

ŠCC, SŠ ZA KEMIJO, ELEKTROTEHNIKO IN RAČUNALNIŠTVO

MERJENJE HARMOMNIČNEGA POPAČENJA NAPETOSTI NA ŠCC Z MERILNIKOM FLUKE 345

RAZISKOVALNA NALOGA



Avtorja: Martin Černezel, E-4.b

Domen Gradišnik, E-4.b

Mentor: mag. Boštjan Lilija

KAZALO VSEBIN

POVZETEK	6
1 UVOD	7
1.1 HIPOTEZE.....	7
1.2 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD	7
2 SPLOŠNO O MERITVAH – MERILNA TEHNIKA	8
2.1 OSNOVNI POJMI MERILNE TEHNIKE	8
2.2 MERILNE NAPRAVE	9
2.3 ANALOGNE MERILNE NAPRAVE	10
2.4 DIGITALNE MERILNE NAPRAVE.....	11
3 MERILNI INSTRUMENT FLUKE 345.....	13
3.1 OPIS MERILNEGA INSTRUMENTA FLUKE 345	13
3.1.1 KAJ VSE LAHKO OČITAMO S FLUKOM345.....	15
3.1.2 SPECIFIKACIJE.....	16
3.1.3 SHRANJEVANJE SLIK ZASLONA	16
3.1.4 SNEMANJE ŽELJENIH VELIČIN	17
3.1.5 KAKO SHRANJENE MERITVE PRENESEMO NA RAČUNALNIK	19
3.2 MERJENJE OSNOVNIH VELIČIN Z MERILNIKOM FLUKE 345.....	20
3.2.1 MERJENJE TOKA (I), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH	20
3.2.2 MERJENJE NAPETOSTI (U), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH	22
3.2.3 MERJENJE MOČI (P), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH	24
3.2.4 MERJENJE TOKA (I), NAPETOSTI (U) IN MOČI (P), V ENOFAZNIH ENOSMERNIH (DC) TOKOKROGIH	26
4 ZAHTEVNEJŠE MERITVE Z MERILNIKOM FLUKE 345.....	27
4.1 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN ENOFAZNEGA ČISTEGA R BREMENA Z FLUKOM 345	27
4.1.1 MERJENJE TOKA	28
4.1.2 MERJENJE NAPETOSTI.....	29
4.1.3 MERJENJE MOČI (TUDI NAPETOSTI IN TOKA).....	30
4.2 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN SIJALKE	31
4.3 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN ENOFAZNEGA ASINHRONSKEGA MOTORJA.....	34
4.4 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN TRIFAZNEGA ASINHRONSKEGA MOTORJA	36
5 VIŠJI HARMONIKI IN THD (total harmonic distortion).....	38
5.1 VIŠJE HARMONISKE KOMPONENTE.....	39

5.2 STANDARD 50160	40
5.3 VIŠJI HARMONIKI TOKA – PRIMER MERJENJA THD(I) MEŠANE VEZAVE	41
6 RAZISKOVALNI DEL	44
6.1 MERJENEJE VIŠJIH HARMONIKOV NA VSEH TREH FAZAH	44
6.2 MERJENJE VIŠJIH HARMONIKOV V LABORATORIJU OD 7:30 DO 10:30	46
7 REZULTATI ANKETNIH VPRAŠALNIKOV	48
8 ZAKLJUČEK.....	51
9. LITERATURA.....	52
10 PRILOGA.....	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Merilna digitalna naprava z opisi sestavnih delov.	9
Slika 2: Merilna analogna naprava z opisi sestavnih delov.	10
Slika 3: Merilna digitalna naprava z opisi sestavnih delov.	11
Slika 4: Primer digitalnega številčnega prikaza.	11
Slika 5: 7;14 segmentni prikaz in točkovno matrični prikaz.	12
Slika 6: Preglednica števila mest in obseg prikaza.	12
Slika 7: Simboli, uporabljeni na merilnem inštrumentu Fluke 345.	13
Slika 8: Slika sprednjega dela merilnega inštrumenta Fluke 345.	14
Slika 9: Slika zadnjega dela merilnega inštrumenta Fluke 345.	15
Slika 10: Zaslon Fluka345 ob uspešnem shranjenju slike.	16
Slika 11: Meni brskalnika slik.	16
Slika 12: Zaslon merilnika ob izbiri časovnega obdobja.	17
Slika 13 - Zaslon merilnika ob LOGGING.	17
Slika 14: Zaslon med snemanjem električnih veličin.	18
Slika 15: Zaslon merilnika ob ustavitvi snemanja.	18
Slika 16: Prenos rezultatov iz Fluke 345 na računalnik.	19
Slika 17: Merjenje toka z merilnikom Fluke 345.	20
Slika 18: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju toka.	20
Slika 19: Časovni diagram poteka toka v enofaznem izmeničnem tokokrogu.	21
Slika 20: Merjenje napetosti z merilnikom Fluke 345.	22
Slika 21: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju napetosti.	23
Slika 22: Časovni diagram poteka napetosti v enofaznem izmeničnem tokokrogu.	23
Slika 23: Merjenje moči z merilnikom Fluke 345.	24
Slika 24: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju moči.	25
Slika 25: Merjenje moči z merilnikom Fluke 345 v laboratoriju.	25
Slika 26: Zaslon merilnika Fluke 345.	26
Slika 27: Časovni diagram enosmernega toka in napetosti.	26
Slika 28: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.	27
Slika 29: Vezava inštrumenta pri vaji z R bremenom.	27
Slika 30: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju toka.	28
Slika 31: Prikazan graf toka na merilniku Fluke 345.	28
Slika 32: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju napetosti.	29
Slika 33: Prikazan graf napetosti na merilniku Fluke 345.	29
Slika 34: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju moči.	30
Slika 35: Grafa napetosti in toka hkrati.	30
Slika 36: Vezava inštrumenta za merjenje zelenih veličin.	31
Slika 37: Vezava sijalke.	32
Slika 38: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju električnih veličin sijalke.	32
Slika 39: Časovni diagram toka in napetosti.	33
Slika 40: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.	34
Slika 41: Vezava enofaznega električnega motorja.	34
Slika 42: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju veličin.	35
Slika 43: Časovni diagram toka in napetosti.	35
Slika 44: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.	36
Slika 45: Vezava trifaznega električnega motorja.	36

Slika 46: Zaslon merilnika Fluke 345 ob merjenju veličin.	37
Slika 47: Časovni diagram toka in napetosti.	37
Slika 48: Graf poteka toka in napetosti.	39
Slika 49: Frekvenčni spekter vhodnega toka.	39
Slika 50: Maksimalne vredosti posameznih harmonskih komponent napetosti za NN in SN omrežja.	40
Slika 51: Vezava 3f AS motorja preko frekvenčnega pretvornika.	41
Slika 52: Graf poteka toka in napetosti.	42
Slika 53: Zaslon Fluke 345 ob meritvi.	42
Slika 54: Frekvenčni spekter popačenosti toka.	43
Slika 55: Priključitev Fluke 345 na prvo fazo.	44
Slika 56: Zaslon fluka345 ob merjenju posameznih faz.	44
Slika 57: Frekvenčni spekter napetosti na vsaki fazi.	45
Slika 58: Graf poteka napetosti na posameznih fazah.	45
Slika 59: Časovni potek harmonične popačenosti na ŠCC (3.5.7. harmonik).	46
Slika 60: Časovni potek povprečnega popačenja na ŠCC.	47

POVZETEK

V tej raziskovalni nalogi sva se odločila, da se spoznava z novo pridobljenim merilnim inštrumentom Fluke 345 in z vsemi njegovimi lastnostmi. Za raziskovalni del naloge sva se odločila, da z merilnikom Fluke 345 preveriva, kakšno je harmonično popačenje v našem laboratoriju in ali je harmonično popačenje v mejah standarda SIST 50160. Z anketo sva hotela poizvedeti, kakšno je mnenje dijakov in študentov o novo pridobljenem merilnem inštrumentu Fluke 345 in kako jim pomaga pri osvajanju novih znanj.

1 UVOD

Z razvojem močnostne elektronike se večja število nelinearnih porabnikov. Ti porabniki povzročijo harmonsko popačenje, ki negativno vpliva na omrežno napetost. Ta popačena napetost je nezaželena in škoduje transformatorju, pa tudi bolj občutljivi elektroniki. Naša šola je odličen primer za merjenje harmonske popačenosti napetosti, saj imamo veliko nelinearnih porabnikov (računalnikov). Najbolj opazna sprememba harmonskega popačenja napetosti se zgodi v začetnih urah pouka, saj se prižge večina nelinearnih porabnikov. Meniva, da če je harmonsko popačenje napetosti v mejah dovoljene popačenosti (med tem časom), bi morala biti vedno pod dovoljeno mejo. Zato so bile vse meritve opravljene v času pouka. Med merjenjem sva se spoznala z merilnim inštrumentom Fluke 345 in sodobnimi merilnimi tehnikami.

1.1 HIPOTEZE

H1: Nakup merilnika Fluke 345 je dobra naložba za šolo, saj pomaga pri poučevanju in razumevanju snovi.

H2: Napetost v laboratoriju na ŠCC ne bo presegala dovoljene popačenosti napetosti po standardu SIST EN 50160.

1.2 IZBOR IN PREDSTAVITEV RAZISKOVALNIH METOD

Raziskovalne metode, ki sva jih uporabila v najini raziskovalni nalogi, so bile:

Pobrskala sva po literaturi, prebrala nekaj diplomskih oz. magistrskih nalog, ki so bile izdelane na temo harmonskega popačenja, anketirale pa sva tudi dijake in študente o merilnem inštrumentu Fluke 345.

Anketni vprašalnik je vseboval 5 kratkih vprašanj, v zadnjem pa sva jih prosila za lastno mnenje o merilniku Fluke 345.

Vse meritve sva opravila v šolskem laboratoriju pod nadzorom najinega mentorja.

