

# Uporaba frekvenčnih pretvornikov v sistemih ogrevanja in klimatizacije

Bojan Mohorko

Evaco d.o.o.

Židovska 14, 2000 Maribor

[bojan.mohorko@evaco.si](mailto:bojan.mohorko@evaco.si)

## *Electronic Variable speed drives in Heating Ventilation and Air Conditioning systems (HVAC)*

*Abstract: Electric energy efficiency are an important issue in all economics areas. Using Variable Speed Drives to control water and air flow in HVAC systems we can significant decrease operating costs. By changing the rotation speed using VSD, the pump or fan head may be modified and can therefore be selected to suit the requirements. Lowering the pump and fan head, when possible, reduces the pumping power costs.*

### 1 Uvod

Zniževanje porabe električne energije in s tem zmanjševanje obratovalnih stroškov je cilj vsakega investitorja. Elektromotorji so zaradi svoje velike porabe energije (porabijo okoli 35% celotne električne energije) in razširjenosti najpomembnejši porabnik. Motorni pogoni se najpogosteje uporabljajo v industriji, vendar pa jih je veliko tudi v zgradbah, trgovskih in poslovnih objektih, kjer je njihova uporaba predvsem v ogrevanju in klimatizaciji. Čeprav elektromotorni pogoni obratujejo sorazmerno ekonomično, pa v njih prihaja do določenih izgub, ki jih je možno zmanjšati. Znižanje obratovalnih stroškov je dodatno možno z uporabo energetske varčnih motorjev (motorjev z višjim izkoristkom), elektronsko regulacijo hitrosti vrtenja (frekvenčni regulator) ter uporabo sodobnih porabnikov (nove varčne izvedbe črpalk in ventilatorjev). V članku se bomo posebej posvetili uporabi frekvenčnih pretvornikov v povezavi z asinhronskim elektromotorjem uporabljenih v zgradbah za potrebe ogrevanja in klimatizacije. Prikazali bomo možnosti prihranka energije ter se posvetili določenim posledicam uporabe

frekvenčnih pretvornikov, ki se izkazujejo predvsem v vnašanju višjeharmonskih komponent v omrežje.

### 2 Asinhronski motor

Elektromotorji oziroma elektromotorni pogoni so zaradi velike porabe električne energije vredni razmisleka kako s pravilno izbiro elektromotornega pogona in smotrno uporabo le tega prihraniti pri porabi električne energije. Pri tem mislimo predvsem na pogone, ki so trajno v pogonu in pri katerih krmilimo želeno veličino na različne načine (z dušenjem, z bypassom, ...) kot na primer pri ventilatorjih in črpalkah. Asinhronski motor kot pogonski stroj ima veliko dobrih lastnosti katere ga v industriji postavljajo v položaj, kjer je praktično nezamenljiv. Te lastnosti so: enostavna izvedba, velik izkoristek, veliko različnih oblik in zelo različni pogoji dela, nizki stroški vzdrževanja ter nenazadnje enostavno upravljanje. Poudariti pa moramo da so bile rešitve reguliranih asinhronskih motorjev (sprememba vrtljajev asinhronskega motorja) do nedavnega dražje, motorji so delovali s slabšim izkoristkom, bili so večji ter so bili dražji za vzdrževanje. Poseben problem je predstavljala sprememba vrtljajev asinhronskega motorja s kratkostično kletko, kjer smo vrtljaje lahko spreminjali samo s spremembo polovih parov. Navedena rešitev pa je pokrivala zelo malo področje skupnih potreb po cenenem, zanesljivem elektromotorju z visokim izkoristkom ter reguliranim številom vrtljajev.

