijo v omrežju.

Z naraščanjem porabe električne energije, rastočimi cenami proizvodnje, omejitvami onesnaževanja okolja in težavami z izgradnjo novih obratov za pridobivanje električne energije mora energetska politika stremeti k učinkoviti rabi proizvedene energije in k razvoju varčnih in kakovostnih novitet, ki ohranjajo elektroenergetski sistem čim bolj čist.

Vse naprednejša tehnologija zahteva za svoje delovanje kakovostno električno napetost in nemoteno dobavo električne energije. Delež motenj je v omrežju vedno višji, saj se na trgu povečuje število električnih naprav z nelinearnimi karakteristikami, s tem pa se močno »onesnažuje« tudi napetostna sinusoida. Velika količina motenj tako povzroča približevanje mejni stopnji elektromagnetne združljivosti. Del električnih naprav že ima vgrajene komponente za zmanjševanje »onesnaževanja« omrežja, vendar pa je še precej naprav, zlasti tistih cenejših, ki vnašajo motnje v elektroenergetski sistem in s tem povzročajo preglavice distribucijskim podjetjem. Ne glede na težave pa morajo distribucijska podjetja zagotavljati ustrezne razmere, ki so posledica velikosti kratkostične moči v stični točki, posledica elektromagnetnih motenj zaradi ostalih porabnikov kjerkoli v omrežju ter značilnosti odjemalčevih naprav. Posledično mora biti razvoj elektroenergetskega sistema dobro premišljen in načrtovan, saj uporabnik električne energije pričakuje stalnost oskrbe in varno ter zanesljivo delovanje vseh naprav.

V zadnjem času se vedno več ljudi odloča, da kot alternativni vir ogrevanja prostorov in za priprave tople sanitarne vode uporabijo toplotno črpalko. Te električne naprave so pri svojem delovanju precej energetsko učinkovite in ekonomične, vendar pa lahko spadajo med prej omenjene naprave, ki kvarijo čistost napetostne sinusoida.

2 KAKOVOST NAPETOSTI V OMREŽJU

V splošnem delimo kakovost oskrbe z električno energijo na tri področja:

1. Kakovost storitev
2. Neprekinjenost napajanja
3. Kakovost napetosti

Kakovostna oskrba vključuje proizvodnjo, prenos, distribucijo in dobavo električne energije. Večje evropske države, kot so Francija, Nemčija in Španija, namenjajo letno kar 1 % BDP kakovosti električne energije. Kakovost oskrbe je določena s standardi, zato jo morajo biti deležni vsi porabniki v omrežju. Distribucijska podjetja se tega zavedajo, vendar jim probleme povzročajo motnje, ki jih odjemalci spuščajo nazaj v omrežje. Najbolj množični izvori onesnaževanja napetosti so polprevodniške naprave, ki so vgrajene v napravah široke porabe in v večini varčnih naprav. S pojmom polprevodniške naprave zajemamo usmerniške in razsmerniške naprave ter frekvenčne pretvornike. Poleg teh so najbolj značilni in pogosti izvori motenj po vodniku še:

- energetski transformatorji,
- generatorji,
- elektroobločne peči in varilni aparati ter
- kondenzatorske baterije.

Neustrezna kakovost oskrbe z električno energijo povzroči večje izgube v strojih, prekinitve industrijskih procesov, izpad storitvenih dejavnosti, okvare opreme ter naprav, itd., kar posledično vodi v finančne izgube [1].

Računalniška tehnologija je najbolj podvržena slabi kakovosti oskrbe. Ker pa je ta v zadnjem času močno v porastu, postaja kakovost oskrbe z električno energijo ključnega pomena [2].

2.1 Kakovost storitev

Kakovost storitev oziroma komercialna kakovost obravnava kakovost ne-tehničnih storitev, ki jih operater distribucijskega omrežja nudi uporabniku omrežja. Raven komercialne kakovosti se vrednoti s kakovostjo posameznih storitev, ki jih distributer električne energije nudi uporabnikom:

- priključevanje na omrežje (obravnavo zahtev, izdaja računov za izvedbo del, itd.),
- obveščanje o načrtovanih prekinitvah napajanja,
- izdaja informacij o stroških in plačilih,
- storitve klicnih in informacijskih centrov,
- storitve na prevzemno-predajnih mestih (obiski, zamenjava varovalk, odklopi in priklopi, itd.),
- reševanje pritožb (kakovost napetosti, računi, plačila, itd.) in
- vzdrževanje merilnih naprav.

Kakovost storitev določajo standardi, ki so sistemski in zajamčeni. Sistemski standardi določajo minimalno raven kakovosti izvajanja storitev, ki jo uporabniki lahko pričakujejo znotraj določenih meja. Zajamčeni standardi pa se nanašajo na minimalni nivo kakovosti storitev, ki jih distributer mora zagotavljati vsakemu uporabniku [6].

2.2 Neprekinjenost napajanja

Neprekinjenost napajanja obravnava vzroke, posledice in statistiko dogodkov, predvsem pa napovedane ali nenapovedane dolgotrajne in kratkotrajne prekinitve. V to področje sodi tudi vrednotenje nedobavljene energije.

O načrtovani prekinitvi napajanja govorimo, ko je velikost napetosti na prevzemno-predajnem mestu manjša od 5 % nominalne vrednosti in so odjemalci o tem obveščeni. Nenačrtovano prekinitve pa smatramo, ko je stanje napetosti na prevzemno-predajnem mestu manjša od 5 % nominalne vrednosti in jo povzročijo trajne ali predhodne okvare, katerih vzrok so navadno zunanji dogodki, okvare opreme ali motnje.

Prekinitve razvrščamo glede na vrsto, stroške, trajanje, napetostni nivo in posledice [7].

2.3 Kakovost napetosti

Električna energija je bila še pred nekaj desetletji materialna dobrina, danes pa je postala blago in kot taka sredstvo, ki mora ustrezati strogim kriterijem elektroenergetskega trga. Ena od treh segmentov kakovosti električne energije je tudi kakovost napetosti, ki jih je bil ob koncu prejšnjega stoletja predpisan standard, ki opredeljuje elektroenergetske motnje v omrežju na NN nivoju. Kakovost napetosti obravnava obliko, stalnost in amplitudo napetosti,

ki jo analiziramo v skladu s standardom SIST EN 50160. Ta zajema tudi analize kakovosti glede na dopustne, načrtovane in obstoječe nivoje motenj.

Kakovost napetosti opredelimo kot dovoljene motnje, ki jih električni aparati lahko pošiljajo v omrežje [1]. Motnje oz. tokovi potujejo od priključka v omrežje po principu najmanjše impedance, zato se njihovi vplivi vektorsko seštevajo [3]. Ustrezno raven motenj se zagotavlja s stalnim ali občasnim »monitoringom« kakovosti napetosti.

2.3.1 Standard SIST EN 50160

Osnova za kakovost napetosti je standard SIST EN 50160, ki opredeljuje in kvantitativno določa elektromagnetne združljivosti v javnem NN razdelilnem omrežju ob normalnih pogojih obratovanja. S trinajstimi parametri električne napetosti v stični točki med odjemalcem in dobaviteljem omenjen standard določa stalnost, obliko in amplitudo napetosti (tabela 1). Trenutno stanje merilne tehnike omogoča zapis desetih parametrov kakovosti električne energije - napetosti v vseh treh fazah. Vsaka značilnost se mora nahajati znotraj meja določenih s standardom. Posledično SIST EN 50160 v določenih poglavjih predstavljajo tudi standardizirano merjenje kakovosti napetosti, kjer poudarja pomen »monitoringa« kakovosti nasploh.

Tabela 1: Standard EN 50160 podaja značilnosti napetosti, katerih velikosti so definirane za opazovano obdobje.

	Značilnost napetosti	Verjetnost nahajanja opazovane značilnosti v postavljenih kriterijih	Čas opazovanja
1	frekvenca napajalne napetosti	95 % in 100 %	10-sekundna obdobja enega tedna in leta oz. čas opazovanja
2	velikost napetosti	Definirano s SIST HD 472 S1.	-
3	odkloni napajalne napetosti	95 %	10-minutna obdobja enega tedna
4	hitre napetostne spremembe	95 %	teden
5	upadi napetosti	Okvirno od nekaj 10 do 1000.	leto
6	kratkotrajne prekinitve napajalne napetosti	Okvirni od nekaj 10 do nekaj 100.	leto
7	dolgotrajne prekinitve napajalne napetosti	Predlagano od 10 do 50.	leto
8	občasne prenapetosti omrežne frekvence med faznimi vodniki in zemljo	neopredeljeno	neopredeljeno
9	prehodne napetosti med faznimi vodniki in zemljo	neopredeljeno	neopredeljeno
10	neravnotežje napajalne napetosti	95 %	10-minutna obdobja enega tedna
11	harmonska napetost	95 %	10-minutna obdobja enega tedna
12	medharmonska napetost	Še ni postavljeno.	Še ni postavljeno.
13	napetostni signal v omrežju	99 %	3-sekundna obdobja dneva

Opomba: Vrednosti značilnosti so odvisne od tipov omrežij, lokacij posameznih omrežij in drugih okoliščin, zato jih standard številčno ne more točno določiti.

Standard vsebuje tudi analize kakovosti napetosti glede na dopustne nivoje motenj, načrtovane nivoje motenj in obstoječe nivoje motenj [1].

Osnovo za stalni in občasni »monitoring« kakovosti napetosti, s katerima zagotavljamo ustrezno raven motenj nam opisuje standard SIST EN 61000-4-30. Ta ponazarja zahteve za merilno opremo, metode merjenja in interpretacijo merilnih rezultatov kakovosti napetosti [5].

2.3.2 Kratkostična moč in elektromagnetna združljivost

Osnova kakovosti napetosti in določanje njenih parametrov temelji na dveh pojmi. Na:

1. poznavanju kratkostičnih moči omrežij oziroma njihovih impedanc, kjer je ta standardizirana znotraj celotnega evropskega območja. Impedanca trifaznega sistema je 230/400 V, enofaznega sistema pa 230 V.
2. elektromagnetni združljivosti (EMC). To je zmožnost opreme ali sistemov, da v svojem okolju delujejo zadovoljivo in v omrežje ne vnašajo nedopustnih elektromagnetnih motenj (po standardu SIST IEC 60050).

Skupen imenovalec motenj, ki so posledica uporabnikovih naprav, je v tem, da je njihov vpliv na omrežno napetost neposredno odvisen od kratkostične moči v točki priklopa.

Kratkostična moč

Na kakovost napetosti, na njeno popačenje vplivajo tudi tokovne motnje v omrežju. V to spadajo harmoniki toka in motnje, ki jih generirajo generatorji v sistemu, porabljajo ali proizvajajo pa jo porabniki. Tu govorimo o kratkostični moči omrežja [1].

Kratkostična moč je torej merilo sposobnosti omrežja, da absorbira motnje, ki jih povzročajo nesinusni toki porabnikov. Najbolj vplivni porabniki na omrežje so tisti, ki v elektroenergetski sistemu povzročajo harmonike napetosti in hitre napetostne spremembe (flikerje). Viri teh so najpogostejše močnostni transformatorji, generatorji, polprevodniške naprave, elektroobločne peči, varilni aparati in električni motorski pogoni (dvigala, električne žage, kompresorji, itd.).

Učinek motenj, ki jih vnašajo porabniki v javno distribucijsko omrežje lahko ocenimo z razmerjem med kratkostično močjo omrežja in nazivno močjo porabnika. Večja kot je

kratkostična moč omrežja v priključeni točki uporabnika, manjši so učinki nesinusnih tokov na spremembo oblike in velikosti napetosti.

S povečanjem kratkostične moči, z ojačitvijo posameznih vodov in transformacij, zmanjšamo motnje in motenja v omrežju in pri odjemalcih [3].