2 SPLOŠNO O MERITVAH – MERILNA TEHNIKA

V elektrotehniki pripada merjenju posebno mesto, saj lahko z merjenjem izvemo številске vrednosti veličin. Merjenje je tudi izhodišče za iskanje napak v napravah, sestavljenih delih, električnih elementih, elektronskih vezjih ...

Določanje fizikalnih veličin, kot npr. napetosti, jakosti električnega toka ali električne upornosti, zahteva naprave in metode, ki so na razpolago v merilni tehniki ter opisane in normirane.

2.1 OSNOVNI POJMI MERILNE TEHNIKE

1. Merjenje je določanje vrednosti fizikalne veličine, npr. napetosti, s pomočjo merjenja
2. Štetje je določanje števila istovrstnih dogodkov ali stvari v določenem času, npr. število električnih impulzov v eni sekundi.
3. Preizkušanje je ugotavljanje, ali predmet preizkušanja vsebuje predpisane lastnosti, še posebej, ali lastnosti ležijo znotraj predpisanih meja napak.
4. Kalibriranje je ugotavljanje ali dokumentiranje razlikovanja merilnega rezultata merjene veličine od prave vrednosti. Pri tem ni dovoljen nikakršen tehnični poseg v merilni instrument.
5. Izravnavanje je nastavitev merilnega instrumenta tako, da se prikazane vrednost čim manj razlikuje od dejanske vrednosti, na primer nastavitev ničle pri kratkem stiku merilnika upornosti.
6. Umerjanje je pridobitev uradnega potrdila, da rezultat meritev merilne naprave ne presega dovoljenega odstopanja (toleranca). Usmerjanje lahko odpravi le oseba oziroma podjetje z ustreznim certifikatom. Umerjanje je potrebno ponavljati v rednih časovnih presledkih.

2.2 MERILNE NAPRAVE

Merilna naprava je navadno sestavljena iz zaslona oziroma prikazovalnika, preklopnika za izbiro merjenja različnih veličin, tipk ali preklopnikov za nastavitve merilnega območja, priključnih vtičnic in merilnega vezja. Merilne vrednosti lahko merilna naprava prikaže ali jih zabeleži.

Merilni sistem je sestavljen iz ene ali več merilnih naprav z dodatno opremo. Dodatna oprema so lahko povečevalno steklo za lažje odčitavanje, vmesnik za prikaz na računalniškem zaslonu, signalna naprava ...

Merilno območje merilne naprave je niz vrednosti merjenih veličin, v katerem odstopanja od dejanske vrednosti ne presega določene meje (tolerance)



Slika 1: Merilna digitalna naprava z opisi sestavnih delov.

Slika 1 nam prikazuje kako izgleda merilna naprava, in pojasnjuje pomen sestavnih delov naprave.

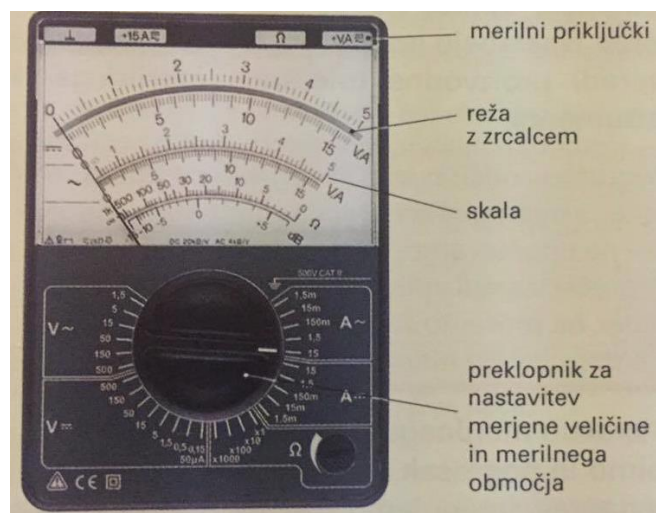
Pri analognem prikazu meritve prikaz izmerjene vrednosti zvezno sledi merjeni veličini. Merjeno vrednost navadno prikazuje kazalec ali oznaka, ki se enakomerno premika preko skale. Kazalčne analogne merilne naprave navadno uporabljamo za merjenje in opazovanje spreminjajočih se veličin, saj lažje razberemo njihove trenutne vrednosti.

Merilne naprave z digitalnim prikazom merjene vrednosti prikazujejo na zaslonu s številkami.

Merilne vrednosti so lahko zaradi lažje nadaljnje obdelave podane tudi na papirju. Natisnjeni niz števil je tako vrsta digitalnega prikaza, narisana krivulja pa vrsta analognega prikaza.

2.3 ANALOGNE MERILNE NAPRAVE

Analogni multimetri so večfunkcijske naprave s kazalčnim prikazom. Uporabljamo jih lahko za merjenje napetosti in toka pri enosmernem in izmeničnem toku, pa tudi za merjenje upornosti. Merjena veličina povzroči odklon kazalca vzdolž skale, na kateri lahko odčitamo izmerjeno vrednost v merilnem območju, ki smo ga pred meritvijo nastavili s preklopnikom za izbiro merilnega območja. Skala ima navadno režo z zrcalom, s pomočjo katerega se izognemo napačnim odčitkom zaradi poševnega pogleda na skalo (napaka zaradi paralakse). Pri odčitavanju izmerjenih vrednosti moramo na skalo gledati tako, da se kazalec in njegova slika v zrcalu natančno poravnata.



Slika 2: Merilna analogna naprava z opisi sestavnih delov.

Slika 2 nam prikazuje kako izgleda analogna merilna naprava in pojasnjuje pomen sestavnih delov naprave.

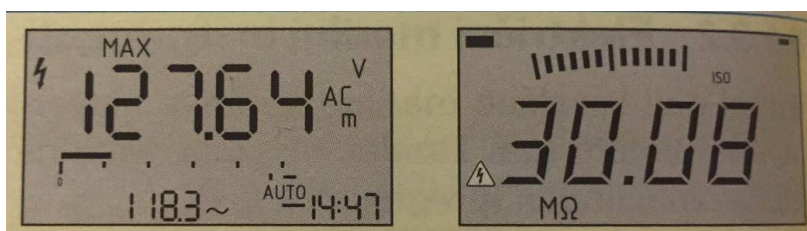
2.4 DIGITALNE MERILNE NAPRAVE

Digitalne merilne naprave pretvorijo analogno mersko veličino v digitalno vrednost, ki je navadno prikazana v številčni obliki.



Slika 3: Merilna digitalna naprava z opisi sestavnih delov.

Slika 3 nam prikazuje kako izgleda digitalna naprava in pomen sestavnih delov naprave.



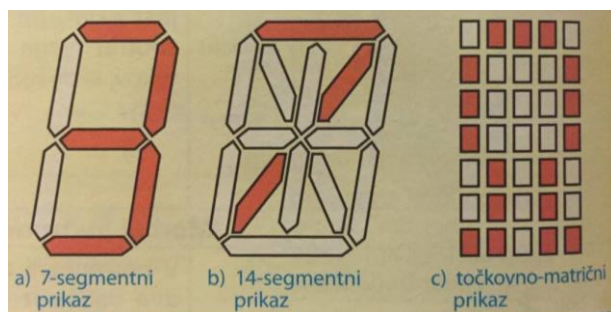
Slika 4: Primer digitalnega številčnega prikaza.

Slika 4 nam prikazuje dva primera digitalnega številčnega prikaza na zaslonu.

Digitalne merilne naprave (multimetri) vsebujejo:

1. analogni-digitalni pretvornik,
2. zaslon (prikazovalna enota),
3. napajalnik ali baterijo,
4. merilni ojačevalnik z visoko vhodno upornostjo.

Številke od 0 do 9 so navadno prikazane s pomočjo 7- ali 14- segmentnega prikazovalnika. S pomočjo točkovno matričnega prikaza lahko naprava poleg števil prikazuje tudi črke in simbole, npr. ohm. Obseg prikaza nam pove, koliko vrednosti lahko prikazovalnik prikaže. Namesto obsega prikaza je redkeje navedeno število mest prikaza



Slika 5: 7;14 segmentni prikaz in točkovno matrični prikaz.

Slika 5 nam prikazuje 7-segmentni prikaz, 14-segmentni prikaz in točkovno-matrični prikaz vrednosti na digitalni merilni napravi.

Ločljivost, je pomembna lastnost prikaza, ki nam pove, kolikšna najmanjša merilna veličina (npr. 1mV) je še lahko prikazana znotraj določenega merilnega območja.

število mest	prikaz	obseg prikaza
$\frac{1}{2}$	1. mesto: 0 ali 1	–
$\frac{3}{4}$	1. mesto: 0, 1 ali 2	–
3	000 do 999	1000
$3\frac{1}{2}$	0000 do 1999	2000
$3\frac{3}{4}$	0000 do 2999	3000
$5\frac{3}{4}$	000000 do 299999	300000











Slika 6: Preglednica števila mest in obseg prikaza.