### 3 Frekvenčni pretvornik

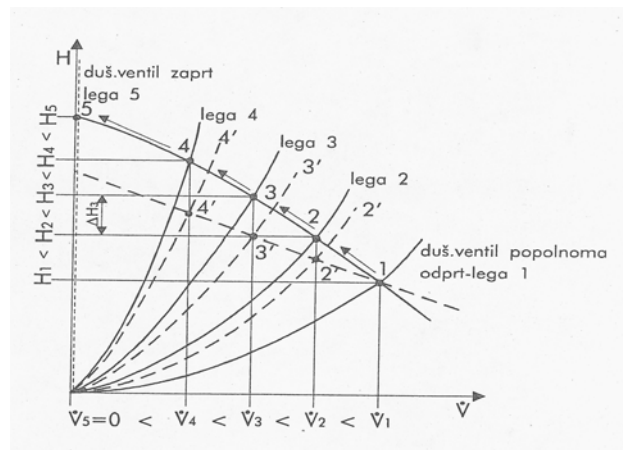
Pretvorniki električne energije prilagajajo različne vire električne energije porabnikom ter imajo pomembno vlogo v ojačevalnih in regulacijskih tokokrogih kakor tudi pri

prilagoditvi različnih virov energije potrošnikom. Vse naprave, ki črpajo energijo iz el. omrežja ter jim le ta ne ustreza po obliki, amplitudi ali frekvenci, potrebujejo pretvornike. Regulirani pogoni so nujnost v standardni industrijski praksi saj bi brez njih le težko zadovoljevali zahteve po večji kvaliteti, natančnosti in zanesljivosti. Asinhronski motor je veljal kot neuporaben za dinamično zahtevne regulirane procese. Razvoj hitrih stikalnih elementov ter krmilnikov pa ima za posledico, da srečamo vedno več reguliranih pogonov realiziranih z asinhronskim motorjem (ki velja za robusten, dobro zaščiten pred vplivi okolja in zanesljiv motor) v povezavi s frekvenčnim pretvornikom. Običajno tak asinhronski motor deluje s konstantnimi vrtiljaji, vendar nam nove zahtevne tehnologije ter predvsem varčevanje energije narekujejo zahteve po spremembi vrtiljajev.

### 3.1 Črpalke

Obtočne črpalke v ogrevalnih sistemih vzdržujejo pretok tako, da ustvarijo diferenčni tlak. Reguliranje pretoka črpalke je možno s spreminjanjem karakteristike cevododa ali karakteristike črpalke. Črpalka in sistem sta vezana zaporedno, kar pomeni, da je pretok v obeh delih enak. Črpalka ustvarja tlačno razliko  $H$  v odvisnosti od pretoka  $\dot{V}$  (krivulja  $\dot{V}-H$ ). Pretok medija skozi omrežje povzroča tlačni padec, ki je praktično premo sorazmeren s kvadratom pretoka – krivulja cevododa. Presečišče teh dveh krivulj predstavlja ravnovesje stanja oziroma obratovalno točko. Koordinate te točke sta pretok  $\dot{V}$  in tlačna višina  $H$  oziroma tlačni padec  $\Delta p$ . V praksi je pogost slučaj, da je potrebno regulirati pretok, ker se potrebe časovno spreminjajo. Poznamo predvsem tri načine reguliranja črpalke:

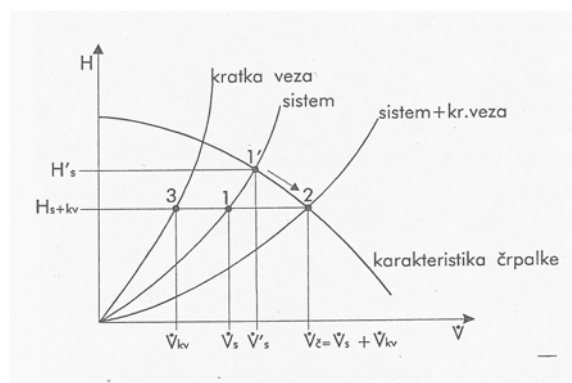
1. dušilna regulacija, kjer spreminjamo karakteristiko cevododa tako, da s pomočjo ventila v tlačnem delu cevododa povečamo upor in s tem zmanjšamo pretok. Pri tem je pretok črpalke enak pretoku v sistemu  $\dot{V}_{\dot{c}} = \dot{V}_s$



Slika 1: Primer regulacij pretoka z dušenjem

Dušilna regulacija je energetsko neugodna, ker mora črpalka premagovati večje upore pri zmanjšanem pretoku. Razen tega lahko zvišanje tlačne višine povzroči tudi obratovalne težave. Pri izvedbi z dušenjem je primernejša črpalka z bolj položno karakteristiko. V praksi je takšno dušenje pogojeno na primer z delovanjem termostatskih ventilov v sistemih ogrevanja.