Elektromagnetna združljivost

Vsaka naprava na trgu, ki se energetske napaja iz javnega razdelilnega omrežja, mora biti grajena tako, da deluje nazivno in optimalno v določenem elektromagnetnem okolju. Naprava v to omrežje ne sme vnašati nedopustno velikih motenj in mora nazivno delovati ob takih elektromagnetnih motnjah, ki jih je mogoče pričakovati iz omrežja. Po zahtevi EMC mora torej naprava v elektromagnetno okolje oddati manj motenj od nivoja EMC, oziroma oddajna raven ne sme presegati oddajne meje.

Zato morajo biti naprave relativno odporne na vse tiste elektromagnetne motnje, ki po velikosti dosegajo ali celo presegajo raven elektromagnetne združljivosti. Pri prekoračitvi nivoja EMC lahko pride do tega, da naprava ne deluje več nazivno oziroma sploh ne deluje več. Motnja lahko spremeni pravilnost delovanja naprave. To je predvsem odvisno od občutljivosti naprav oziroma od njihovih odpornosti proti elektromagnetnim motnjam. Aktualni pereč problem predstavljajo toplotne črpalke, saj so nekatere preobčutljive na motnje iz omrežja in prihaja do stalnih prekinitev v delovanju.

Pred več kot desetimi leti so države predpisovale EMC v skladu s svojimi strategijami in zahtevami. Vzpostavitev skupnega trga s prostim pretokom blaga in storitev je zahtevala poenotenje ravni EMC, saj je naprava zaradi različne EMC ali različne občutljivosti lahko v eni od držav delovala, v drugi pa ne. Uvedli so Direktivo, ki določa enotne in povezane zahteve med električnimi aparati in javnim omrežjem [1].

Zavedati se je potrebno stalne prisotnosti elektromagnetnih pojavov, ki pa morajo biti znotraj določenih meja. Ko ti presežejo dopustno odstopanje, govorimo o elektromagnetnih motnjah. IEC in CENELEC definirata naslednje elektromagnetne motnje:

Tabela 2: Elektromagnetne motnje po IEC in CELEC [1].

Nizkofrekvenčne motnje po vodnikih	• Harmoniki in medharmoniki • Signali v omrežju • Kolebanje napetosti • Upadi in prekinitve napetosti • Neravnotežje napetosti • Sprememba frekvence napetosti • Inducirane napetosti nizkih frekvenc • Enosmerne motnje v izmeničnem omrežju
Sevane nizkofrekvenčne motnje	• Magnetna polja • Električna polja
Visokofrekvenčne motnje po vodnikih	• Neposredno sklopljene in inducirane napetosti oz. tokovi • Enosmerni prehodni pojav • Nihajni prehodni pojav
Sevane nizkofrekvenčne motnje	• Magnetna polja • Električna polja • Elektromagnetna polja
Elektrostatične praznitve	
Jedrski elektromagnetni pulz	

2.3.3 Elektromagnetne motnje v omrežju

Elektromagnetna motnja je katerikoli elektromagnetni pojav, ki lahko poslabša delovanje naprav, opreme ali sistemov ali neugodno vpliva na živo ali neživo snov [3]. Standard SIST EN 50160 opredeljuje elektromagnetne motnje v točki priklopa. Tam se srečata odjemalec in dobavitelj, zato to mesto imenujemo odjemno mesto. V tej točki opišemo napetost s trinajstimi parametri, katere predstavljajo moči omrežja in jo izražamo z njeno kratkostično močjo. Elektromagnetne motnje v NN omrežju so [1]:

1) Frekvenca napajalne napetosti

Frekvenco določimo z razmerjem ponavljanja osnovnega vala napajalne napetosti, merjenim v določenem časovnem valu. Nazivna omrežna frekvenca je 50 Hz. Do spremembe frekvence pride zaradi neravnotežja med potrebno in dobavljeno električno energijo.

2) Velikost napajalne napetosti

Nazivne vrednosti napetosti so standardizirane v skladu z IEC 60038.

3) Odklon napajalne napetosti

Odklon napetosti je upad ali porast napetosti v omrežju iz nekega ustaljenega stanja, zaradi sprememb obremenitve odjemalcev.

4) Hitra napetostna sprememba

Hitra napetostna sprememba je hitra sprememba efektivne vrednosti napetosti med dvema zaporednima ravnema v nekem določenem času. Najpogosteje so vzrok spremembe obremenitve odjemalcev in stikalnih manevrov v omrežju. O hitri napetostni spremembi govorimo ob spremembi nazivne napetosti za več kot 10 %.

Zaporedje napetostnih sprememb imenujemo kolebanje napetosti oziroma zvezno spreminjanje efektivne napetosti. Ta povzroča spremembe svetilnosti sijalk, kar je lahko za ljudi zelo moteče. Možna posledica kolebanja napetosti je fliker, ki je definiran kot vtis nestalnosti vidnega zaznavanja zaradi svetlobnega dražljaja (SIST IEC 60050(161)-08).

5) Upadi napajalne napetosti

O napetostnem upadu govorimo, ko pride do nenadnega zmanjšanja efektivne vrednosti napetosti. Upad navadno traja od 10 ms do 1 min, potem pa se vrne v prvotno stanje. Vzrok upadov so običajno kratki stiki v omrežju, preobremenitev ali zagon velikih motorjev.

6) Kratkotrajna prekinitev napajanja

Do prekinitve napajanja pride, ko je napetost na predajnem mestu manjša od 1 % dogovorjene vrednosti. Prekinitve napajanja smatramo kot kratkotrajno, ko je ta nenačrtovana in je krajša od treh minut.

7) Dolgotrajna prekinitev napajanja

Dolgotrajna prekinitev napajanja smatramo za dolgotrajno, ko je ta daljša od treh minut. Nastane zaradi trajne okvare.

8) Občasna prenapetost omrežne frekvence med faznimi vodniki in zemljo

To je relativno dolgotrajna prenapetost na določenem mestu v omrežju, ki nastane med okvaro v javnem razdelilnem omrežju ali v odjemalčevi napeljavi. Do občasne prenapetosti pride zaradi nenadnega zmanjšanja obremenitve, enopolnih okvar in obratovanja nelinearnih bremen. Po sanaciji okvare prenapetost izgine.

9) Prehodna prenapetost med faznimi vodniki in zemljo

Ta vrsta prenapetosti je kratkotrajno nihajna ali neničajna, običajno močno dušena in traja le nekaj milisekund. Vzrok te prenapetosti so navadno atmosferske razelektritve, stikalni manevri ali delovanje varovalk. Tej elektromagnetni motnji se izognemo s pomočjo prenapetostnih zaščitnih elementov, ki jih namestimo pred odjemalčevo napravo.

10) Neravnotežje napajalne napetosti

Do stanja neravnotežja napajalne napetosti pride v trifaznih sistemih, v katerem so si efektivne vrednosti faznih napetosti različne ali pa vsi fazni koti med fazami niso enaki.

11) Harmonska napetost

Harmonska napetost je sinusna napetost s frekvenco enako celoštevilskemu večkratniku osnovne frekvence napajalne napetosti. Harmoniki nastanejo s pretakanjem harmonski tokov skozi impedanco sistema, povzročajo pa jih nelinearna napetostno-tokovna bremena v odjemalčevih napravah. Celostno jih lahko določimo s standardiziranim harmonskim faktorjem popačenja (THD):

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad (1)$$

12) Medharmonska napetost

Medharmonska napetost je sinusna napetost s frekvenco med dvema harmonikoma, kar pomeni, da ni enaka celoštevilskemu večkratniku osnovne frekvence.

13) Napetostni signal v omrežju

Napetostni signali v omrežju so dodatek napajalni napetosti, ki prenaša informacije po razdelilnem omrežju do odjemalcev.

Kljub široki uporabi nelinearnih bremen in posledičnih motenj pa lahko na kakovost električne energije vplivamo z različnimi napravami, ki kompenzirajo napetostne upade, izboljšujejo obliko signala, zagotavljajo neprekinjenost napajanja, itd. Motnje in motenja v omrežju lahko zmanjšamo z [1]:

- uporabo usmernikov z učinkovitim glajenjem,
- uporabo filtrov z nastavljivim frekvenčnim spektrom,
- povečanjem kratkostične moči,
- ločitvijo napajanja motečih in nemotečih porabnikov,
- uporabo mehanskih pogonov, ki ublažijo tokovne sunke v omrežju,
- stalnim nadzorom nad deležem harmonikov v omrežju, itd..

2.3.4 Splošne značilnosti napetosti

Tabela 3: Splošne značilnosti napetosti [1].

Pojavi	Vrste
Prehodni pojavi: IMPULZNI NIHAJOČI	• Nanosekundni • Mikrosekundni • Milisekundni • Nizkih frekvenc • Srednjih frekvenc • Visokih frekvenc
Kratkotrajne spremembe: TRENUTNE BEŽNE ZAČASNE	• Prekinitev • Upad napetosti • Porast napetosti • Prekinitev • Upad napetosti • Porast napetosti • Prekinitev • Upad napetosti • Porast napetosti
Dolgotrajne spremembe: PREKINITEV PODNAPETOSTI PRENAPETOSTI	
Napetostno neravnotežje	
Popačenje valovne oblike: ENOSMERNA PREMAKNITEV HARMONIKI MEDHARMONIKI ZAREZE ŠUM	
Kolebanje napetosti	

2.3.5 Merjenje kakovosti napetosti

Distribucijsko podjetje mora za ustrezno vzdrževanje napetostnih razmer opravljati »monitoring« kakovosti napetosti, ki ga izvaja z ustreznimi merilnimi inštrumenti. Izmerjeni rezultati, ki so eden izmed kriterijev pri izdaji soglasja za priključitev novih virov oziroma porabnikov v omrežje, so osnova za analizo napetostnega stanja v omrežju. Razlogi za izvajanje meritev so večinoma pritožbe uporabnikov. Meritve napetosti se izvaja tudi pri industrijskih odjemalcih, kjer motnje iz omrežja lahko slabšajo ustreznost delovanja strojev ali naprav. Pri določanju in iskanju izvora motnje se uporablja princip metode izločanja, praviloma pa postopek zahteva serijo meritev [8].

Za meritev kakovosti napetosti se uporablja merilnik razreda A in merilnik razreda B. Merilnik razreda A je referenčni merilnik, ki se ga uporablja za merjenja, na podlagi katerih se izda izjava o ustreznosti. Merilnik razreda B pa se uporablja za indikacijo razmer v določenem omrežju, za statistične namene, za reševanje določenih operativnih težav v omrežju in za iskanje vzrokov zanje [1].

3 DISTRIBUCIJSKO OMREŽJE

Distribucijsko omrežje je eden izmed verižnih sistemov dobave električne energije, saj povezuje prenosno omrežje s končnimi uporabniki električne energije. Namenjen je zadovoljitvi potreb potrošnika z električno energijo preko podzemnih kablov ali nadzemnih vodov. Na distribucijsko omrežje so poleg odjemalcev priključeni tudi manjši proizvajalci električne energije. Sistem dobave električne energije mora biti zanesljiv in produktiven, s čim manj napakam, tako da deluje nemoteno in zadovolji odjemalce. Ključ neprekinjenosti napajanja je ustrezno načrtovanje za dano območje, katero je močno povezano z gostoto poselitve, razpršenostjo odjemalcev, razgibanostjo terena, oddaljenostjo od vira napetosti, dolgoročnostjo omrežja, itd.

Zagotavljanje napetosti in frekvence v skladu s pričakovanimi vrednostmi in omejevanje vedno prisotnih elektromagnetnih motenj po standardu SIST EN 50160 predstavljata velik izziv dobro delujočega elektroenergetskega sistema. Kakovostna električna energija v času obremenjenosti sistema je torej glavna skrb distribucijskih podjetij. Standard SIST EN 50160 določa nazivno omrežno frekvenco 50 Hz in nazivno napetost javnih nizkonapetostnih omrežij 230 V. Ob normalnih obratovalnih pogojih in brez upoštevanja okvar ali prekinitev napajanja morajo biti 10-minutne srednje efektivne vrednosti napajalne napetosti znotraj meja $230\text{ V} \pm 10\%$, kar pomeni območje med 207 V in 253 V.