3 MERILNI INŠTRUMENT FLUKE 345

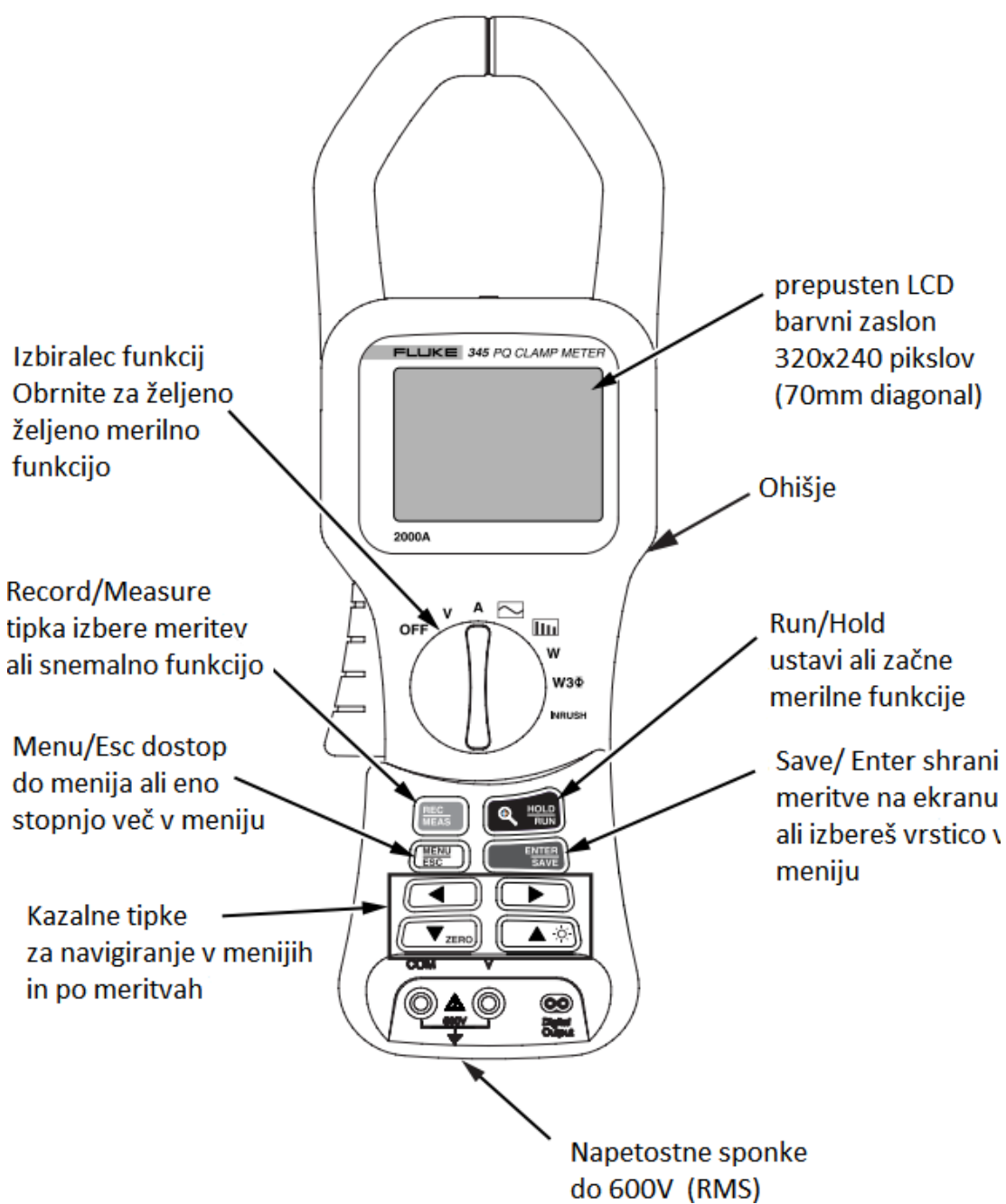
3.1 OPIS MERILNEGA INSTRUMENTA FLUKE 345

Fluke 345 ni samo merilec električne moči. Vsebuje funkcionalnost tokovnih klešč, osciloskopa, digitalnega merilca moči v samo eni napravi. Je idealna naprava za delo s frekvenčnimi pretvorniki in električnimi motorji.

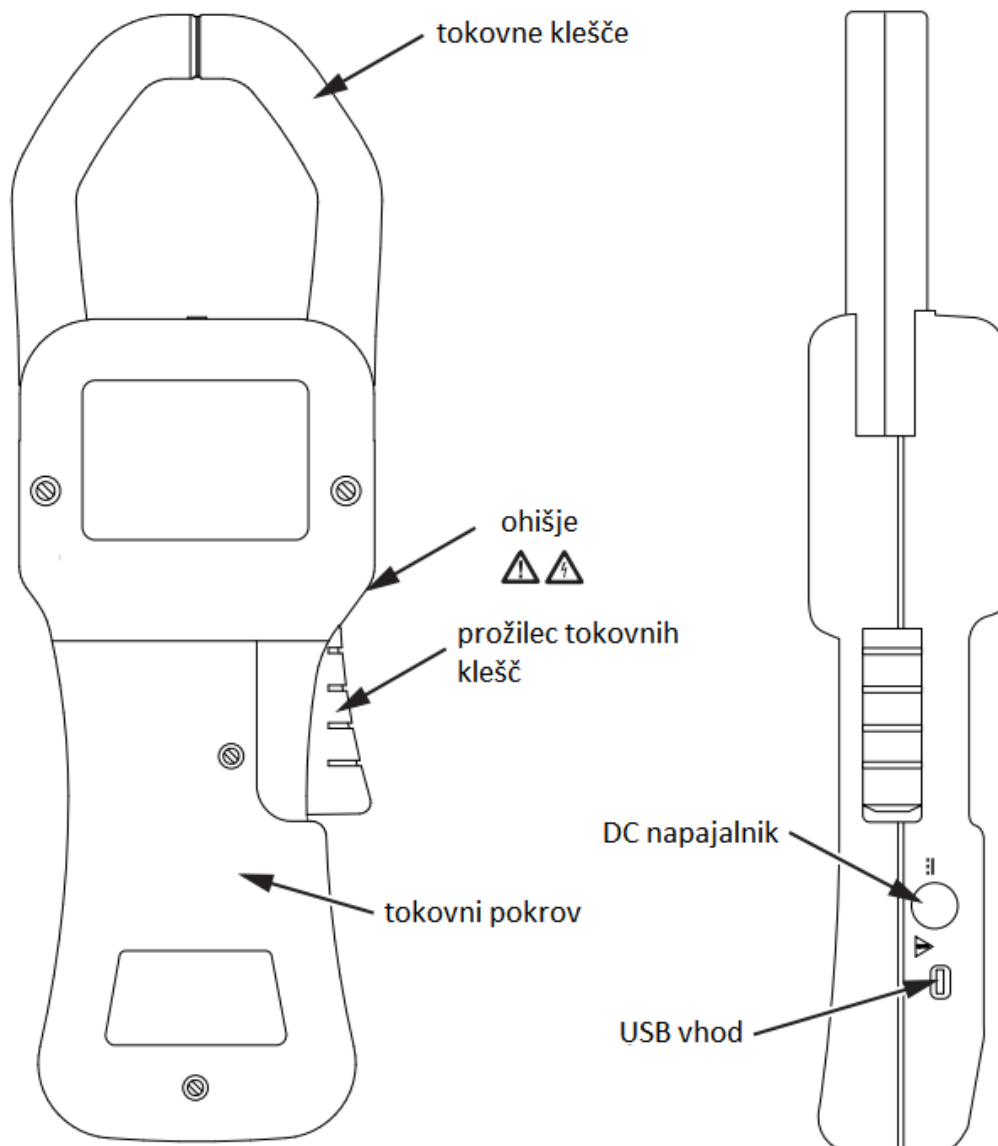
Mnogovrstni Fluke 345 je opremljen s številnimi funkcijami: ima na primer svetel barvni zaslon za analizo harmoničnega spektra, nizko pasovni filter za odstranjevanje hrupa visokih frekvenc in visoko EMC imunitetno zasnovano, zaradi česar je idealen analizator za električno moč in odpravljanje težav kakovosti na različno obremenjenih porabnikih. Notranji pomnilnik tega inštrumenta omogoča dolgoročno kakovostno merjenje moči za analizo trendov ali težav v tokokrogu. Poleg tega tokovne klešče omogočajo merjenje enosmeren in izmeničnih tokov brez potrebe, da bi prekinil tokokrog.

Simbol	Opis
	Nevarna napetost. Možnost električnega preboja
	Pomembne informacije. Možnost nevarnosti. Poglej navodila
	Ozemljitev
	Ne odvržite izdelek med komunalne odpadke. Kontaktirajte Fluke ali kvalificiranega reciklerja.
	Dvojno izolirano
	Nizek nivo baterije.
	DC (Enosmeren Tok).
CAT	IEC 61010 merilo (inštalacija) kategorija.
	V skladu z zahtevami Evropske unije in Evropskega združenja za prosto trgovino (EFTA)
	Kanadska standardna asociacija
	V skladu z ustreznimi Avstralskimi standardi

Slika 7: Simboli, uporabljeni na merilnem inštrumentu Fluke 345.



Slika 8: Slika sprednjega dela merilnega inštrumenta Fluke 345.



Slika 9: Slika zadnjega dela merilnega inštrumenta Fluke 345.

3.1.1 KAJ VSE LAHKO ODČITAMO S FLUKOM 345

S Flukom 345 lahko odčitamo:

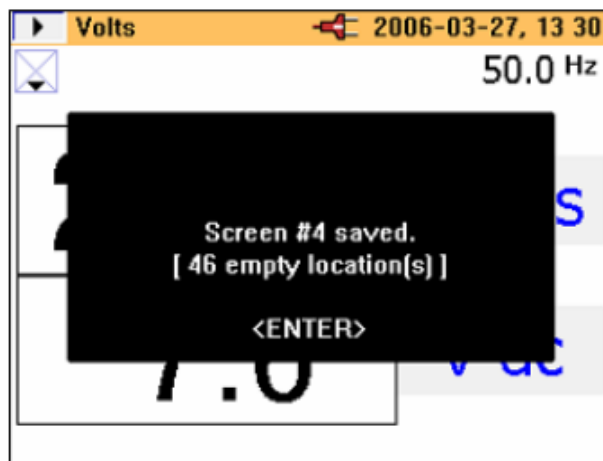
- napetost (enofazno in medfazno),
- tok (enosmerni in izmenični),
- graf časovnih potekov napetosti in toka,
- THD (harmonsko popačenje toka in napetosti),
- električno, jalovo, navidezno moč ene faze,
- električno, jalovo, navidezno moč treh faz,
- zagonske tokove motorjev.