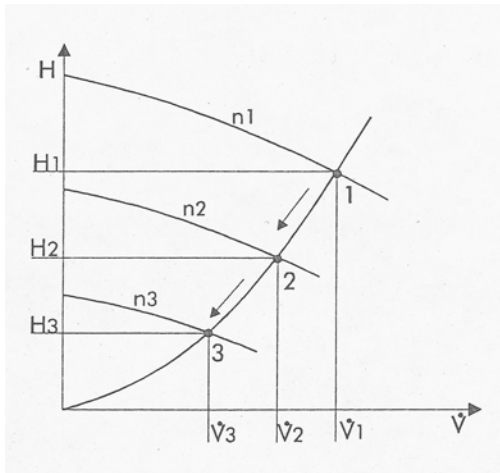
2. obvodna regulacija (bypass) regulacija z vračanjem dela tekočine iz tlačnega dela cevododa v sesalni skozi obvodni bypass cevodod ( $\dot{V}_{\dot{c}} > \dot{V}_s$ )



Slika 2: Primer obvodne regulacije

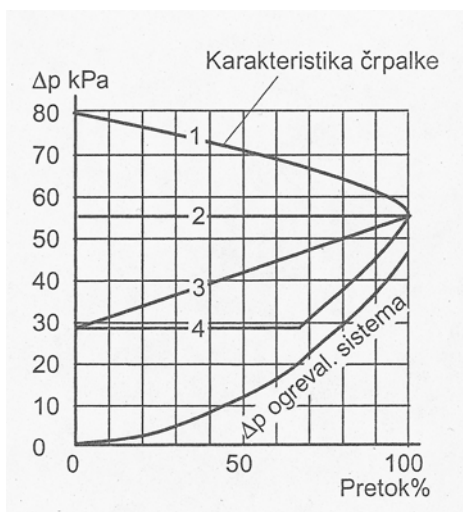
Značilnost obvodne regulacije je, da je pretok, ki ga daje črpalka, večji od pretoka v sistemu. V praksi so primeri, podobno kot pri dušenju s termostatskimi ventili, da delovanje sistema narekuje občasno vračanje dela tekočine iz tlačnega v sesalni vod npr. skozi pretočni ventil, ki je vgrajen neposredno pri črpalci.

3. regulacija s spremembo števila vrtljajev črpalke, kjer spreminjamo karakteristiko  $\dot{V}$  - H črpalke.



Slika 3: Regулacija s spremembo vrtljajev

Energetsko najbolj ugoden princip regulacije je regulacija s spremembo števila vrtljajev. Pri tem se karakteristika črpalke prilagaja karakteristiki sistema, tlačna višina ustreza tlačnemu padcu v sistemu pri zahtevanem pretoku – moč črpalke se prilagaja dejanskim potrebam. Razlog za uporabo črpalke s spremenljivim številom vrtljajev je lahko že vgradnja termostatskih ventilov, ki s svojim delovanjem povzročajo spremembo pretoka.



Slika 4: Karakteristike regulirane črpalke

Gelede na princip delovanja črpalke ločimo tri načine regulacije hitrosti črpalke:

1. s konstantnim diferenčnim tlakom (2)
2. s proporcionalnim dif. tlakom (3)

3. z diferenčnim tlakom, ki je vzporeden sistemski karakteristiki (4)

Pri centrifugalnih obtočnih črpalakah veljajo z zadostno natančnostjo zakoni proporcionalnosti, ki določajo odvisnost pretoka  $\dot{V}$ , tlačne višine H in moči P od števila vrtljajev in sicer:

$$\frac{\dot{V}2}{\dot{V}1} = \frac{n2}{n1} \quad (1)$$

$$\frac{H2}{H1} = \left(\frac{n2}{n1}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{p2}{p1} = \left(\frac{n2}{n1}\right)^3 \quad (3)$$