3.1 Načrtovanje omrežja

3.1.1 Dimenzioniranje vodnikov

Optimalni prenos energije z najmanjšimi možnimi izgubami in ustrezno kvaliteto napajalne napetosti zagotovimo s pravilim dimenzioniranjem vodnikov. V električnih omrežjih vodnike dimenzioniramo predvsem na največjo dopustno tokovno obremenitev ter na dovoljen padec napetosti od izvora do porabnika. Popolna zagotovitev izgub je nemogoča, vendar pa jih z dobrim načrtovanjem lahko močno zmanjšamo.

Izbira določenega preseka je odvisna od dopustne tokovne obremenitve in dovoljenega padca napetosti. Idealno bi bilo, da bi bil presek vodnika čim večji in ves čas konstanten, vendar tega zaradi ekonomičnih razlogov ne moremo zagotoviti. Tokovne obremenitve so odvisne od preseka vodnika, vodnikove kovine ter vrste izolacije, zunanje temperature, načina polaganja, itd., velikost padca napetosti pa zlasti od preseka vodnika.

Ob prevajanju električnega toka se vodnik segreva, pojavljajo pa se tudi sile, ki ga mehansko obremenjujejo. Cilj dimenzioniranja je predvsem zagotoviti varnost in zanesljivost vodnika za gospodarno in kvalitetno dobavo električne energije. Vodnike dimenzioniramo glede na:

- predviden največji trajni tok (termično dimenzioniranje),
- dopusten padec napetosti (električno dimenzioniranje),
- dopusten najmanjši prerez glede na mehanske obremenitve (mehansko dimenzioniranje) in
- gospodarnost (dimenzioniranje glede na gospodarnost).

Na največjo dopustno obremenitev vplivajo: vrsta materiala, prerez vodnikov, vrsta izolacije, število vzporednih vodnikov, temperatura okolice in način vgradnje. Največjo dopustno obremenitev izberemo glede na najvišjo obratovalno temperaturo vodnika, ki ne povzroči poškodbe izolacije.

Z dimenzioniranjem vodnikov iščemo ustrezen prerez, da bo padec napetosti v dovoljenih mejah. Z električnim dimenzioniranjem dimenzioniramo vodnik glede na padec napetosti ter ga skušamo preprečiti, da bi bil izven meja [9].

Tabela 4: Električno dimenzioniranje vodnikov [9].

Enofazno ohmsko breme [mm ²]	Enofazni induktivni porabnik [mm ²]	Trifazni sistem [mm ²]
$S = \frac{200 \cdot l \cdot P}{\lambda \cdot U_f^2 \cdot \Delta U\%}$ pri čemer je $P = U_f \cdot I$	$S = \frac{200 \cdot l \cdot P}{\lambda \cdot U_f^2 \cdot \Delta U\%}$ pri čemer je $P = U_f \cdot I \cdot \cos\varphi$	$S = \frac{100 \cdot l \cdot P}{\lambda \cdot U_{med}^2 \cdot \Delta U\%}$ pri čemer je $P = \sqrt{3} \cdot U_{med} \cdot I \cdot \cos\varphi$

Opomba: Dolžina ima enoto meter.

Standardni preseki vodnikov, ki jih distribucijska podjetja običajno uporabljajo, so 16 mm², 35 mm², 70 mm², 90 mm² in 150 mm². Izbira velikosti je močno povezana z obremenjenostjo mreže, predhodnih vodnikov, dolžino vodnika in s stroški.

3.1.2 Dolžina voda

Stremimo, da je dolžina vodnika med uporabniki čim krajša, saj bo s tem padec napetosti manjši. Iz osnovne enačbe poznamo, da je dolžina vodnika premo sorazmerna z električno upornostjo, presekom vodnika ter s specifično prevodnostjo snovi.

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = R \cdot \lambda \cdot S \quad (2)$$

3.1.3 Oddaljenost vira

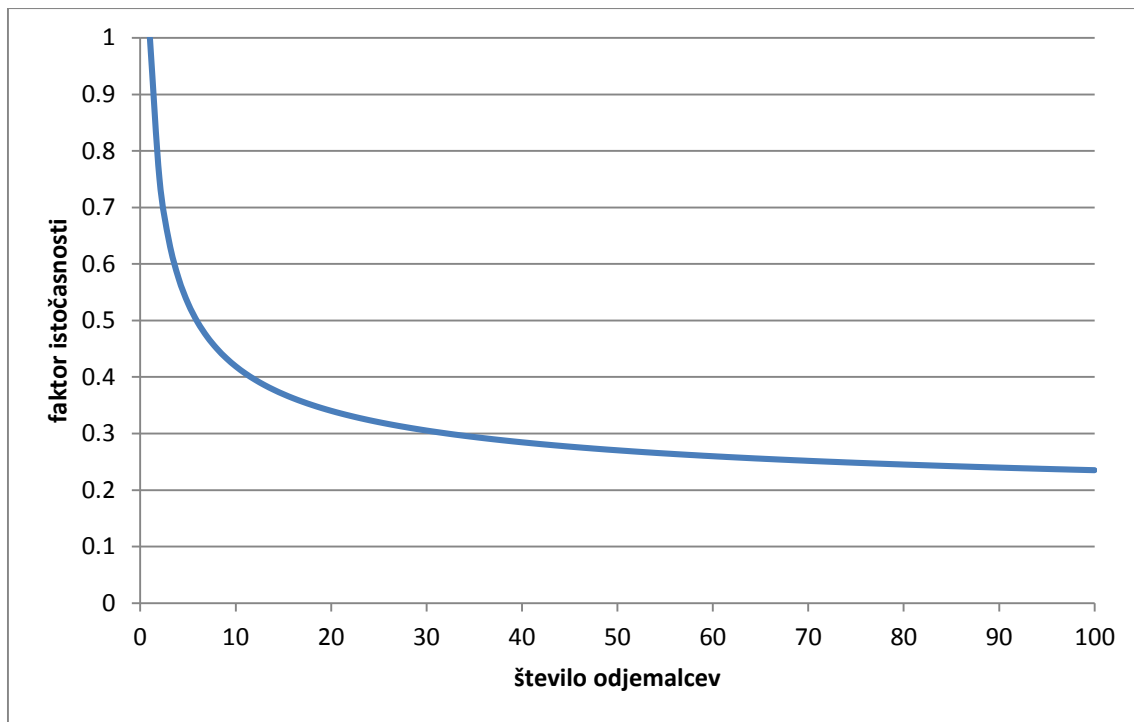
Bližje kot bo odjemalec viru električne energije, večja bo kratkostična moč in omrežje bo bolj absorbiralo motnje, ki jih povzročajo nesinusni toki uporabnikov. Tako bo manj vplivov na spremembo oblike in velikost napetost.

3.1.4 Faktor istočasnosti

Faktor istočasnosti vpliva na največjo moč, ki jo mora elektroenergetski sistem zagotavljati. Izračunamo ga s pomočjo enačbe:

$$f = f_{\infty} + \frac{(1 - f_{\infty})}{\sqrt{N}} \quad (3)$$

kjer parameter f_{∞} predstavlja faktor neskončnosti [10]. V Sloveniji je vrednost tega faktorja med 0,1 in 0,2, odvisno od območja. Distribucijsko podjetje Elektra Gorenjske na celotnem področju Gorenjske upošteva faktor neskončnosti 0,15. Potek faktorja glede na število odjemalcev je prikazan na sliki 1. Vidimo eksponentni padec vrednosti faktorja istočasnosti glede na število odjemalcev.



Slika 1: Faktor istočasnosti glede na število odjemalcev.

3.2 Padec napetosti v omrežju

Padec napetosti je definiran kot razlika napetosti na začetku in na koncu voda:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (4)$$

Izračun padca napetosti na določenemvodu z dolžino l temelji na simetričnem enofaznem sistemu, kjer sta napetosti u_1 in u_2 povezani preko impedance sistema:

$$U_1 = U_2 + I \cdot Z \quad (5)$$

Tok je sestavljen iz delovne in jalove komponente, impedanca pa iz upornosti in reaktance:

$$U_1 = U_2 + (I_d - jI_j) \cdot (R + jX) = U_2 + (I_d \cdot R + I_j \cdot X) + j(I_d \cdot X - I_j \cdot R) \quad (6)$$

Kompleksni del enačbe predstavlja prečni padec napetosti in ga lahko zanemarimo. S tem vnesemo 3 do 5 % napako, vendar je računanje brez njega veliko enostavnejše.

Tako upoštevamo le vzdolžni padec napetosti:

$$U_1 = U_2 + I_d \cdot R + I_j \cdot X \quad (7)$$

Razlika napetosti predstavlja padec napetosti, razširimo pa še delovni in jalovi tok:

$$\Delta U = I \cdot R \cdot \cos \varphi + I \cdot X \cdot \sin \varphi = I \cdot \cos \varphi \cdot (R + X \cdot \tan \varphi) \quad (8)$$

Padec napetosti nas običajno zanima v procentih:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{I \cdot \cos \varphi}{U_f} (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% = \frac{U_f \cdot I \cdot \cos \varphi}{U_f^2} (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% = \\ &= \frac{P_f}{U_f^2} (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% \end{aligned} \quad (9)$$

Pretvorimo še v tri fazni sistem ter parametre iz faznih v medfazne vrednosti:

$$U_f = \frac{U_{med}}{\sqrt{3}} \quad , \quad P_f = \frac{P_{med}}{3} \quad (10, 11)$$

$$\Delta U = \frac{P_{med}}{U_{med}^2} (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% \quad (12)$$

Enačba za padec napetosti:

$$\Delta U = \frac{P_{med}}{U_{med}^2} (R + X \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% \quad (13)$$

Upoštevamo pa še, da sta R in X vedno podana na enoto dolžine:

$$R = r \cdot l \quad (14)$$

$$X = x \cdot l \quad (15)$$

Tako dobimo končno enačbo padca napetosti na določenem vozu z dolžino l :

$$\Delta U = \frac{P_{med} \cdot l}{U_{med}^2} (r + x \cdot \tan \varphi) \cdot 100 \% \quad (16)$$

Opomba: Enota medfazne moči je v vatih. Izračuna se jo kot produkt zakupljene odjemne moči in faktorja istočasnosti. Za dolžino voda l se uporablja enota kilometer, za medfazno napetost pa volte.

Padci napetosti se seštevajo, zato ima porabnik na koncu mreže največji padec in s tem običajno največje probleme z dobavljeno električno energijo.

4 TOPLOTNA ČRPALKA

Toplotna črpalka je naprava, ki se večinoma uporablja za ogrevanje stavb in za pripravo tople sanitarne vode. V zadnjem času se uporaba teh energetske učinkovitih naprav močno povečuje. Izkoriščanje toplote iz okolice z dodatkom električne energije je okolju prijazno, zato država podpira njihov nakup tudi s subvencijami. Najnovejši izračuni in meritve kažejo, da toplotne črpalke porabijo med 34 % in 49 % manj primarne energije kot plinski in oljni kondenzacijski kotli, v primerjavi z njimi pa so zmanjšane tudi emisije CO₂ in drugih škodljivih plinov med 31 % in 60 % [11].

Porast toplotnih črpalk pa močno vpliva tudi na karakteristiko omrežij in na dodatne težave distribucijskim podjetjem pri zagotavljanju ustrezne kakovosti napetosti. Ne glede na to, pa bodo toplotne naprave v prihodnosti še močnejše zaznamovale ogrevanje z nizkotemperaturnimi sistemi.