3.1.2 SPECIFIKACIJE

Merilni inštrument Fluke 345 je opremljen z barvnim LCD zaslonom (320 x 240), 1.5 V 1500 mAh baterijo, od katere lahko pričakujemo do 10 ur delovanja pred ponovnim polnjenjem, ter seveda s tokovnimi kleščami, ki se odprejo do 60 mm. Merilni inštrument Fluke 345 je narejen za delovanje do 50 °C. Vse kalibriranje je bilo umerjeno na 23 °C ± 1 °C. Koeficient pogreškov merilnika je ± 0.15 % za vsako stopinjo. Z merilnikom ni priporočeno upravljati nad 2000 m nadmorske višine. Zaščita merilnika je IP40.

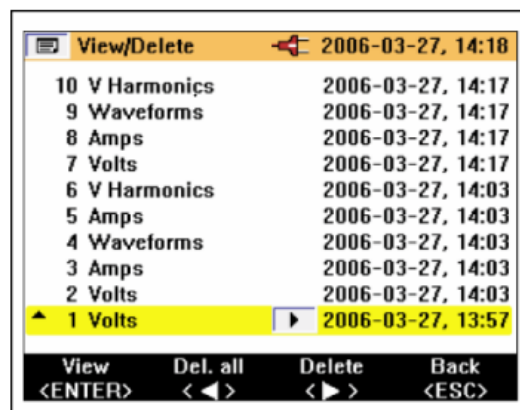
3.1.3 SHRANJEVANJE SLIK ZASLONA

Shranjevanje slik zaslona v pomnilnik merilnega inštrumenta Fluka345 je zelo preprosto. Ko imamo na zaslonu željene meritve, moramo samo pritisniti na gumb ENTER/SAVE; nato se nam prikaže naslednja slika (slika 10).



Slika 10: Zaslona Fluka345 ob uspešnem shranjenju slike.

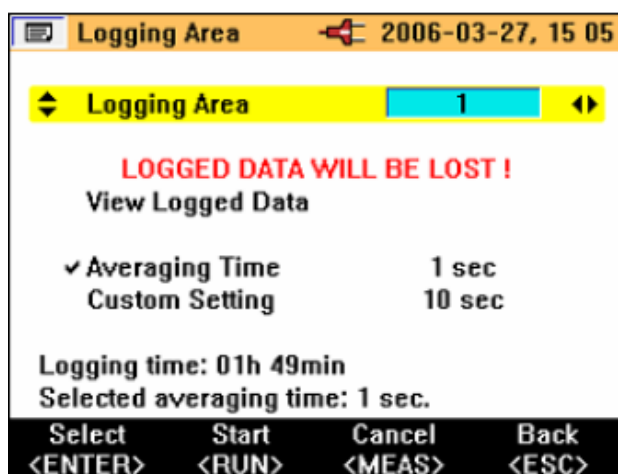
Ko se nam prikaže slika 10, samo še pritisnemo na gumb ENTER/SAVE, nato pa lahko nadaljujemo z merjenjem željenih stvari. Te slike si lahko ponovno ogledamo kar na merilnem inštrumentu. S pritiskom na gumb MENU/ESC, nato pa na gumb ENTER/SAVE se nam odpre meni, v katerem lahko brskamo po shranjenih slikah (slika 11) z gumbi (▲▼). Za prikaz željene slike pritisnemo gumb ENTER/SAVE.



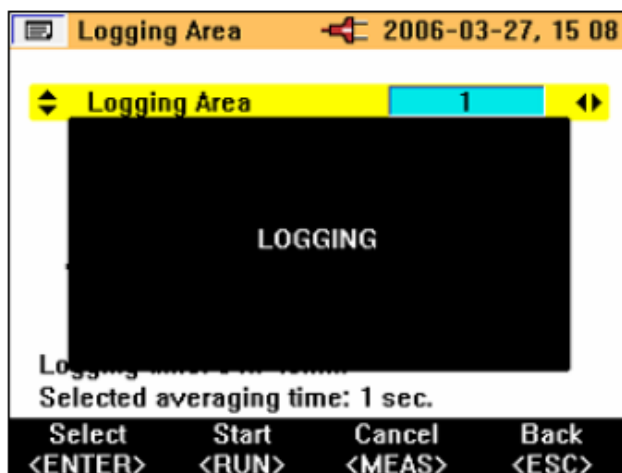
Slika 11: Meni brskalnika slik.

3.1.4 SNEMANJE ŽELJENIH VELIČIN

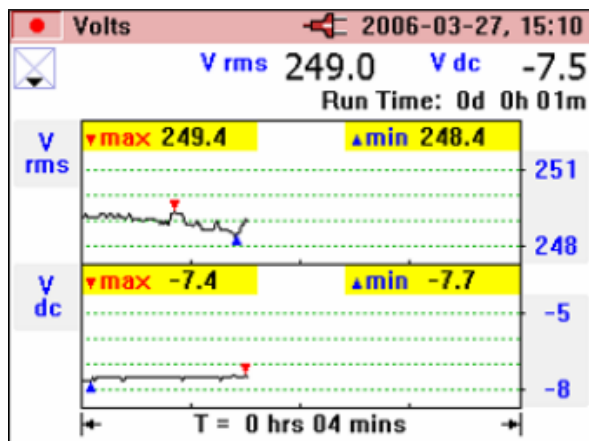
Če želimo videti kako se električna veličina spreminja skozi čas, lahko uporabimo funkcijo logiranja oz. snemanja. Za pričetek snemanja moramo pritisniti in držati gumb REC/MEAS za približno 3 s. Na ekranu se pojavi meni, v katerem si lahko izberemo, na kakšno časovno obdobje bo naš merilnik zabeležil povprečje merjene veličine tega časovnega obdobja (slika 12). Ko si izberemo željeno časovno obdobje, pritisnemo na gumb HOLD/REC, nato pa se na ekranu pojavi beseda LOGGING (slika 13), kar pomeni, da merilni inštrument sedaj snema. Med snemanjem lahko gledamo beležene veličine s pomikanjem med ekrani (slika 14), kar storimo s tipkami (◀▶).



Slika 12: Zaslona merilnika ob izbiri časovnega obdobja.

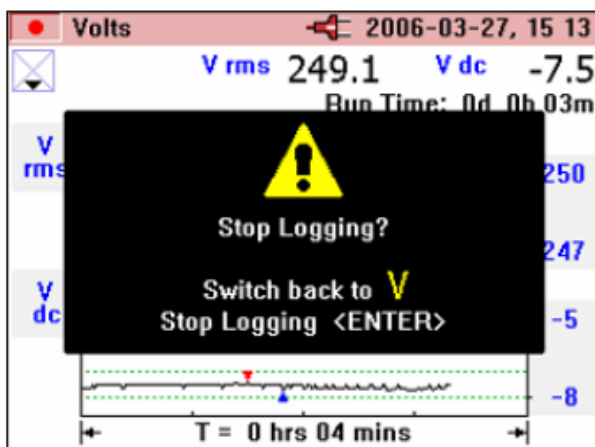


Slika 13 - Zaslona merilnika ob LOGGING



Slika 14: Zaslon med snemanjem električnih veličin.

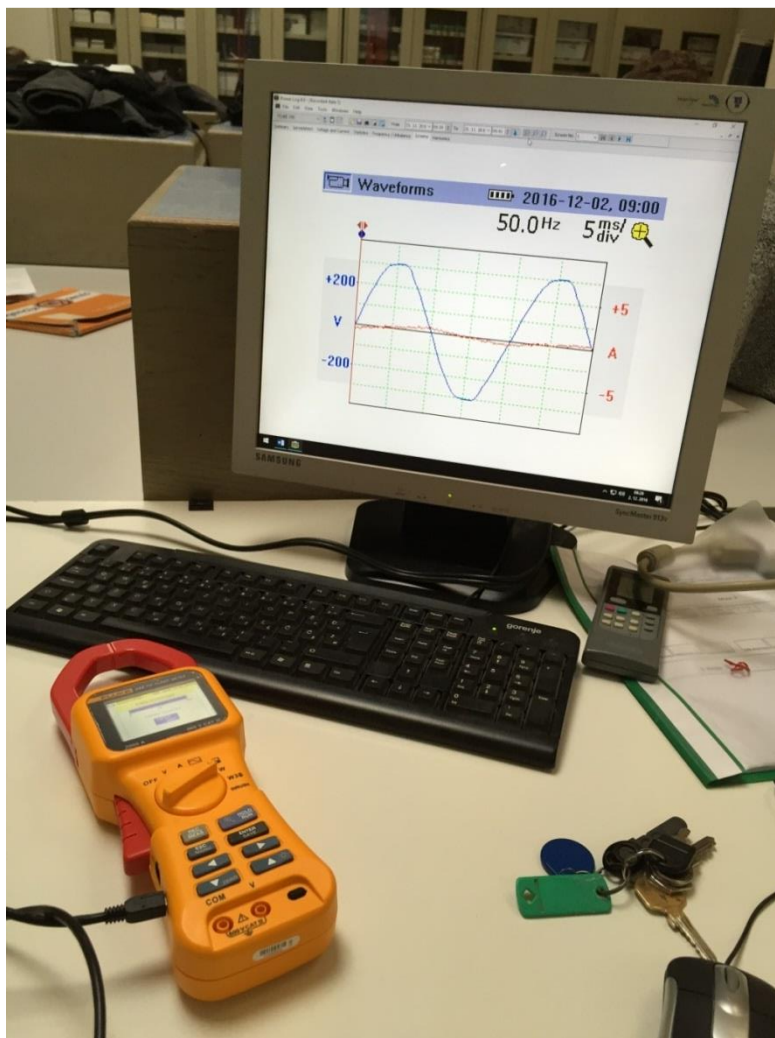
Merjenje lahko ustavimo samo s premikom stikala za izbiro meritev. Nato se nam pojavi napis Stop Logging (slika 15), mi pa pritisnemo na tipko ENTER/SAVE. Vse meritve se shranijo na pomnilnik merilnika, ki si jih lahko ogledamo tako kot slike.



Slika 15: Zaslon merilnika ob ustavitvi snemanja.