Število vrtljajev ima pomemben vpliv tako na izkoristek črpalke kakor tudi na nivo šuma (šum na priprtih termostatskih ventilih). Prav tako ne smemo pozabiti, da so se v zadnjem času pojavili na tržišču tudi tako imenovani balansirni ventili, ki omogočajo uravnotežanje hidravličnega sistema po posameznih vejah (dvižnih vodih). V neuravnoteženih sistemih so se kot posledica pojavljale neenakomerne temperature po prostorih zato se je izbrala močnejša črpalka, ki je najbolj oddaljenem dvižnem vodu in radiatorju zagotavljala ustrezen pretok, kar je imelo za posledico pregrevanje bližnjih ogreval. Z izbiro večje črpalke smo problem neuravnoteženega sistema samo zakrili in enormno povečali obratovalne stroške. V nemški literaturi je navedeno, da je danes 95% hidravličnih sistemov neuravnoteženih ter da so črpalke predimenzionirane 2-4 krat. Samo hidravlično uravnotežen sistem ogrevanja zagotavlja ob vgrajeni primerni črpalci (ob spremenljivem pretoku je nujna vgradnja frekvenčno regulirane črpalke) ustrezno ugodje v ogrevalnih prostorih in normalne obratovalne stroške.

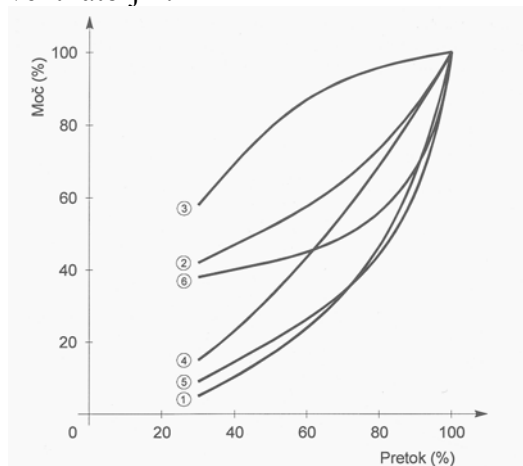
### 3.2 Klimatske naprave in ventilatorji

Klimatske naprave, ki pripravljajo svež zrak za prezračevanje, ogrevanje in hlajenje so sestavljene iz posameznih sekcij za pripravo zraka, ki so odvisne od samih tehnoloških zahtev prostora. Poleg zahtevane temperature in vlage v prostoru moramo zagotoviti primerno

razporeditev in hitrost vpiha po prostoru. Klimatske naprave nam ob primernem načrtovanju omogočajo velike prihranke energije pri sami pripravi zraka (prosto hlajenje ponoči) kakor tudi pri dobavi potrebne spremenljive količine zraka v prostor (na osnovi meritev kvalitete zraka v prostoru ter z variabilnim klimatizacijskim sistemom). Za doseganje zelenih klimatskih razmer v prostoru se za krmiljenje in regulacijo ventilatorjev preko motorjev uporabljajo naslednji principi:

1. ventilatorji z enohitrostnimi motorji
2. ventilatorji z večhitrostnimi motorji
3. stopenjski napetostno regulirani motorji
4. regulacija hitrosti s frekv. pretvornikom

Principi regulacije pretoka zraka pri ventilatorjih:



Slika 5: Principi regulacije pretoka zraka

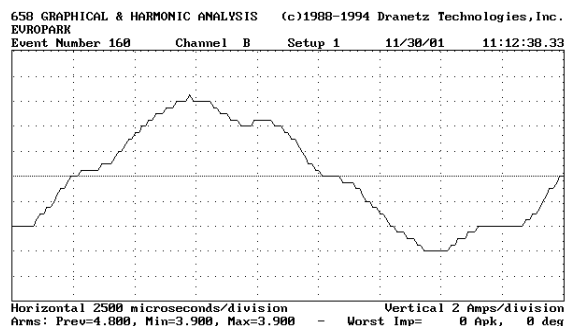
1. regulacija hitrosti vrtenja
2. dušenje na tlačni strani ventilatorja
3. dušenje na ustju ventilatorja, sesalna stran
4. preko hidravlične sklopke
5. s spremembo kota ventilatorskih lopatic
6. z regulacijo naklona ventilatorskih lopatic