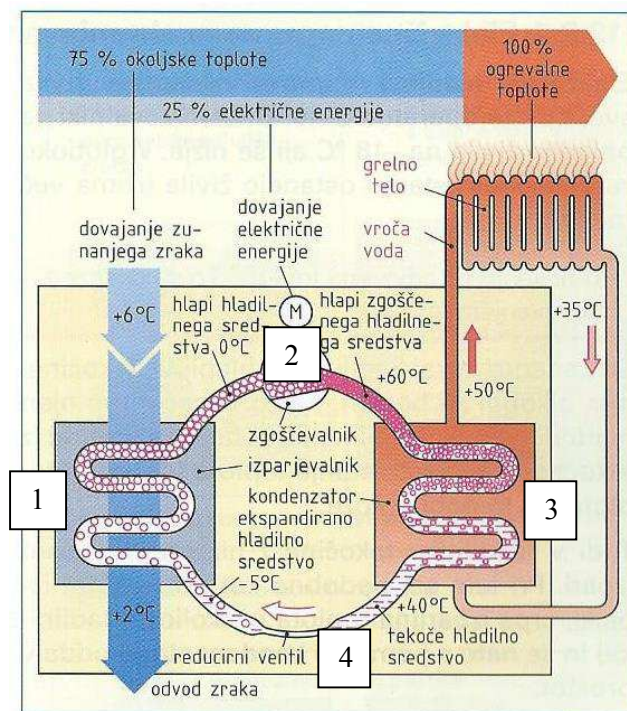
Toplotne črpalke predstavljajo obnovljivi vir energije, saj črpajo toploto iz okolice, ki predstavlja akumulirano sončno energijo v snoveh. Izkoriščajo toploto zraka podtalne in površinske vode, toploto akumulirano v zemlji in kamnitih masivih, lahko pa izkoriščajo tudi odpadno toploto, ki se sprošča pri različnih tehnoloških procesih [12].

4.1 Splošen proces delovanja tokokroga toplotne črpalke

Delovanje toplotnih črpalk je obratno delovanju hladilnikov ali klimatskih naprav, ki temeljijo na Carnotovem krožnem procesu. Toplotne črpalke prenašajo toplotno energijo iz vira toplote do medija za ogrevanje prostorov s spremembo agregatnega stanja. Kot energetski vir se uporabljajo podtalne in površinske vode, toploto akumulirano v zemlji, toploto zunanjega zraka ter toploto, ki se sprošča pri raznih tehnoloških procesih.

Ventilator sesa zunanji zrak in ga vodi v uparjalnik, kjer se njegova toplota prenese na hladivo, ta pa se upari. Uparjenemu hladivu nato električni kompresor doda električno delo, zato se mu zvišata tlak in temperatura. V kondenzatorju oz. toplotnemu izmenjevalcu pride do kondenzacije hladiva, zato se ta utekočini in segreje ogrevan medij. V dušilnem ventilu se nato tekočemu in ohlajenemu hladivu s pomočjo ekspanzijske posode zniža tlak. Z vrnitvijo nazaj v uparjalnik se zaključi krožni proces toplotne črpalke. Ta se ponavlja ves čas delovanja toplotne naprave [11, 13].

Fizikalno nemogoč princip, ko okoliški medij z nižjo temperaturo odda v ogrevalni sistem temperaturo na višjem nivoju, naredimo mogoč z dovodom električne energije. Omogočimo ga preko kompresorja na električni pogon. Pri toplotnih postajah zrak/voda se začetek krožnega procesa začne z električnim ventilatorjem, ki pospeši hitrost zračnega toka in s tem bolje izkoristi toploto okoliškega medija. Poleg kompresorja in ventilatorja se električno energijo porablja tudi za odmrznitev uparjalnika, krmiljenje, regulacijo, itd., kar je seveda odvisno od proizvajalcev toplotnih črpalk.



Slika 2: Shematsko delovanje toplotne črpalke z označenimi glavnimi enotami [14].

4.2 Učinkovitost toplotnih črpalk

Pri toplotnih črpalkah sta poudarjeni toplotna in pogonska moč, ki ju imajo podane vse naprave. Toplotna moč je moč, ki jo črpalka proizvaja pri nazivnih pogojih. Ta je po vrednosti večja od pogonske moči, ki predstavlja potrebno moč za pogon črpalke.

V skladu s standardom EN 14511 učinkovitost toplotne črpalke (COP) v obratovalni točki ocenimo z grelnim številom. Izračunamo ga z razmerjem med pridobljeno toploto iz okolice in vloženim električnim delom (enačba 17), pri katerem moramo upoštevati tudi morebitno porabo ventilatorjev, električnih grelcev, itd. [13].

$$\varepsilon = \frac{Q_{t\check{c}}}{P_{t\check{c}}} \quad (17)$$

Sodobne toplotne črpalke dosegajo grelno število med 2,5 in 6,0, kar pomeni, da na en del vložene električne energije pridobimo med 1,5 in 5,0 delov brezplačne toplote [12].

Seveda se je ob tem potrebno zavedati, da je grelno število odvisno od temperature črpanja toplote, kakovosti proizvajalčeve naprave in od energetskega vira. Pri tem je potrebno upoštevati tudi temperaturni režim ogrevanja, letne energetske potrebe objekta, zahtevan odstotek kritja energetskih potreb objekta s toplotno postajo in starost samega objekta [11].

4.3 Sestava in vrste toplotnih črpalk

Toplotna črpalka temelji na štirih enotah:

- 1) uparjalniku, ki odvzema toploto okoliškemu mediju in jo upari,
- 2) kompresorju, ki s pomočjo električnega dela zviša tlak in s tem zviša temperaturo pare hladilnega sredstva,
- 3) kondenzatorju oz. toplotnemu izmenjevalcu, kjer para kondenzira in tako sprosti toploto mediju za ogrevanje,
- 4) ekspanzijski oz. reducirni ventil, ki to hladilno sredstvo ekspandira na nižji tlak.

Za prenos toplote je potreben medij, ki s spremembo agregatnega stanja prenaša toploto iz okolice v ogrevalni sistem. Kot delovno sredstvo znotraj krožnega procesa se uporablja hladivo, ki se lahko upari že pri temperaturah manjših od 35 °C. Ob tem ne sme biti strupen in imeti škodljivega vpliva na okolje, zato sta dandanes najbolj običajna brezfreonska hladiva R407C in R134a [11, 12].

V osnovi poznamo tri tipe izvedbe toplotnih črpalk glede na medij oziroma okolico, ki ga hladimo in medij, ki ga ogrevamo:

1. zrak/voda

Pri tej vrsti naprav koristimo toploto zunanjega zraka. Njihova prednost so manjši vloženi začetni stroški ter manjši poseg v okolje. Problem gospodarnega izkoristka pa imamo pri temperaturah pod 0 °C, ko imamo v vlažnih pogojih težave tudi z nabiranjem sreža v uparjalniku. Lahko jih postavimo tudi v zaprt prostor (npr. klet), ko koristimo toploto zraka, prostor pa hkrati ohlajamo. Za intenzivnejši pretok zraka skrbi ventilator, ki pa je hkrati lahko zaradi glasnosti moteč za okolico [12].

Glavni sklop črpalke zrak/voda sestavljajo:

- uparjalnik
- ventilator
- ekspanzijski ventil
- kompresor
- kondenzator oz. toplotni izmenjevalec
- električno krmiljenje
- električni grelec

2. voda/voda

Toplotne črpalke lahko za vir toplote uporabljajo tudi podtalno ali površinsko vodo, ki pa mora imeti za gospodarno izkoriščanje vsaj 3 °C. Prednost podtalne vode je celoletna zanesljiva in konstantna temperatura med 6 °C in 12 °C, vendar pa je izvedba celotnega sistema kompleksna in draga. Potrebna je izkopava dveh globokih vrtin, sesalne in ponorne. S pomočjo potopne črpalke iz sesalne vrtine črpamo vodo do uparjalnika, skozi ponorno vrtino pa vodo vračamo nazaj v globino. Pred izgradnjo sistema je zaradi finančnih vložkov izkopa potrebno poznati globino podtalnice, zaradi gospodarnosti pa tudi pretok in temperaturo vode. Potrebna je tudi analiza kemične sestave vode. Ob vsem tem je potrebno pridobiti tudi potrebno soglasje pristojnih organov za uporabo podtalne vode. Površinska voda v naših krajih zaradi prevelikih temperaturnih nihanj ni pogosta [12].

3. zemlja/voda

Koriščenje toplote akumulirane v zemlji ali kamnitih masivih predstavlja zanesljiv energetski vir, saj je temperatura zemlje na globini, nižji od 1,5 m, skoraj konstantna. Obenem izgradnja zahteva velik poseg v okolje. Cevi, ki predstavljajo uparjalnik so položene v obliko spirale ali vzporedno v več plasteh, zavzemajo pa površino 1,5 do 3 krat večjo od površine ogrevanih prostorov. Delovni medij je običajno mešanica alkohola in vode. Poleg kamnitih tal so močvirnata tla najbolj primerna za koriščenje toplote akumulirane v zemlji, suha peščena tla pa so precej slabša [12].

Poleg teh treh najbolj običajnih vrst toplotnih črpalk, pa je možno kot vir toplote koristiti tudi sončno energijo in odpadno toploto iz raznih tehnoloških procesov. Neposredno je sončno

energijo zaradi velikih finančnih vložkov bolje izkoriščati preko solarnih sistemov. Odpadna toplota pa nastaja kot stranski produkt pri raznih obrtnih in industrijskih dejavnostih in je zato njeno pridobivanje praktično brezplačno. Zanimiva je zlasti tudi uporaba odpadne toplote v kmetijstvu, ko se toplota, sproščeno v hlevu ali hladilnici, uporabi za ogrevanje bivalnih prostorov in sanitarne vode [12].

Lahko bi kot vrsto toplotnih črpalk upoštevali tudi toplotno črpalko zrak/zrak, kjer zrak predstavlja ogrevani medij, vendar pa so to običajni klimatizerji, ki ohlajajo in vzdržujejo temperaturo v določenem prostoru in toploto predajajo na zrak v sosednjem prostoru ali v okolico [11].

4.3.1 Kompresor

Večinoma se uporabljajo toplotne črpalke z mehanskim kompresorjem, ki temeljijo na električnem napajanju. Manj razširjena vrsta so absorpcijske toplotne črpalke, ki imajo t.i. toplotne kompresorje. Te pridobijo pogonsko energijo iz različnih energijskih virov, kot so bioplin, fosilna goriva, itd..

Toplotne naprave so v osnovi glasne naprave, saj imajo vgrajen električni kompresor, ki je lahko za okolico zelo moteč. Dobre in običajno dražje imajo vgrajen kompresor, ki je tišji oziroma je ta dobro izoliran. Pri toplotnih črpalkah, ki za vir toplote uporabljajo zrak, dodatno šumnost povzroča tudi ventilator. Zaradi motenja okolja in izkoristka, je sama lega in obrnjenost toplotne postaje izredno pomembnega pomena.

Elektromotorje kot je električni kompresor lahko zaganjamo na več načinov. V odvisnosti od moči motorja in velikosti bremena poznamo:

- direktni zagon,
- stopenjski zagon in
- mehki zagon.

Direkten zagon najhitreje doseže želeno vrednost, vendar pa je zagonski tok tri do sedemkrat večji od nazivnega toka, kar povzroči velik tokovni sunek v omrežju. Stopenjski zagon je že boljši za kakovost električne napetosti, saj povzroči manj tokovnih sunkov. Posledično je zagon počasnejši, vendar hitrejši kot pri mehkem zagonu. Kljub temu pa je za naprave, kot je toplotna črpalka, tak način zagona najprimernejši, saj ne potrebuje sunkovitega zagona in je prijaznejše omrežju.

Dobro dodelane toplotne črpalke problem velikih zagonskih tokov rešujejo z različnimi načini zagonov. Najbolj pogosti so [14]:

- zagonski postopek zvezda-trikot,
- mehki zagon z elektronskim krmiljenjem in
- zagon s frekvenčnim pretvornikom.

Postopek zagona zvezda-trikot je najpogostejše uporabljen zagonski postopek. Fazna napetost je zmanjšana za $\sqrt{3}$, zato pade tok v dovodih na tretjino, zmanjšata pa se tudi vrtilni moment in moč motorja.