3.1.5 KAKO SHRANJENE MERITVE PRENESEMO NA RAČUNALNIK

Prenašanje shranjenih podatkov na računalnik je dokaj preprosto. Za prenos podatkov potrebujemo samo merilni inštrument Fluke 345, USB kabel ter seveda računalnik, na katerem mora obvezno biti nameščen program Power Log Classic, ki ga lahko pridobimo na Flukovi spletni strani ali pa na priloženem CD-ju ob nakupu merilnika. Da prenesemo podatke z merilnika, moramo najprej povezati računalnik z merilnim inštrumentom Fluke 345, ki mora biti prižgan, nato pa na računalniku zaženemo program Power Log Classic. Ko se nam program odpre, kliknemo v zgornjem levem kotu zavihek File in kliknemo na prvo opcijo, ki se nam pojavi (Download). Malo pod tem pa samo še zberemo, kateri merilni inštrument uporabljamo (v našem primeru Fluke 345). Ko to opravimo, se nam prikažejo vse meritve, shranjene v Fluku345.

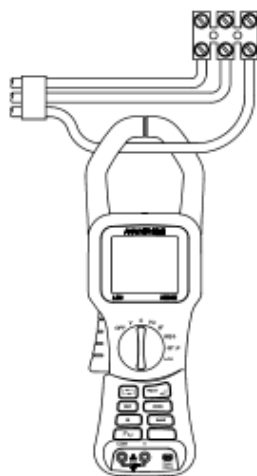


Slika 16: Prenos rezultatov iz Fluke 345 na računalnik.

3.2 MERJENJE OSNOVNIH VELIČIN Z MERILNIKOM FLUKE 345

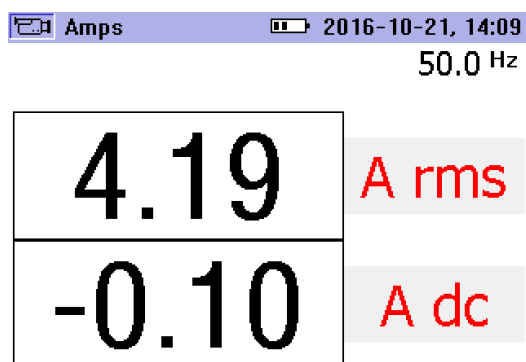
3.2.1 MERJENJE TOKA (I), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH

Merjenje toka z merilnikom Fluke 345 je zelo preprosto: na izbran porabnik najprej povežemo vodnike (faza, nevtralni vodnik, ozemljitveni zaščitni vodnik). Fazni vodnik objamemo s kleščami merilnika Fluke 345. Fluke 345 vklopimo v breznapetostnem stanju, saj se mora elektromagnetno polje v tokovnih kleščah kalibrirati na 0 A. Ob vklopu naprave nastavimo merilno območje za merjenje toka v tokokrogu. Merilnik Fluke 345 nam s svojimi kleščami omogoča, da merimo tok na vodniku, ne da bi prekinili napajanje. Ko bo tok stekel skozi vodnik, bo merilnik Fluke 345 izmerjeno vrednost prikazal na zaslonu.



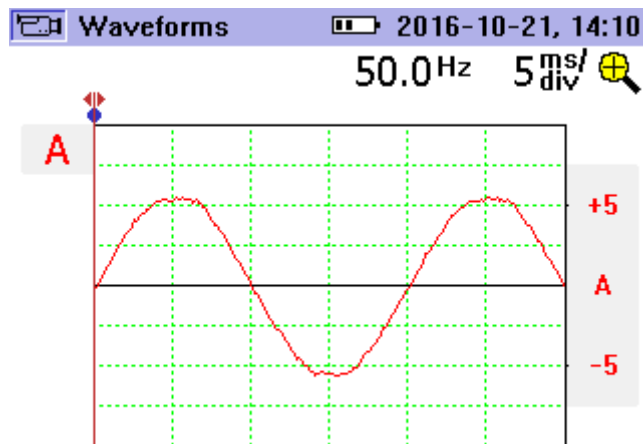
Slika 17: Merjenje toka z merilnikom Fluke 345.

Slika 17 prikazuje, kako oz. na kakšen način s pomočjo merilnika Fluke 345 izmerimo tok v enofaznih izmeničnih tokokrogih.



Slika 18: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju toka.

Slika 18 nam prikaže izmerjeno vrednost toka 4,19 A z merilnikom Fluke 345 v enofaznih izmeničnih sistemih.



Slika 19: Časovni diagram poteka toka v enofaznem izmeničnem tokokrogu.

Slika 19 nam prikazuje časovni diagram poteka toka v enofaznem izmeničnem tokokrogu. Iz njega lahko razberemo, da je tok sinusen. Na sliki je sinus rahlo popačen zaradi pogoška merilnega inštrumenta Fluke 345. Maksimalna vrednost toka je približno 5,9 A, iz tega pa lahko izračunamo efektivni tok, ki je $\sqrt{2}$ -krat manjši od maksimalnega toka (4,19 A). Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz, lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona.

3.2.2 MERJENJE NAPETOSTI (U), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH

Merjenje napetosti z merilnikom Fluke 345 je zelo preprosto. Na izbrani porabnik najprej povežemo vodnike (faza, nevtralni vodnik, ozemljitveni zaščitni vodnik). Fazni vodnik povežemo z V oznako, nevtralen vodnik pa povežemo s COM oznako. Nato vključimo merilnik Fluke 345 in nastavimo merilno območje za merjenje napetosti v tokokrogu. Ob vključitvi porabnika bo merilnik Fluke 345 izmeril napetost porabnika in jo prikazal na zaslonu.



Slika 20: Merjenje napetosti z merilnikom Fluke 345.

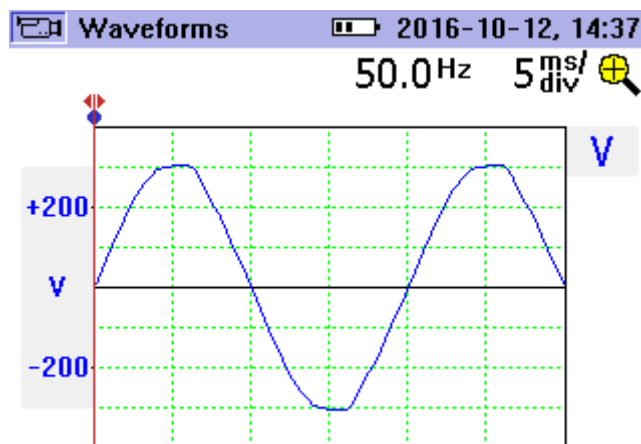
Slika 20 nam prikazuje, kako oz. na kakšen način s pomočjo merilnika Fluke 345 izmerimo napetost v enofaznih izmeničnih tokokrogih.

V Harmonics 2016-10-12, 14:37
49.9 Hz[1]

228.6 Vac[1]

Slika 21: Zaslom merilnika Fluke 345 ob merjenju napetosti.

Slika 21 nam prikaže izmerjeno vrednost napetosti z merilnikom Fluke 345 v enofaznih izmeničnih sistemih.

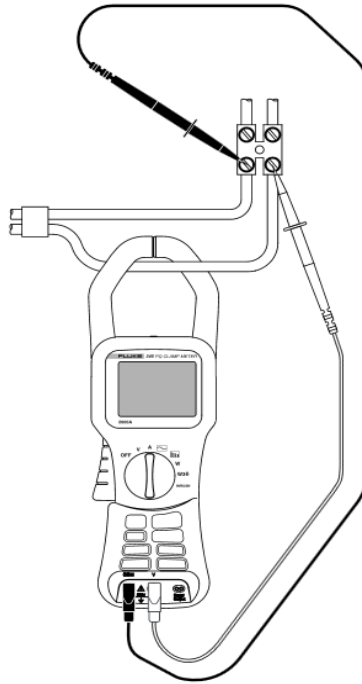


Slika 22: Časovni diagram poteka napetosti v enofaznem izmeničnem tokokrogu.

Slika 22 nam prikazuje časovni diagram poteka napetosti v enofaznem izmeničnem tokokrogu. Iz njega lahko razberemo, da je napetost sinusna. Vrh grafa nam prikazuje maksimalno napetost, iz katere lahko izračunamo efektivno napetost. V našem primeru je maksimalna napetost približno 325 V. To napetost delimo s $\sqrt{2}$ in dobimo 230 V (omrežna napetost). Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona.

3.2.3 MERJENJE MOČI (P), V ENOFAZNIH IZMENIČNIH (AC) TOKOKROGIH

Merjenje z merilnikom Fluke 345 je precej enostavnejše kot z navadnim analognim ali digitalnim merilnim inštrumentom. S kleščami merilnika Fluke 345 objamemo fazo, to fazo pa povežemo tudi z vhodom V. Nevtralen vodnik povežemo z COM vhodom na merilniku. Merilnik Fluke 345 nam bo ob priključitvi porabnika na zaslonu prikazal delovno moč, navidezno moč in jalovo moč. Prav tako pa nam bo prikazal tok, napetost in PF (power factor).



Slika 23: Merjenje moči z merilnikom Fluke 345.

Slika 23 nam prikazuje, kako oz. na kakšen način s pomočjo merilnika Fluke 345 izmerimo moč v enofaznih izmeničnih tokokrogih.

Power 1 phase			2016-10-21, 14:15		
			50.0 Hz		
W	VA	VAR			
982	982	0			
V rms	A rms	PF			
234.1	4.19	1.000			

Slika 24: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju moči.