Klimatizacijski sistemi s spremenljivim volumskim pretokom zraka omogočajo znatne prihranke električne energije, ki pa predstavlja enega glavnih stroškov v klimatizacijskih sistemih. Ta prihranek je danes bistveno večji, saj se je z razvojem frekvenčnih pretvornikov bistveno povečal izkoristek systemskega sklopa ventilator-elektromotor- frekvenčni pretvornik,

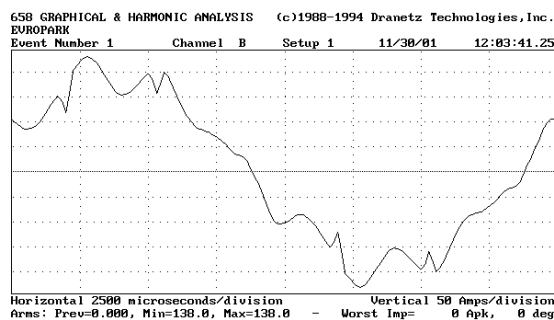
kot je bilo včasih, ko so se volumski pretoki spreminjali le s pomočjo dušilnih regulacijskih žaluzij ali pa z regulacijo vstopnega vrtnca na ustju ventilatorja. Pri variabilnem sistemu v prostor dovajamo zrak konstantne temperature ter se npr. poleti pri zmanjšani potrebi po hlajenju lokalni regulatorji pretoka na dovodih v prostore zapirajo, zato se upor v kanalski mreži in s tem statični tlak dovodnega ventilatorja povečuje. Da prihranimo pri električni energiji in da preprečimo povečano šumnost mora biti ventilator opremljen s frekvenčnim pretvornikom. Regulacija volumskega pretoka dovodnega in odvodnega ventilatorja deluje tako, da na določenem mestu v glavnem kanalu vzdržujemo statični tlak na konstantni vrednosti.

#### 4 Analiza stanja v omrežju v velikem trgovskem objektu

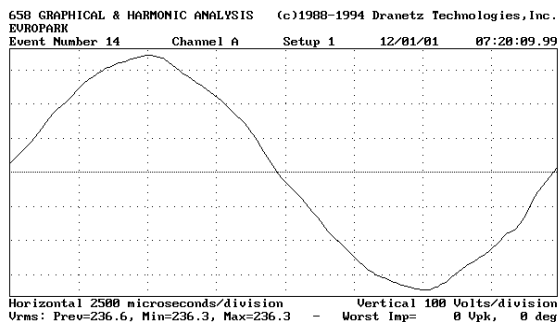
Objekt na katerem smo izvajali meritve je tipičen trgovski objekt, kjer je električno napajanje izvedeno preko transformatorja 10/0,4 kV. Za kompenzacijo jalove energije so instalirani 12 stopenjski kompenzatorji energije.



Slika 6: El. tok na sekundarju transformatorja



Slika 7: Tok na dovodu v kompenzator



Slika 8: Oblika fazne napetosti na zbiralkah

	izmerjene vrednosti		
merjeni parametri	0,4 L1	0,4 L2	0,4 L3
Frekvenca minimum (Hz)	49,90		
Frekvenca maksimum (Hz)	50,10		
velikost napetosti minimum (V)	232,46	233,07	233,27
velikost napetosti maksimum (V)	242,73	244,08	243,80
odkloni nanapetosti navzdol (V)	234,26	234,57	234,65
odkloni nanapetosti navzgor (V)	240,46	241,17	240,81
fliker PLT	0,17	0,17	0,17
upadi napetosti	0	0	0
kratkotrajne prekinitve	0	0	0
dolgotrajne prekinitve	0	0	0
Občasne prenapetosti	0	0	0
prehodne prenapetosti	0	0	0
neravnotežje napajalne napetosti	0,00		
harmoniki THD	3,22	3,69	3,41
3. harmonik	1,93	1,66	1,77
5. harmonik	2,49	2,952	2,75
7. harmonik	1,68	1,91	1,72