Elektronsko omejitev zagonskega toka t.i. mehki zagon omogoča zaganjanje asinhronskih motorjev z bistveno manjšim zagonskim tokom in manjšimi mehanskimi udari. Naraščanje toka in posledično navora je zvezno, brez preskokov. Mehki zagon ima poleg manjših obremenitev električnega omrežja še nekaj pozitivnih učinkov:

- manjšo mehansko obremenitev pogonskih elementov (zobniki, verige, sklopke...),
- zmanjšani hidravlični udari v cevovodih,
- zmanjšanje drsenja pogonskih jermenov,
- zmanjšanje tresenja transportnih trakov.

Naprave za mehki zagon z uporabo tokovnih ventilov zvezno dvignejo napetost na motorju ob njegovem zagonu, od začetne do nazivne napetosti in jo ob zaustavitvi motorja tudi spustijo.

Zagonski vrtilni moment je mogoče močno zmanjšati tudi s frekvenčnimi pretvorniki. To so naprave, ki iz obstoječe enofazne ali trifazne napetosti s fiksno napetostjo in frekvenco elektronsko ustvarijo trifazno napetost s spremenljivo napetostjo in frekvenco. Pri vklopu delujejo z manjšo frekvenco in napetostjo, ki ju postopoma zvišujejo do nazivne vrednosti, na koncu pa vzpostavijo nastavljeno želeno vrednost. Značilnost frekvenčnih pretvornikov temelji na brezstopenjski nastavitvi obratov pogona, konstantnem vrtilnem momentu do nazivnih obratov, visoki dinamiki in preprostem upravljanju. Uporabljajo se v obsegu moči od 0,25 do 700 kW [14].

Zagonski tokovi so ob uporabi teh načinov zagonov manjši tudi do pet krat, kar je veliko boljše za kakovost električne napetosti. Ti načini omogočajo delovanje toplotne črpalke z zadovoljivo močjo, hkrati pa so prijazne tudi do omrežja. Poleg tega je toplotna črpalka tudi

tišja in ima manj neprijetnega pihanja v okolico. Daljša je tudi pričakovana življenjska doba, saj le zmanjšuje in povečuje število obratov glede na temperaturo in nima stalnega vklapljanja in izklapljanja.

4.3.2 Električno krmiljenje in regulacija

Upravljanje toplotne črpalke poteka z elektronskim regulacijskim in krmilnim sistemom v odvisnosti od temperature zunanjega medija oziroma od želene temperature sanitarne vode.

Veličine, kot so napetost, tokovi, vrtljaji in temperatura, lahko krmilimo ali reguliramo. Krmiljenje in regulacija nam omogočata optimalno delovanje naprave, prilagoditev trenutnim zahtevam uporabnika, ekonomičnost, varčnost, večjo varnost in udobje. Krmiljenje grelnega telesa predstavlja upravljanje položaja ventila telesa v odvisnosti od zunanje temperature, ki jo merimo preko temperaturnega tipala. Krmiljenje ustrezno kompenzira motnje, vendar pa ne zazna padca temperature prostora in se nanj ne odzove. Regulacija temperature pa je postopek, kjer se stalno preverja želena temperaturno vrednost z dejansko vrednostjo in se v primeru neujemanja grelna telo ustrezno odzove.

4.3.3 Električni grelec

V času nizkih temperatur in vlažne klime se na uparjalniku kondenzira vlaga, ki lahko zamrzne v plast sreža in preprečuje popoln dotok novega zraka. Tako je delovni proces tokokroga naprave moten, saj ni popolnega pretoka zraka skozi uparjalnik. Delovanje toplotne črpalke je tako oteženo, v skrajnem primeru celo nemogoče, njen izkoristek pa je lahko precej slabši. Odmrznitev lahko preprečimo z električnim grelcem ali z vročo paro, vendar pa s tem povečamo porabo električne energije [11].

5 TOPLOTNE ČRPALKE IN KAKOVOST NAPETOSTI V OMREŽJU

Toplotne črpalke lahko slabšajo kakovost napetosti v elektroenergetskem omrežju, vendar pa velja pa tudi obratno. Motnje v omrežju lahko povzročijo nepravilno delovanje naprave, ustavitev naprave ali pa celo njeno okvaro. Povezanost med delovanjem električnih aparatov in zagotavljanjem standardiziranih napetostnih razmer je torej velika. V naslednjih odstavkih so opisani razlogi za nastanek težav v relaciji toplotnih črpalk in elektroenergetskega omrežja.

5.1 Preobčutljivost toplotnih črpalk

Porast električnih naprav z nelinearnimi karakteristikami povzroča tudi porast motenj, zato je lahko napetostna sinusoida vedno bolj popačena. Toplotne črpalke vsebujejo veliko elektronskih in polprevodniških komponent. Te so precej občutljive na motnje, ki pridejo iz omrežja. Motnje lahko vplivajo na delovanje naprave in s tem povzročajo nezadovoljstvo med uporabniki.

5.2 Preveliki zagonski tokovi

Kompresorji z direktnim zagonom s polno močjo so iz vidika upraviteljev distribucijskega omrežja najmanj želeni. V času vklopa veliki zagonski tokovi povzročajo v elektroenergetskem omrežju napetostne upade in s tem slabšajo kakovost napetosti, obenem pa v napravi povzročajo tudi mehanske udarne obremenitve zaradi velikega zagonskega vrtilnega momenta.

Nazivni tokovi toplotnih črpalk so običajno med 5 A in 30 A, kar za omrežje ni obremenjujoče. Problem pa se pojavi pri vklopu naprave, saj je potrebna velika zagonska moč. Asinhronski motor ima največji tok ob zagonu, ko je motor v kratkem stiku, zato ob priklopu steče iz omrežja velik zagonski tok. Ta lahko povzroči velike padce napetosti v omrežju. Kasneje vrednost toka pade na nivo, ki ustreza delovni točki obratovanja [15].

Toplotne naprave imajo vgrajene električni kompresor, ki se glede na temperaturo notranjosti stalno vklaplja in izklaplja. Ob konstantni napetosti so torej zagonski tokovi lahko precej visoki (tudi do 8-krat višji od nazivnih tokov) in posledično pride do napetostnih upadov ter hitrih napetostnih sprememb v omrežju.

5.3 Prestaro omrežje

Še ne dolgo nazaj elektrika ni bila samoumevna dobrina, dandanes pa so električni vodi med seboj že prepleteni. Potrebno je stalno vzdrževanje, ključen pa je tudi razvoj ter elektrifikacija oddaljenih področij. Starost vodov se zvišuje, obremenjenost teh pa je vedno večja. Distribucijska podjetja ukrepajo le ob pritožbah odjemalcev o slabih napetostnih razmerah.

Pred več desetletji je bilo načrtovanje električne mreže precej drugačno. Običajno je bilo ogrevanje na drva, električnih aparatov ni bilo veliko, električno energijo pa se je večinoma uporabljalo le za razsvetljavo. Tako je bil tudi izračun faktorja istočasnosti drugačen.

Razvoj na področju elektrotehnike pa je močno povečal obremenjenost vodov, ki sčasoma postajajo prešibki. Distribucijska podjetja dobro poznajo zmogljivost mreže in prostor za nove odjemalce, vendar pa jih ti kasneje lahko presenetijo z vzpostavljanjem močnejših naprav, ki oslabijo napetostne razmere omrežja. Ena od takih naprav je toplotna črpalka, s katerimi imajo nepričakovane probleme s kakovostjo napetosti.

Tako je dodana toplotna postaja na delu omrežja lahko delček na tehnični, ki oslabi mrežo ter ostalim odjemalcem povzroča napetostne upade.

5.4 Slabo načrtovano omrežje

5.4.1 Premajhni preseki vodov

Idealno bi bilo do vsakega uporabnika pripeljati vod s presekom 150 mm^2 , vendar pa to ni finančno izvedljivo. Preseki morajo slediti od največjega proti najmanjšim.

5.4.2 Predolgi vodi

Bližje kot bo odjemalec viru, manjši bo padec napetosti.

5.4.3 Premajhna kratkostična moč

S povečanjem kratkostične moči, z ojačitvijo posameznih vodov in transformacij, zmanjšamo motnje in motenja v omrežju in pri odjemalcih [1] .

6 KONKRETEN PRIMER

V januarju 2016 je na podjetje Elektro Gorenjska d.d. zaradi nedelovanja toplotne črpalke prispela pritožba o neustrezni dobavi električne energije in prenizki napetosti. Služba za tehnično podporo obratovanju je na odjemalčevem prevzemno predajnem mestu opravila sedemdnevne meritve kakovosti napetosti. Merjenje so opravili s prefinjenim, robustnim in enostavnim inštrumentom FLUKE PQL 1744, namenjenim za snemanje oz. spremljanje moči in parametrov kakovosti napetosti, ki jih določa standard SIST EN 50160. Glede na standard EN 61000-4-30, ki določa načine merjenja kakovosti napetosti ter zahteve merilnikov je omenjeni inštrument uvrščen v merilni razred B. Ti se uporablja za indikacijo razmer v določenem omrežju, za statistične namene, za reševanje določenih operativnih težav v omrežju in za iskanje vzrokov zanje.

Odjemalec živi v visokopritlični stanovanjski hiši z apartmaji na Bledu. Električno napajanje dobi preko 40 let starega daljnovoda. Nedolgo nazaj je za ogrevanje sanitarne vode in za ogrevanje prostorov vgradil trifazno toplotno črpalko zrak/voda. V letošnji zimi je imel velike težave z ogrevanjem, saj je prihajalo do stalnih prekinitev pri delovanju toplotne naprave, zato je moral kot vir energije uporabiti kurilno olje.

Odjemalec uporablja visokotemperaturni način ogrevanja preko radiatorjev. Nazivna toplotna moč odjemalčeve toplotne črpalke je 18 kW, električni odvzem moči 4,4 kW, COP pa je 3,91. Zunanja enota naprave ima največji obratovalni tok 22,8 A, največjo električno moč 13,7 kW, zahtevane pa so 3x25 A varovalke. Notranja enota je električno šibkejša, saj je največji obratovalni tok je 2,3 A, največja električna moč pa 0,5 kW.

6.1 Napetostne razmere odjemalca

Merilni inštrumenti so v med 5.1.2016 in 12.1.2016 na merilnem mestu zaznali 9845 upadov napetosti, kar kaže na resnično alarmantno stanje.