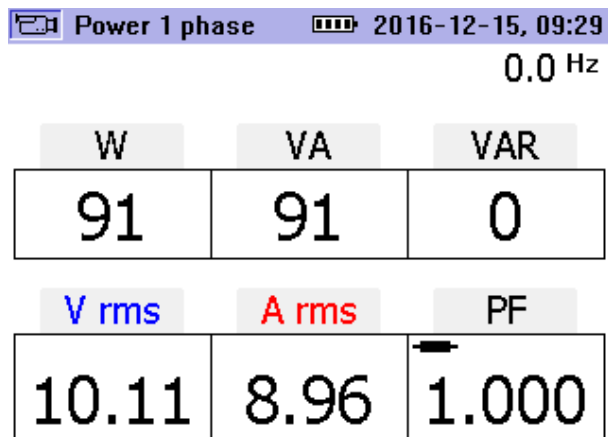
Slika 24 nam prikaže primer izmerjene vrednosti moči, napetosti ter toka z merilnikom Fluke 345 v enofaznih izmeničnih sistemih (primer merjenja kuhalnika).



Slika 25: Merjenje moči z merilnikom Fluke 345 v laboratoriju.

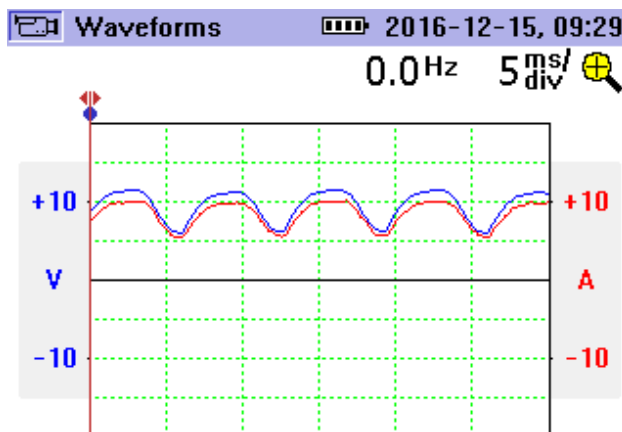
Slika 25 nam prikazuje, kako v praksi povežemo merilnik Fluke 345 za merjenje moči na enofaznih izmeničnih tokokrogih, (primer merjenja moči kuhalnika).

3.2.4 MERJENJE TOKA (I), NAPETOSTI (U) IN MOČI (P), V ENOSMERNIH (DC) TOKOKROGIH



Slika 26: Zaslona merilnika Fluke 345.

S slike 26 lahko razberemo enosmerno napetost, na katero je priključeno naše breme (10.11 V), enosmerni tok (8.96 A). S temi podatki lahko merilni inštrument Fluke 345 izračuna delovno moč ($U \times I$) kater rezultat je prikazan v wattih. Navidezna moč je ista kot delovna moč, saj v enosmernih tokokrogih jalove moči ni. V bistvu v enosmernih tokokrogih o navidezni moči ne govorimo.



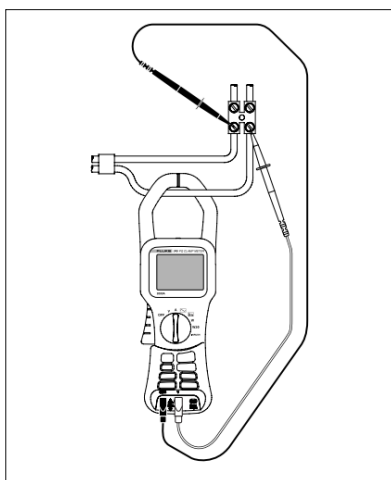
Slika 27: Časovni diagram enosmerne napetosti in toka.

Na sliki 27 je prikazan primer grafa enosmerne napetosti in toka. S slike lahko razberemo, da sta tok in napetost enosmerna. Tok in napetost sta enosmerna, saj graf nikoli ne seka ničelne vrednosti veličin. Na grafu opazimo, da je povprečna vrednost enosmerne napetosti približno 10 V tok pa približno 9 A. Napetost in tok sta valovita (ni čisto ravna črta na grafu) zaradi trifaznega diodnega usmernika, ki napaja naše breme.

4 ZAHTEVNEJŠE MERITVE Z MERILNIKOM FLUKE 345

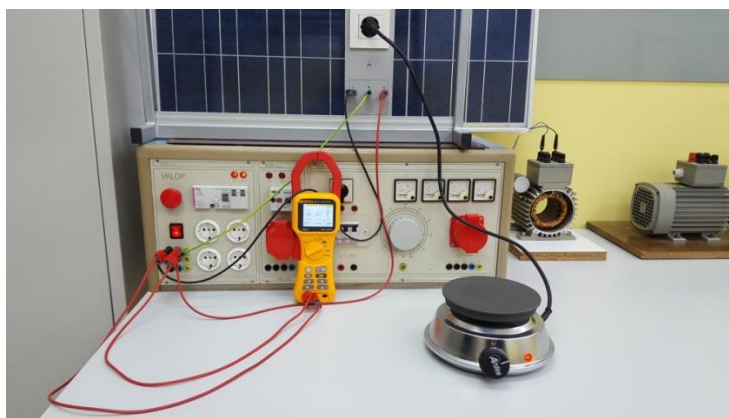
4.1 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN ENOFAZNEGA ČISTEGA R BREMENA S FLUKE 345

Meritve električnih veličin čistega R bremena (npr. kuhalnik in žarnica) so seveda predstavljene kot prve, saj so najbolj osnovni porabniki v elektrotehniki. Tudi za naju je bil to prvi bolj praktičen primer zahtevnejše uporabe merilnega instrumenta Fluke 345. V tej vaji sva izmerila napetost, tok in moč, ki jo je porabljalo najino breme (navaden kuhalnik). Zraven pa sva še hotela preveriti $\cos \varphi$ oziroma PF in ugotoviti, ali je kuhalnik res čisto R breme.



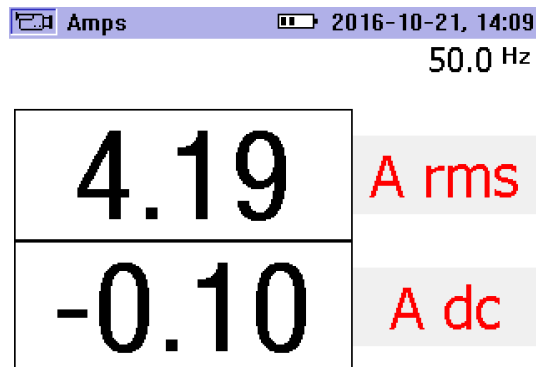
Slika 28: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.

Sliki 28 in 29 nam prikazujeta, kako moramo povezati in pripraviti merilni instrument Fluke 345 v primeru enofaznega porabnika. Ko to opravimo, lahko odčitamo električne veličine z ekrana.



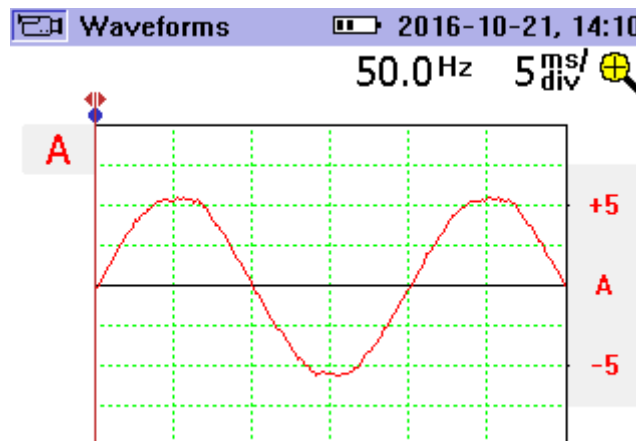
Slika 29: Vezava inštrumenta pri vaji z R bremenom.

4.1.1 MERJENJE TOKA



Slika 30: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju toka.

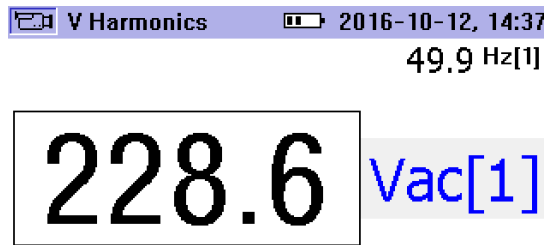
Slika 30 nam prikaže efektivno vrednost toka z merilnikom Fluke 345 v enofaznem sistemu čistega R bremena (v tem primeru kuhalnika).



Slika 31: Prikazan graf toka na merilniku Fluke 345.

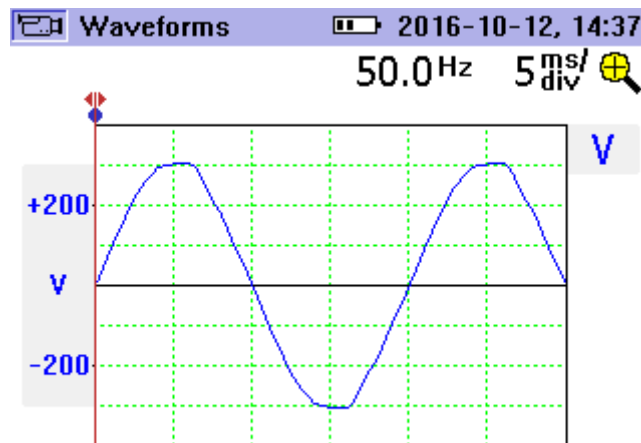
Slika 31 nam prikazuje časovni diagram poteka toka v enofaznem izmeničnem tokokrogu. Iz njega lahko razberemo, da je tok sinusen. Na sliki je sinus rahlo popačen zaradi pogoška merilnega inštrumenta Fluke 345. Maksimalna vrednost toka je 5,9 A iz tega pa lahko izračunamo efektivni tok, ki je $\sqrt{2}$ -krat manjši od maksimalnega toka (4,19 A). Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz, lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona.

4.1.2 MERJENJE NAPETOSTI



Slika 32: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju napetosti.