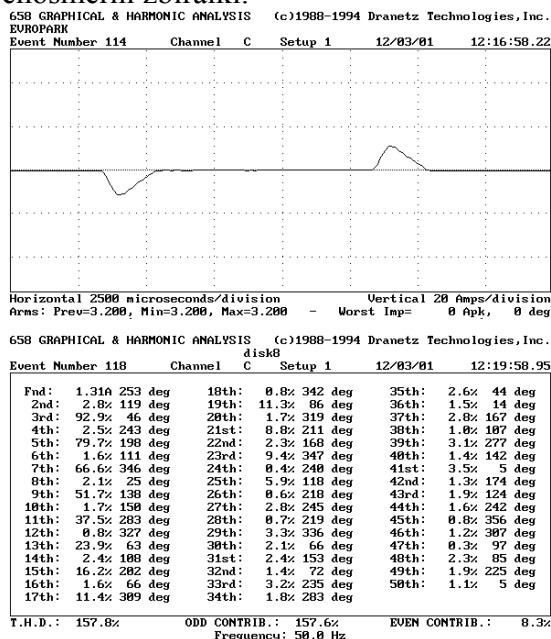
Tabela 1: Harmonika napetosti

Analiza napetosti po standardu SIST EN 50160 kaže na dobro kvaliteto napetosti na dovodu električne energije. Iz oblike toka na sekundarju transformatorja in dovodu v kompenzacijsko napravo je razvidno, da se velik del višjih harmonikov, katere na objektu proizvajajo predvsem frekvenčni pretvorniki, zaključuje skozi kompenzator.

#### 4.1 Meritev toka na frekvenčnem pretvorniku za napajanje črpalk

Meritev električnega toka in frekvenčno analizo le tega smo dodatno opravili na frekvenčnem pretvorniku dobavljenem skupaj s

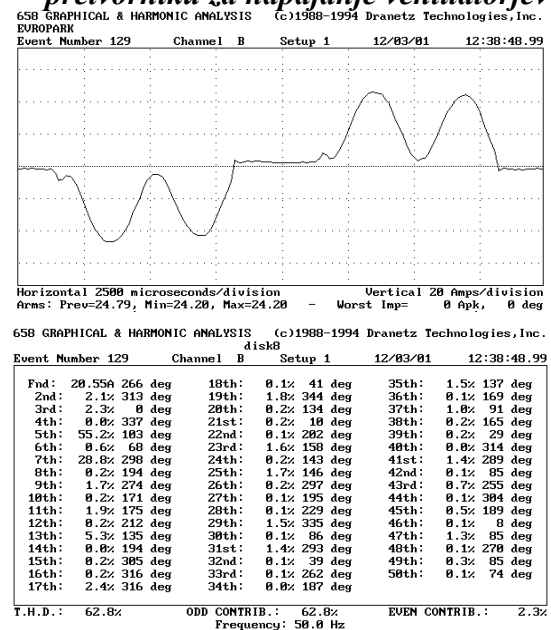
črpalko z vgrajenimi ustreznimi filtri na vходу in enosmerni zbiralki.



Slika 9: Harmonika analiza na črpalki

#### 4.2 Meritev toka na frekvenčnem

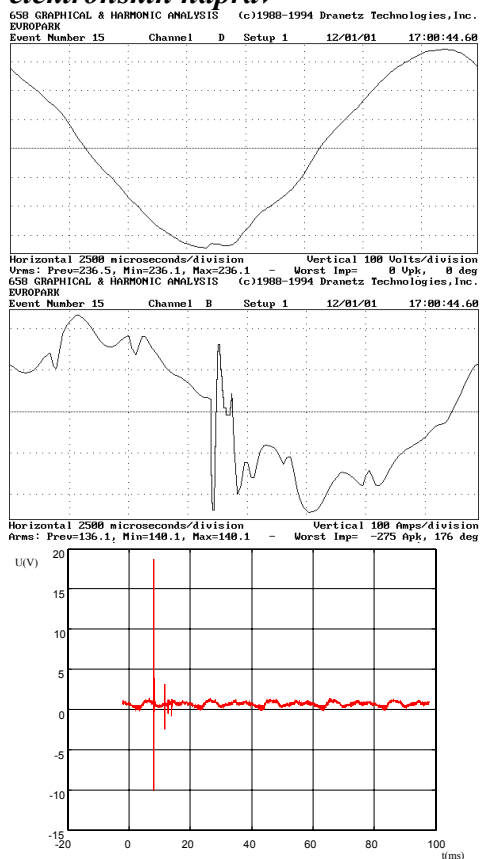
#### pretvorniku za napajanje ventilatorjev



Slika 10: Harmonika analiza na ventilatorju

Meritev električnega toka in frekvenčno analizo le tega smo opravili na frekvenčnem pretvorniku dobavljenem ločeno od elektromotornega pogona ventilatorja. Frekvenčni pretvornik ima vgrajene ustrezne filtre na vходу in enosmerni zbiralki.