PQ Log - JUNIPED DISOP table - S:\OE DEE\Meritve_kakovosti\obremenitve\Meritve_2016\KN Radovljica in Bled\TP KLUČE Levstikova 10 Bled.30g

Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20 - < 100 ms	100 - < 500 ms	0.5 - < 1 s	1 - < 3 s	3 - < 20 s	20 - < 60 s	>= 1 min
Swell > 10.00%								
Dip > 10.00%								
10 - < 15 %	4991	2652	1571	278	186	148	8	5
15 - < 30 %						2		4
30 - < 60 %								
60 - < 99 %								
Interruption								1

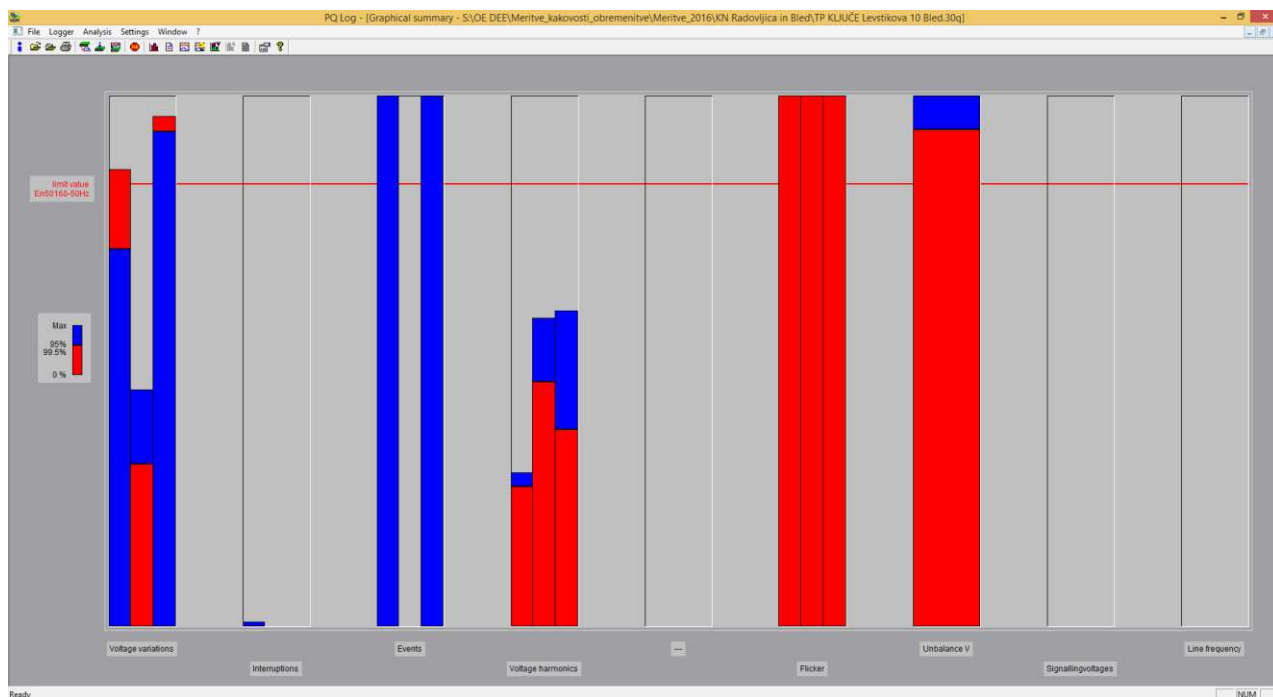
Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
 Dip according to IEC 61000-4-30 measurement guide

Number of swells	0
Number of dips	9845
Number of short interruptions (<3 min)	0
Number of long interruptions (>=3 min)	1
Number of interruptions	1
Total events and interruptions	9845
Total number of allowed events	100
Total number of allowed interruptions	100

Ready

Slika 3: Tabelaričen prikaz trajanja in globine upadov.

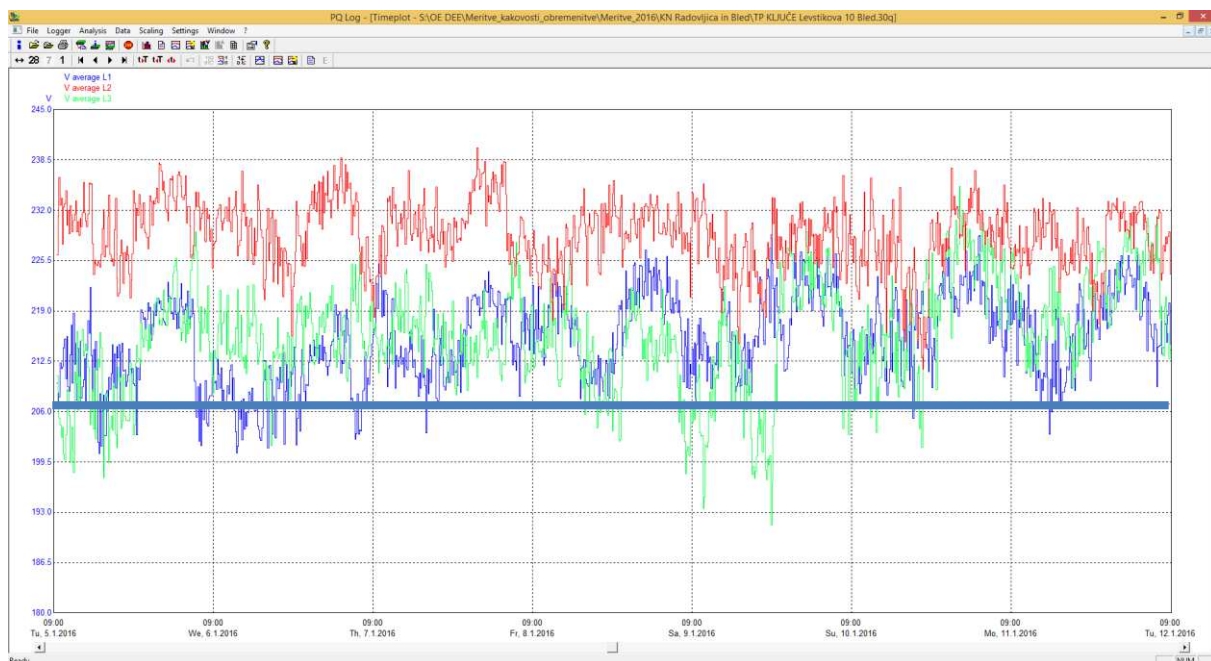
Grafični prikaz parametrov kakovosti napetosti nam na sliki 4 prikazuje izmerjene značilnosti napetosti glede na zahteve standarda SIST EN 50160, katera meja je določena z rdečo črto. Iz slike vidimo, da so bili v merjenem času prekinitve, harmoniki, napetostni signali in frekvenca v skladu z zahtevami standarda. Slabše stanje je bilo pri velikosti napetosti, alarmantno pa je pri neravnotežju napetosti in pri flikerju, ki močno presegata standardizirane meje. Zavedati pa se je potrebno, da je visok fliker v veliki meri posledica metalurško predelovalne industrije na Jesenicah. Motnja se preko prenosnega omrežja Elektra Slovenije bolj ali manj prenaša na celotno področje Elektra Gorenjska, podjetje pa nanjo kot distributer nima neposrednega vpliva. Za ostali dve motnji pa je krivo omrežje, ki potrebuje sanacijo.



Slika 4: Grafični povzetek meritev značilnosti napetosti.

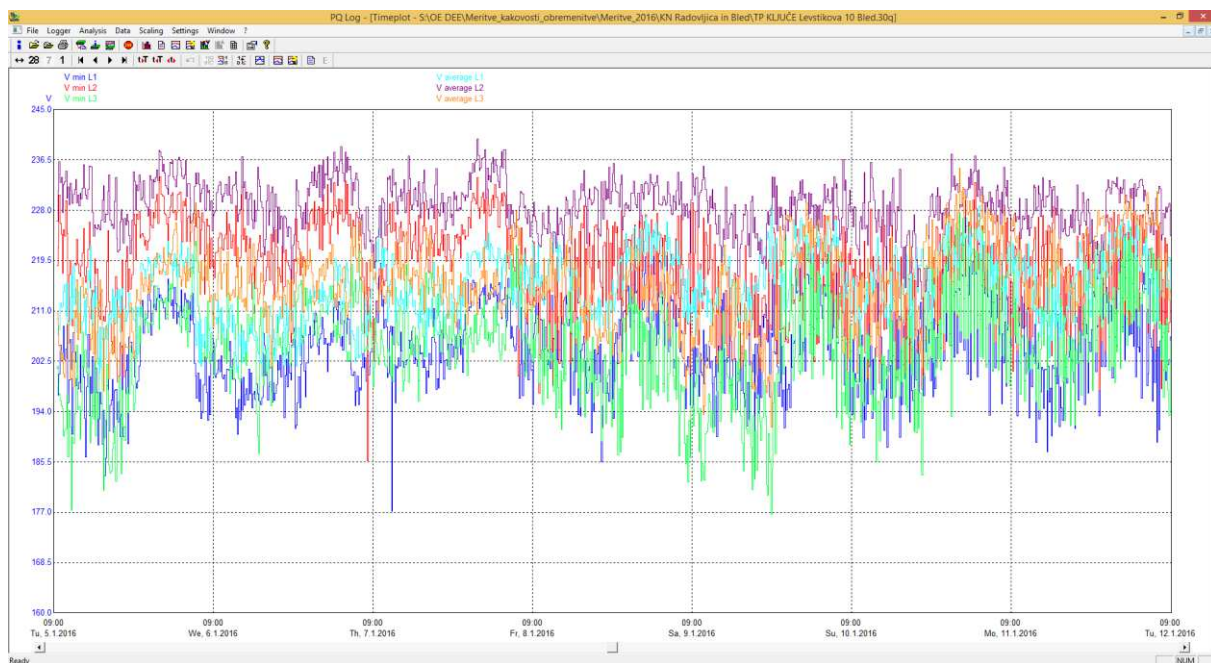
Opomba: Prvi stolpec z leve predstavlja variiranje napetosti, drugi prekinitve, tretji dogodke, četrti harmonske napetosti, šesti fliker, sedmi neravnovesje napetosti, osmi signalne napetosti, zadnji pa nivo frekvence.

Iz slike 5 vidimo, da 10-minutne efektivne vrednosti napetosti niso skladne s standardom SIST EN 50160. Ta predpisuje dovoljeno 10 % odstopanje nazivne napetosti, tako da vrednosti ne smejo biti višje od 253 V oziroma nižje od 207 V, kar je označeno z rdečo črtkano črtona sliki 5. V tem primeru se vsakodnevno pojavljajo upadi napetosti pod določeno mejo 207 V. Kritični sta prva in tretja faza, ki se gibljeta okoli dovoljene meje, druga faza pa je v 10-minutnih efektivnih vrednostih napetosti stalno nad njo.



Slika 5: Tedenski potek 10-minutnih efektivnih vrednosti napajalne napetosti vseh treh faz.

Slika minimalnih vrednosti razkriva tudi številne globlje napetostne upade, kjer nekateri odstopajo tudi do 23 % U_n . Ti se dogajajo v vseh treh fazah.



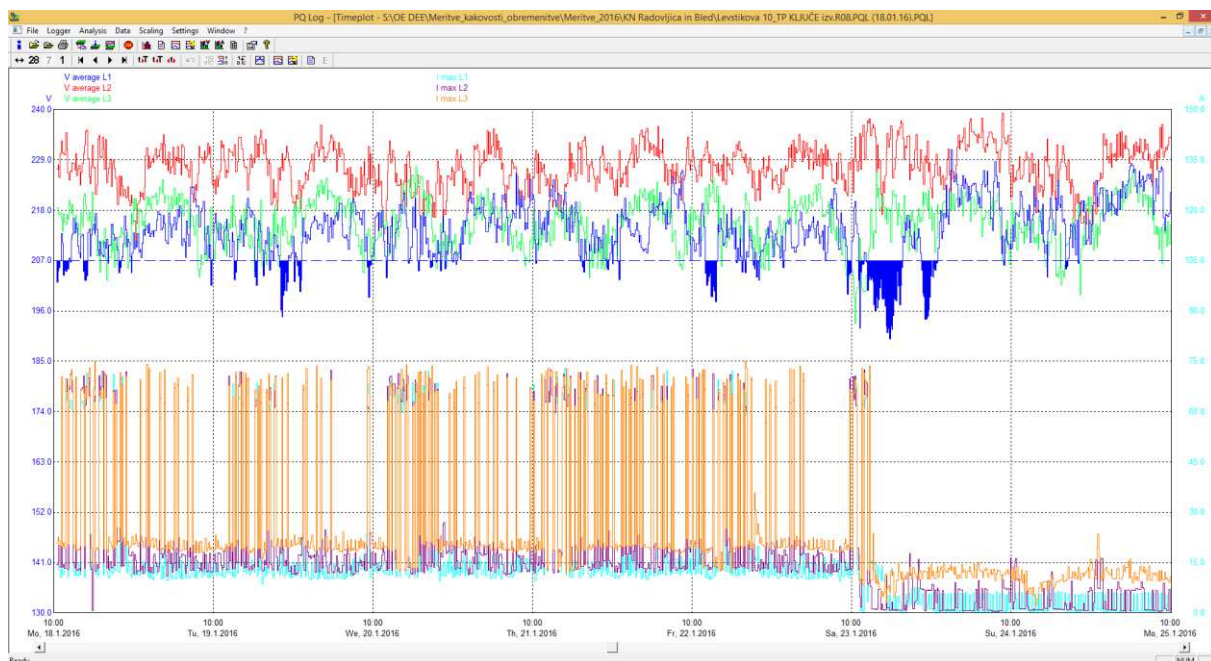
Slika 6: Tedenski potek minimalnih vrednosti napajalne napetosti vseh treh faz.