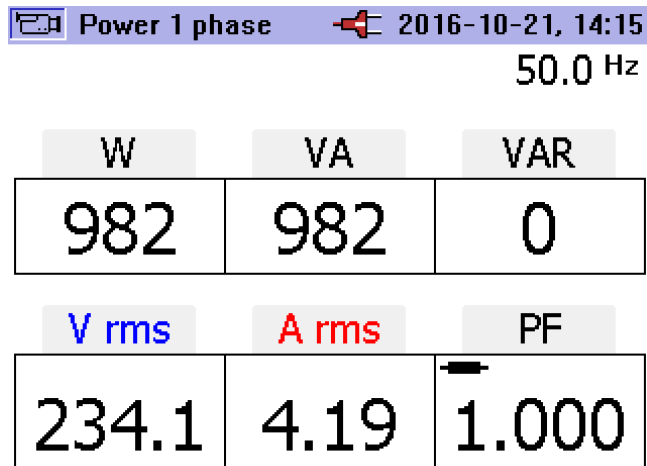
Slika 32 nam prikaže izmerjeno vrednost napetosti z merilnikom Fluke 345 v enofaznih izmeničnih sistemih s čistim R bremenom.



Slika 33: Prikazan graf napetosti na merilniku Fluke 345.

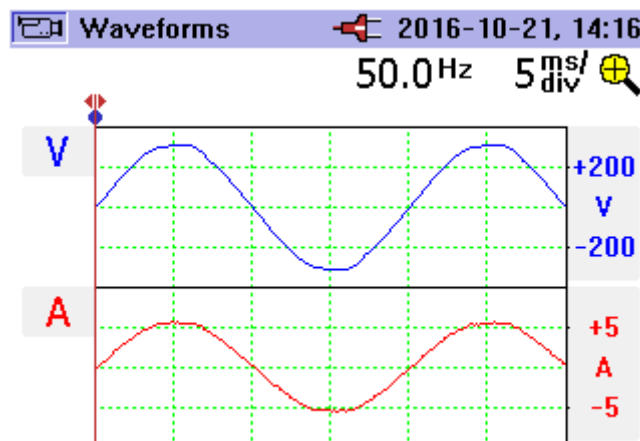
Slika 33 nam prikazuje časovni diagram poteka napetosti v enofaznem izmeničnem tokokrogu. Iz njega lahko razberemo, da je napetost sinusna. Vrh grafa nam prikazuje maksimalno napetost, iz nje pa si lahko izračunamo efektivno napetost. V našem primeru je maksimalna napetost približno 325 V. To napetost delimo s $\sqrt{2}$ in rezultat je 230 V (omrežna napetost). Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz, lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona.

4.1.3 MERJENJE MOČI (TUDI NAPETOSTI IN TOKA)



Slika 34: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju moči.

S slike 34 lahko razberemo efektivno napetost, na katero je priključeno naše breme (234.1 V), efektivni tok (4.19 A) in kakšen je njegov PF (power factor) oziroma $\cos \varphi$ (1.00). Power factor 1 nam pove, da je porabnik čisto R breme, kar pomeni, da tok ne zaostaja za napetostjo. S temi podatki lahko merilni inštrument Fluke 345 izračuna delovno moč ($U \times I \times \cos \varphi$), katere rezultat je prikazan v wattih, navidezno moč ($U \times I$) v volt amperih ter jalovo moč ($Q = \sqrt{S^2 - P^2}$), ki je v tem primeru 0 VAR saj sta delovna moč in navidezna moč enaki.

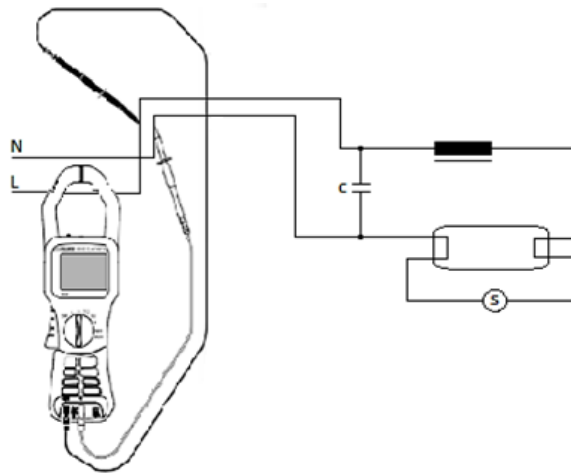


Slika 35: Grafa napetosti in toka hkrati.

Slika 35 prikazuje časovni potek grafa toka in napetosti. Z njega lahko razberemo, da je tok v fazi z napetostjo, saj se njuna sinusoida prične pri obeh veličinah točno na začetku grafa. To nam potrjuje meritev v prejšnji tabeli, da je power factor 1. V našem primeru je $PF = \cos \varphi$.

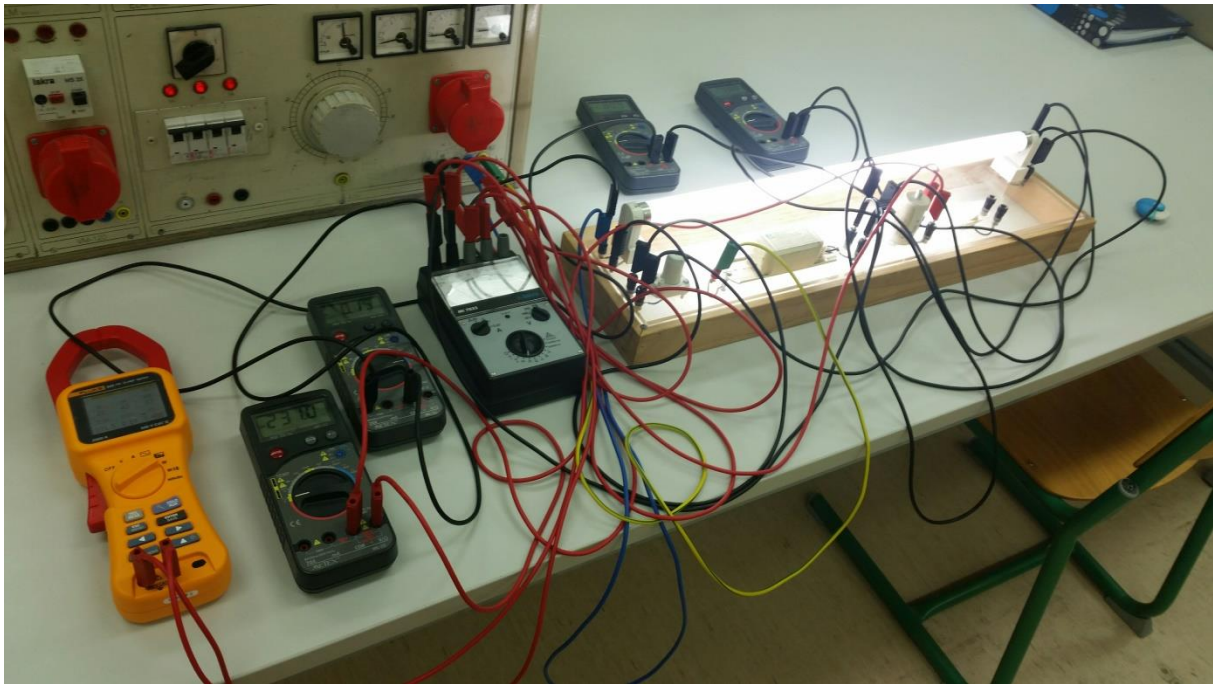
4.2 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN SIJALKE S KLASIČNO PREDSTIKALNO NAPRAVO

Pri tej vaji je bil najin cilj ogledati si, kako svetilka s sijalko s klasično predstikalno napravo (dušilka plus starter), ki je v bistvu ohmsko induktivno breme (podobno kot enofazni motor), vpliva na power factor oziroma $\cos \varphi$ ter si ogledati časovni diagram toka in napetosti.



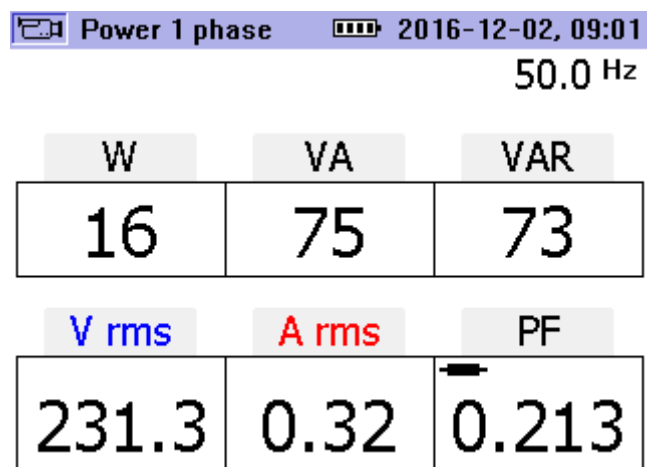
Slika 36: Vezava inštrumenta za merjenje zelenih veličin.

Sliki 36 nam prikazuje, kako moramo povezati in pripraviti merilni inštrument Fluke 345 v primeru vezave sijalke. Ko to opravimo, lahko očitamo električne veličine z ekrana.



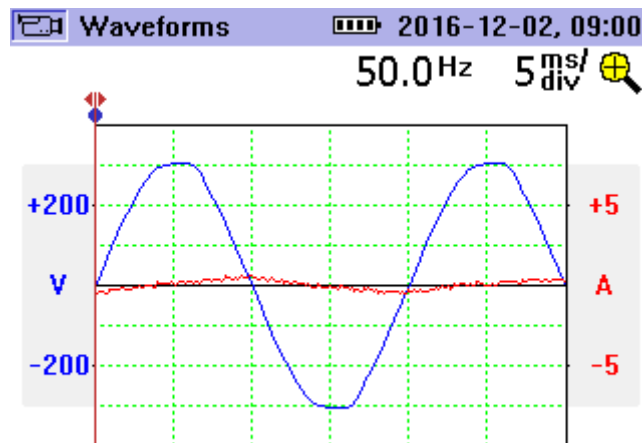
Slika 37: Vezava sijalke.

Slika 37 nam prikazuje, kako z merilnikom Fluke 345 izmerimo željene veličine sijalke, zraven pa je še klasična vezava z ampermetrom, voltmetrom in wattmetrom.