### 4.3 Pojav motenj na signalnih vodih elektronskih naprav



Slika 11: Motnja na signalnih vodnikih

Na podlagi meritev na objektu smo ugotovili, da se pojavljajo stikalne prenapetosti, ki lahko poškodujejo občutljive elektronske naprave, saj le te pojavljajo na signalnih vodih teh naprav. Slika [11] prikazuje obliko napetosti na zbiralkah, tok na dovodu v kompenzator ter obliko napetosti v trenutku motnje. Izmerjena prenapetost je dosegla vrednost 20V pri čemer imajo te prenapetosti zelo velike strmine, kar še dodatno ogroža elektronske naprave.

### 5 Zaključek

Z vgradnjo frekvenčnega pretvornika v sistem ogrevanja (črpalka) in klimatizacije (ventilator) dobimo mehak zagon in zaustavitev elektromotorja po izbrani krivulji, zvezno izbiro hitrosti motorja ali pa več fiksno nastavljenih hitrosti s čemer lahko zagotavljamo na osnovi zunanjih signalov zelene vrtljaje ventilatorja, ki zagotavljajo ustrezne parametre v prostoru (temperatura, tlak, pretok). Z vgradnjo frekvenčnega regulatorja ni potrebno dodatno

vgrajevati dušilne mehanske elemente (ki povzročajo izgube v sistemu) ter se izognemo električnim in mehanskim sunkom ob vklopih in izklopih naprav (pridobimo mehak zagon naprave). Na osnovi navedenega pridobimo v sistemu konstanten moment v vsem področju delovanja motorja, dodatno pa imamo v sistemu integrirane vse zaščite za varovanje motorja (temperaturna, napetostna, pretokovna in kratkostična zaščita) ter nenazadnje pridobimo velik prihranek električne energije. Na osnovi kubične karakteristike razmerja hitrosti in moči pri ventilatorju in črpalki prihranimo pri 20% manjši hitrosti do 50% električne energije. Ob vgradnji frekvenčnega pretvornika v sistem pa se moramo zavedati, da le ti vnašajo v sistem višjeharmonske komponentne, katere moramo upoštevati pri sami vgradnji opreme ter izvesti kvalitetno zaščito signalnih vodov pred motnjami v sistemu.

### 6 Literatura

- [1] Bojan Mohorko, Boris Firm, Toni Karčovnik, Emil Ketiš, *Vodenje energetike na objektu Europark*, 2. Konferenca Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu; Maribor 2001
- [2] Bruno Junker, *Klimaregelung, Grundlagen, Praxis der Projektierung*, 2., überarbeitete Auflage, R.Oldenbourg Verlag München, Wien 1984
- [3] Hans Roos, *Hydraulik der Wasserheizung*, 4., volstanding überarbeitete Auflage, R.Oldenbourg Verlag München, Wien 1999
- [4] IMP Pumps, *Napotki za izbiro in uporabo črpalk*
- [5] Danfoss, *Uravnvanje diferenčnega tlaka v ogrevalnih sistemih*
- [6] Darko Koritnik, *Analiza napetostnih razmer in določitev okvar na elektronski opremi v trgovskem centru*, Maribor 2001, Arhiv podjetja Evaco
- [7] Roger W. Haines, *Control systems for heating, ventilating, and air conditioning*, Chapman & Hall, One Penn Plaza, New York, NY 10119, 1983.
- [8] Bojan Mohorko, Boris Firm, Toni Karčovnik, *Vodenje in upravljanje toplotnih podpostaj iz sistema daljinskega ogrevanja oziroma v sistemu z lastnimi kotlovniciami*, Posvetovanje Inteligentne zgradbe; Ljubljana 1999.