Podjetje Elektra Gorenjske je med 18.1.2016 in 25.1.2016 opravila tudi meritve toka po vseh treh fazah. Tako kot pred tem je merilni inštrument zaznal 3825 napetostnih upadov, kar priča o resnično slabem stanju mreže. V prvih petih dneh je bila vklopljena toplotna postaja, zato vidimo tokovne sunke v fazi tri tudi do 75 A. Zadnja dva dni je bila ta izklopljena, zato so se ti zmanjšali za približno petkrat. Vidimo tudi, da je v času vklopljene toplotne postaje v eni izmed fazi veliko več napetostnih upadov, kar priča o vplivu naprave na kakovost napetosti. Kasneje vidimo, da se napetostni upadi pojavljajo v manjši meri, ki pa so posledica slabega omrežja na tem območju. Slika 7 prikazuje, da na kakovost napetosti v tem primeru vpliva tako toplotna naprava kot tudi slabo stanje omrežja.



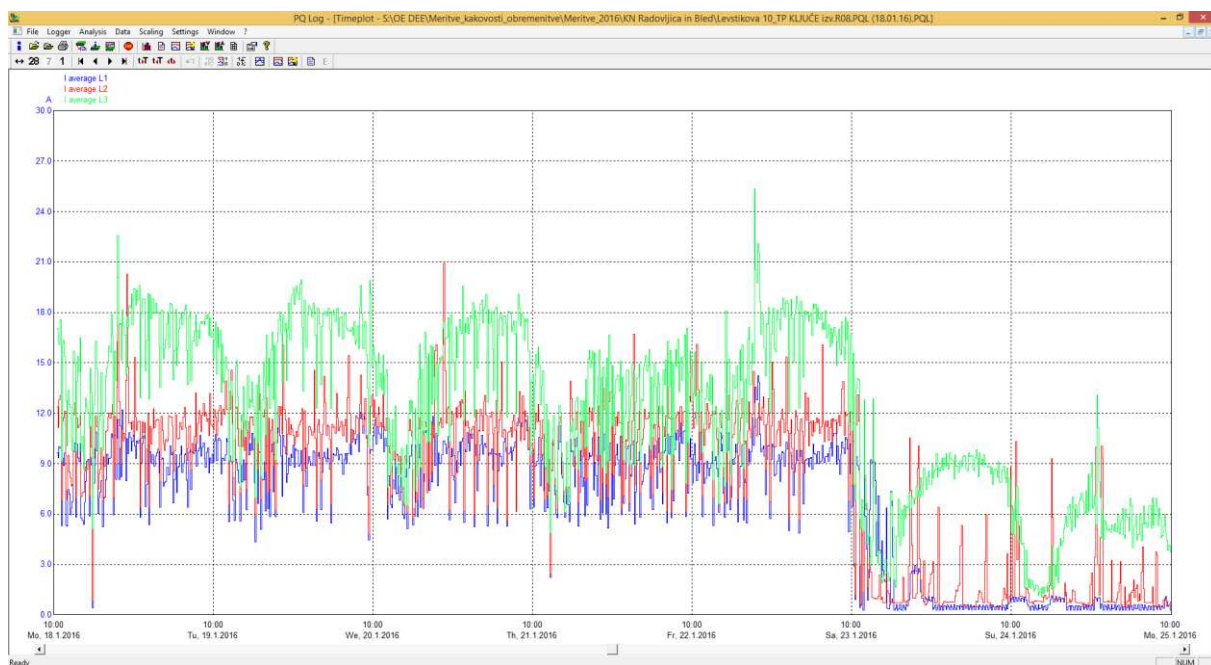
Slika 7: Tedenski potek minimalnih vrednosti napajalne napetosti in prikaz maksimalnih tokov v vseh treh fazah.

Tudi tedenski potek 10-minutnih efektivnih vrednosti napajalne napetosti priča o tem, da je bilo stanje ob vklopljeni toplotni postaji slabše kot ob njenem izklopu. Dokaz slabše mreže pa je nekaj upadov tudi, ko je naprava v izklopljenem stanju.



Slika 8: Tedenski potek 10-minutnih efektivnih vrednosti napajalne napetosti in prikaz maksimalnih tokov v vseh treh fazah.

Pregled 10-minutnih efektivnih vrednosti toka kaže tudi na to, da bo moral odjemalec zakupiti višjo vrednost varovalk. Trenutno ima zakupljeno vrednost 3×20 A.



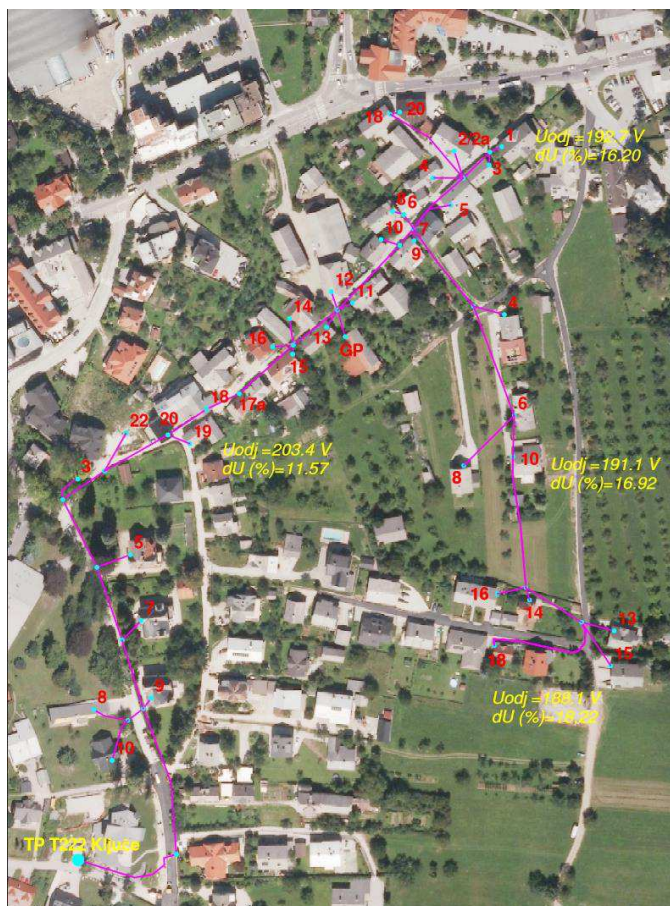
Slika 9: 10-minutne efektivne vrednosti toka.

Analiza meritev je pokazala, da je potreben nujen ukrep na omrežju. Odjemalec se na trenutni mreži nahaja na koncu omrežja, kjer je padec napetosti najvišji. Po izračunih naj bi bil padec napetosti za te odjemnike večji kot 20 % U_n . To pomeni, da namesto predvidenih 230 V prejmejo le okrog 180 V.

Služba za razvoj Elektra Gorenjske je problem kasneje podrobneje obdelala in predstavila predloge za rešitev neustreznih napetostnih razmer.

6.2 Obstoječe NN omrežje

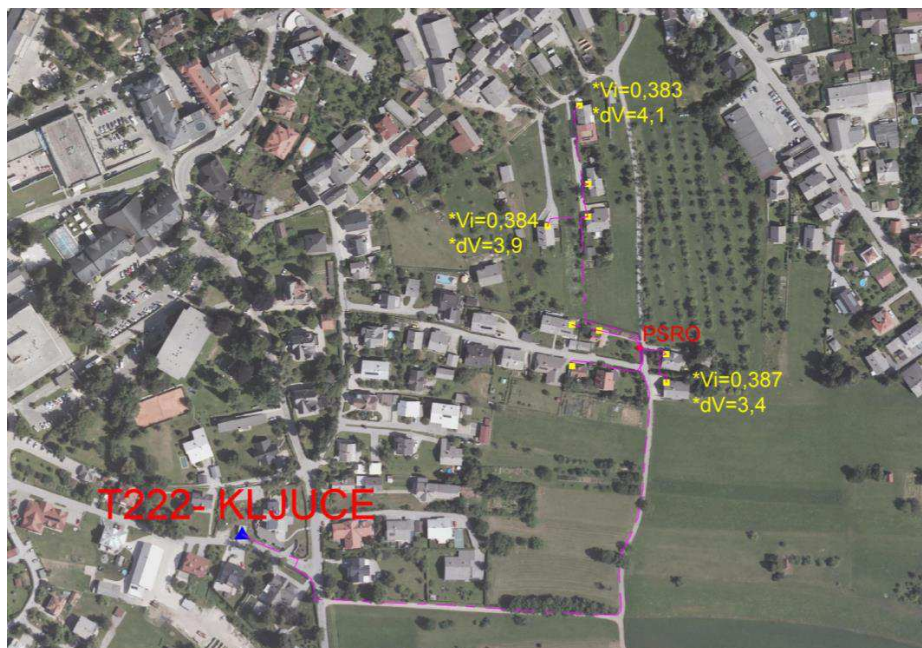
Merilno mesto odjemalca je napajano preko TP (T222 Ključce – izvod R08). Hrbtenica izvoda je grajena iz SKS NN kabla preseka $3 \times 70 + 71,5 \text{ mm}^2$, dolžine približno 800 m. Glede na dolžino voda in število napajalnih odjemalcev so izračunani in izmerjeni padci napetosti pričakovani. Padci napetosti na delu omrežja so prikazani na sliki 10.



Slika 10: Obstoječe omrežje.

6.3 Predlog rešitve neustreznih napetostnih razmer

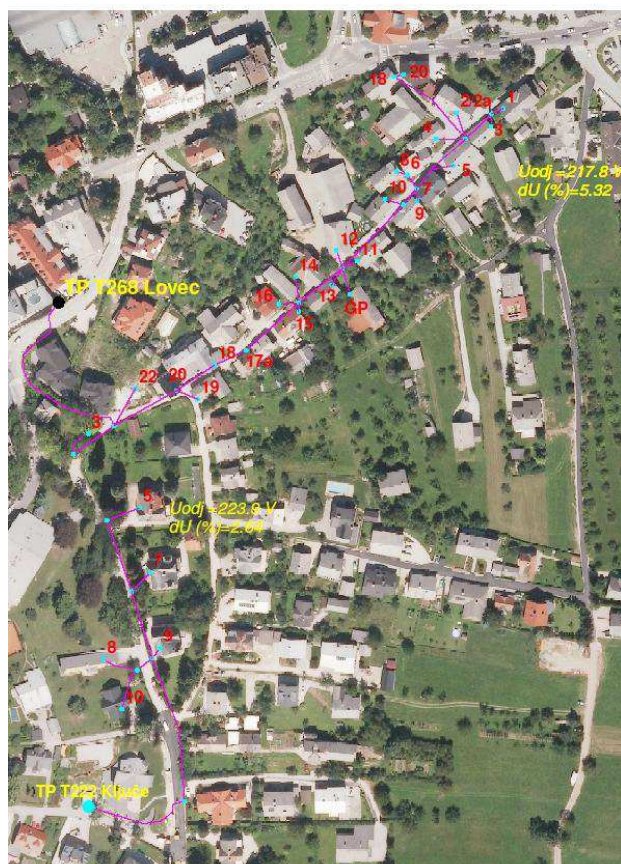
Kot rešitev se napajanje odjemalca z neustreznimi napetostnimi razmerami predlaga preko novega NN kabla preseka $4 \times 150 \text{ mm}^2$. Tega naj bi položili po novi trasi, ki je na sliki 11 označena z vijolično prekinjeno črto. Na ta kabel bi priključili tudi ostale odjemalce s številkami 13, 14, 15, 16, 18, 4, 6 in 8.



Slika 11: Predlagana in verjetno upoštevana rešitev.

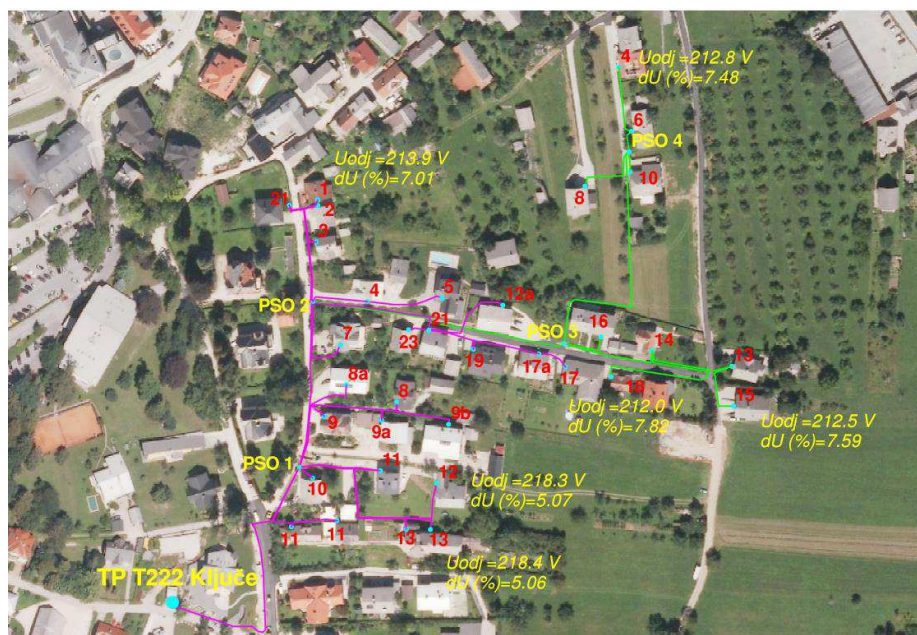
Cilj podjetja je tudi razbremeniti preobremenjeno TP Ključe, zato bo nekaj odjemalcev preklopljenih na napajalni vir TP T268 Lovec, kar lahko vidimo na sliki 12. Potrebna bo položitev novega krajšega kablovoda preseka 150 mm^2 za sklenitev povezave med TP Lovec in omenjenimi odjemalci.

V bližnji prihodnosti so na zelenih površinah načrtovanje tudi novogradnje, ki bodo napajane preko TP Ključe, zato bo preklon določenih odjemalcev na manj obremenjeno TP Lovec nujen in neizogiben.



Slika 12: Napajani odjemalci preko TP Lovec.

V začetku je bila predlagana drugačna rešitev, ki pa je bila zaradi nestrinjanja lastnikov, mimo katerih bi potekala položitev kabla, zavrnjena. Na sliki 13 je nesprejeta rešitev prikazana z zeleno barvo. Predlagano je bilo podaljšanje izvoda od PSO 2 do novih PSO 3 in PSO 4 s kablom preseka $4 \times 150 \text{ mm}^2$. Tako bi iz nove PSO 3 žarkasto napajali odjemalce s številko 13, 14, 15, 16, 18, iz nove PSO 4 pa odjemalce s številko 4, 6, 8 in 10.



Slika 13: Prvotno predlagana rešitev, ki je bila zavrnjena.

Kljub zavrnjeni prvotni rešitvi so strokovnjaki iz podjetja Elektro Gorenjska d.d. razvili novo rešitev, ki bo zagotovila ustrezne napetostne razmere prizadetim odjemalcem. Rešitev je uporabna tudi ob širitvi stanovanjskega naselja, saj je na tem območju še precej zelenih površin, na katerih bodo v prihodnje stale nove stavbe.

6.4. Sklep konkretnega primera

Na podlagi opravljenih meritev in preučitve danega primera lahko zaključim, da je problem v prešibkem omrežju, ki ne more več zagotavljati kakovostnih napetostnih razmer. Daljnovod je že star in ni bil načrtovan za odjem tolikšne električne energije. Zato ga je potrebno sanirati. Toplotna črpalka odjemalca je visoko kakovostna, uporablja mehki zagon in ne vnaša prevelikih motenj v elektroenergetsko omrežje.

Kljub temu pa bo na obravnavanem merilnem mestu potrebno zakupiti višjo priključno moč, saj opravljene meritve 10-minutnih efektivnih vrednosti toka dokazujejo občasno preseganje zakupljenih vrednosti toka. Odjemalec ima apartma, zato je trenutna zakupljena vrednost varovalk 3x20 A prenizka.

7 SKLEP

Toplotne črpalke so v osnovi precej občutljive naprave, saj lahko elektromagnetne motnje iz omrežja vplivajo na njihovo delovanje in ga v skrajnem primeru tudi prekinajo. Distribucijska podjetja si želijo v čim večji meri povečati kratkostično moč in s tem zmanjšati motnje v omrežju in vpliv motenj na odjemalčeve naprave.

Toplotne naprave so lahko podvržene tudi velikim zagonskim tokovom pri vklopljanju kompresorja. Nekateri proizvajalci se tega zavedajo, zato njihove naprave že uporabljajo načine zagonov, ki preprečujejo visoke vrednosti tokov ob vklopu. Problematične so zlasti tiste cenejše, ki z direktnimi zagoni povzročajo preglavice distribucijskem podjetjem s hitrimi napetostnimi spremembami in globokimi napetostnimi upadi v omrežju. Te motnje se po omrežju prenesejo na vse odjemalce, ki se nahajajo za povzročiteljem. Distribucijsko podjetje je dolžno zagotoviti standardizirane napetostne razmere, vendar pa v primeru prevelikih napetostnih sunkov od odjemalca, lahko zahteva zmanjšanje teh. Zagonske težave lahko poleg mehkega zagona, rešimo tudi z zagonskim postopkom zvezda-trikot ali z zagonom s frekvenčnim pretvornikom.

Poleg zagonskega postopka moramo biti ob nakupu toplotne črpalke pozorni tudi na glasnost naprave, ki mora biti ustrezno zvočno izolirana ter postavljena na primerno mesto, ki ni gladko in zvočno odbojno, hkrati pa tem bolj izkoristi toploto akumulirano v okolici. Po glasnosti izstopajo toplotne črpalke zrak/zrak. Nivo zvoka lahko zmanjšamo z vgradnjo odbojne plošče, ki smer zraka usmeri navzdol ali z raznimi konstrukcijskimi ovirami.

Druga veja problemov pri delovanju toplotnih naprav pa je staro oziroma slabo načrtovano omrežje. Omrežje, narejeno pred leti, najverjetneje ni bilo načrtovano za tako velik odjem. Potrebna je sanacija premalo zmogljivega omrežja s pogledom na prihodnost in možnostjo dodajanja novih odjemalcev. V teh časih se distribucija usmerja v kablovode, kjer je zamenjava vodnika kompleksnejša in ekonomsko dražja kot pri daljnovodih, zato je načrtovanje še toliko pomembnejše. Napake pri načrtovanju pa se dogajajo tudi danes. Izbira premajhnih presekov vodnika na račun zmanjšanja stroškov ali pa površnost preučitve omrežja, kjer izberemo širši vodnik za ožjim, lahko hitro prineseta težave z kakovostjo napetosti in posledično potrebno sanacijo. Končni rezultati so višji stroški in več dela.

Pristaši toplotnih črpalk toplotne naprave zagovarjajo in se v primeru problemov sklicujejo na to, da so ti težava distribucijskih podjetij in slabega omrežja. Nasprotno razmišljujoči pa

imajo toplotne črpalke za nedodelane naprave, ki slabijo kakovostne napetostne razmere. Na njih kažejo kot na izvor težav, ki jih morajo rešiti. Temu seveda ni tako, saj so črpalke le večja električna bremena podobna mnogim napravam, ki jih imamo doma.

Kot neodvisen opazovalec lahko zaključim, da so toplotne črpalke kot močnejši porabnik, precej presenetile distribucijska podjetja. Problem toplotnih postaj je zlasti njihova preobčutljivost na motnje. Če so črpalke slabše kvalitete, pa lahko tudi same povzročajo prevelike napetostne upade. Problem je v omrežju, ki je večkrat prestaro ali slabo načrtovano. Za ustrezno kakovost napetosti so odgovorni tako proizvajalci naprav kot distribucijska podjetja, na uporabnikih pa je, kakšno kvaliteto naprave vzamemo. Kvalitetnejša je sicer dražja, vendar pa hkrati sami sebi in souporabnikom preveč ne oslabimo mreže.

V današnjem času se ob zelo sproščenem trgu električne energije močno povečuje število električnih strojev in naprav, ki obremenjujejo distribucijsko omrežje. Standard SIST EN 50160 predpisuje novo merilo kakovosti dobavljene napetosti. Ta ne prinaša le prednosti kupcem in težave dobaviteljem, saj bodo morali tudi kupci paziti, da ne bodo po nepotrebnem obremenjevali omrežja. Dandanes je skorajda nezmotljivo mogoče odkriti povzročitelja večine motenj. Zato je ena od dolžnosti prodajalcev električnih aparatov tudi prodajanje standardiziranih električnih aparatov, ki nazaj v omrežje ne vnašajo prevelikih motenj. Tako kot za čisto vodo, smo vsi odgovorni tudi za čisto električno energijo.

8 VIRI IN LITERATURA

- [1] ŽLAHTIČ, Franc, MATVOZ, Dejan, ZORMAN, Mateja, Motnje in motenja v elektroenergetskih omrežjih, Elektrotehniška zveza Slovenije. Ljubljana, 2003
- [2] PAPIČ, Igor, BLAŽIČ, Boštjan, PFAJFAR, Tomaž, Zagotavljanje različnih ravni kakovosti električne energije v distribucijskih omrežjih, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2010
- [3] EIMV, Razmerje med kratkostično močjo omrežja in močjo porabnika kot kriterij za priklop nelinearnih porabnikov ter obratovanja in načrtovanja distribucijskega omrežja, študija, oktober 2002
- [4] Spletna stran podjetja Elektro Gorenjska, d.d. (20.5.2016), <http://www.elektro-gorenjska.si/>
- [5] Spletna stran podjetja Elektro Gorenjska, d.d., kakovost oskrbe in kakovost napetosti (20.5.2016), <http://www.elektro-gorenjska.si/kakovost-oskrbe/kakovost-napetosti>
- [6] Elektro Gorenjska, d.d., ELGO, poslovno glasilo, september 2012
- [7] Spletna stran Agencije za energijo, Neprekinjenost napajanja (20.5.2016), <http://www.agen-rs.si>
- [8] Elektro Gorenjska, d.d., ELGO, poslovno glasilo, marec 2012
- [9] ČEBRON, Robert, Dimenzioniranje vodnikov za notranje instalacije, Evropski socialni sklad EU, Ministrstvo za šolstvo in šport, študija, junij, 2012
- [10] AŽBE, Valentin, Enosmerna porabniška omrežja z razpršeno proizvodnjo iz obnovljivih virov, Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2003
- [11] Spletna stran Gradbenega inštituta ZRKM, toplotne črpalke (20.6.2016), <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT17.htm>
- [12] PUŠNIK, Igor, Preskušanje in energetska učinkovitost, Fakulteta za elektrotehniko, študijska skripta, 2011
- [13] Spletna stran Lokalne energetske agencije za Pomurje, toplotne črpalke (20.6.2016), http://www.lea-pomurje.si/news_head_files/7._g._Bojan_GROBOV_EK.pdf

[14] BASTIAN, Peter idr., prevajalci VADLJA, Sibila..., Elektrotehniški priročnik, Tehniška založba Slovenije, d.d., 2013

[15] Spletna stran, značilnosti električnih strojev (21.6.2016),
ftp://ftp.scv.si/vss/franc_stravs/PRENOVLJENI%20PROGRAMI%20Elektronika,%20Mehatronika/EES_pdf/Microsoft%20Word%20-%20EES2%20_77-95_%20%20OMR2.pdf