Slika 38: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju električnih veličin sijalke.

S slike 38 lahko razberemo, da je pri sijalki delovna moč (16 W), navidezna moč (75 VA) in jalova moč (73 VAR). Lahko tudi razberemo, da je Power Faktor te vezave 0,213. Razberemo lahko tudi, da je sijalka priključena na napetost 231.3 V in uporablja 0.32 A.

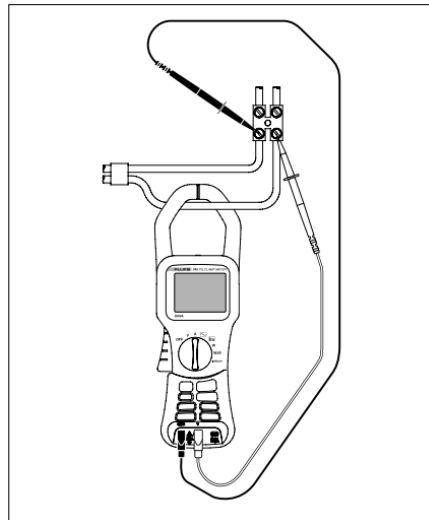


Slika 39: Časovni diagram toka in napetosti.

Graf na sliki 39 nam prikazuje potek električnega toka in napetosti. Vidimo, da sta obe veličini sinusni (tok se slabše vidi, saj je tako majhen (0,32A – efektivni tok)). Vidimo, da tok zaostaja za napetostjo za približno 77° . To potrdi našo meritev, da je power faktor 0.213, kar pomeni, da je sijalka s predstikalno napravo ohmsko induktiven porabnik. Maksimalna napetost in maksimalni tok sta za $\sqrt{2}$ krat večja od efektivnih vrednosti (325 V in 0,45 A).

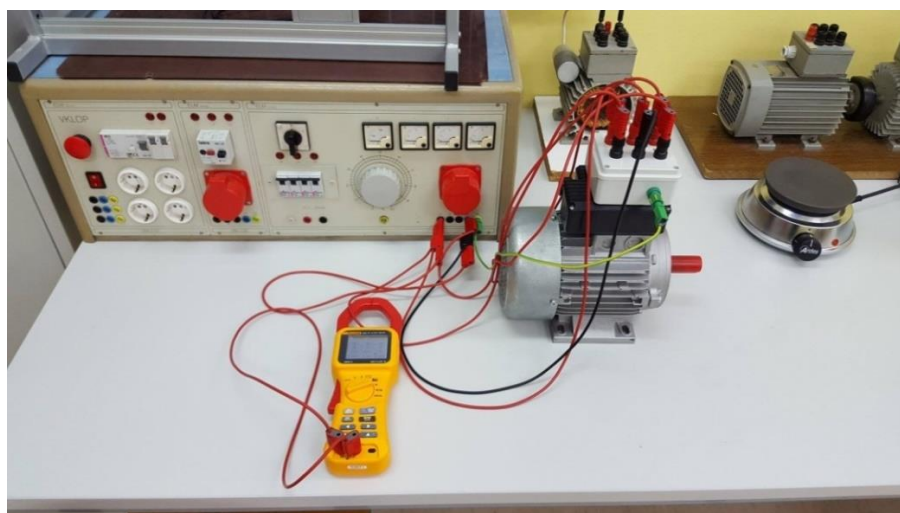
4.3 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN ENOFAZNEGA ASINHRONSKEGA MOTORJA

Enofazni asinhronski motorji se zaradi svoje enostavnosti in zanesljivosti uporabljajo pri majhnih močeh do približno 2 kW, še največ v gospodinjstvu ali mali obrti, kjer imamo na voljo le enofazno napajanje. Breme, ki ga poganjajo, ne sme zahtevati velikega zagonskega momenta, ker ga ti motorji ne morejo zagotoviti.



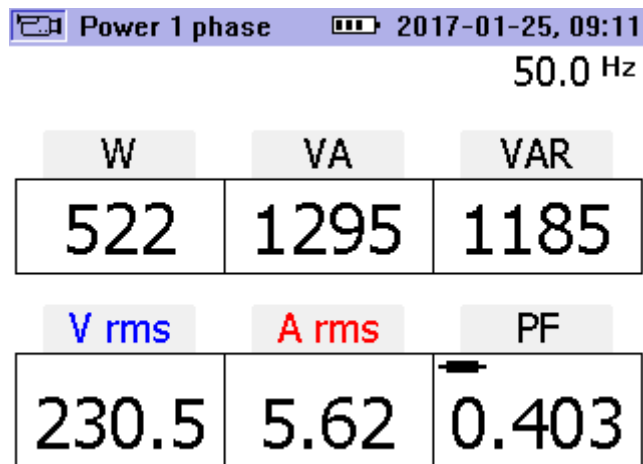
Slika 40: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.

Sliki 40 in 41 nam prikazujeta, kako moramo povezati in pripraviti merilni inštrument Fluke 345 v primeru enofaznega porabnika. Ko to opravimo lahko odčitamo električne veličine s ekrana.



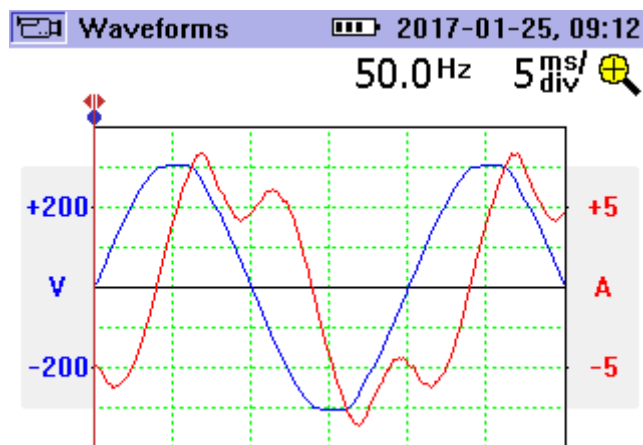
Slika 41: Vezava enofaznega električnega motorja.

Slika 41 nam prikazuje, kako z merilnikom Fluke 345 izmerimo željene veličine enofaznega asinhronskega motorja.



Slika 42: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju veličin.

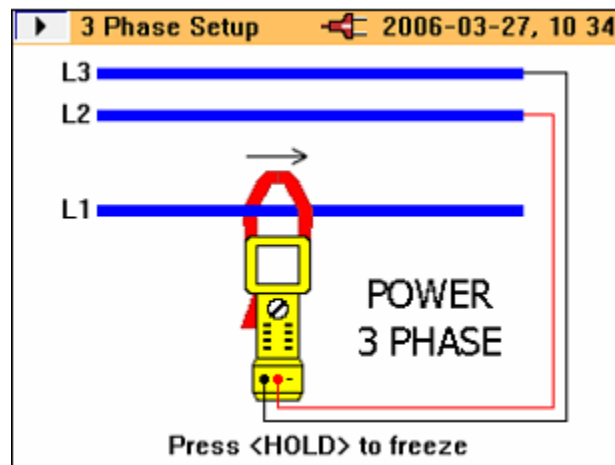
S slike 42 lahko razberemo delovno moč (522 W), navidezno (1295 VA) in jalovo moč (1185 VAR). Ugotovimo lahko, da porabnik nima v fazi toka in napetosti, kar se vidi tudi na sliki 43. S slike še lahko razberemo napetost (230,5 V), tok (5,62 A) in PF (0,4), s katerega lahko razberemo zamik sinusoid toka in napetosti.



Slika 43: Časovni diagram toka in napetosti.

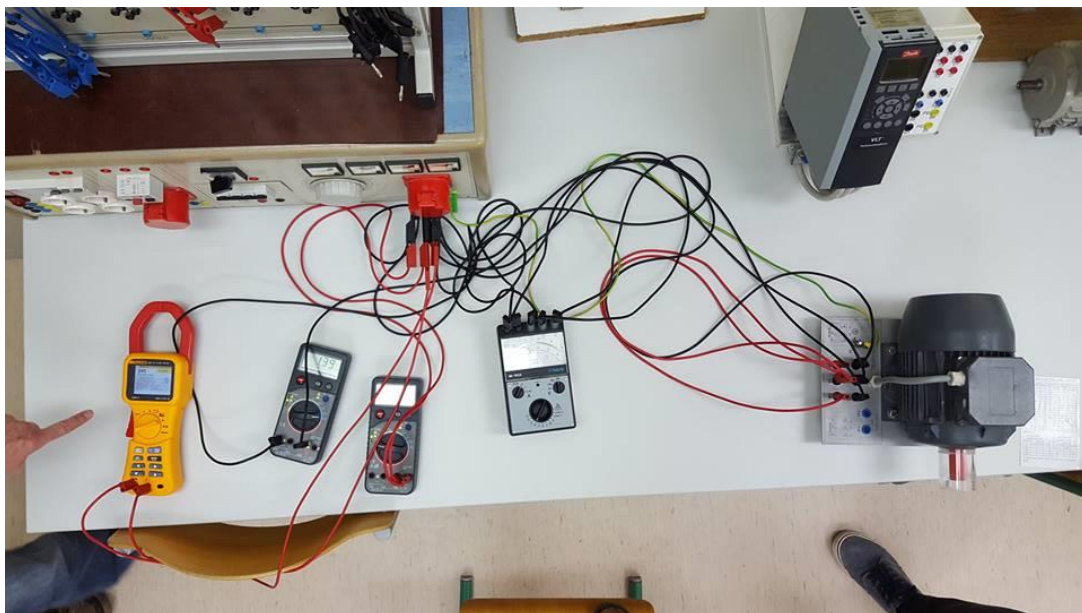
Slika 43 nam prikazuje časovni potek sinusnega diagrama toka in napetosti, z njega pa razberemo, da tok zaostaja za napetostjo. V enofaznih ohmsko induktivnih tokokrogih tok vedno zaostaja za napetostjo za nek kot. Z grafa odčitamo maksimalen tok (7,9 A) in napetost (300 V – morala bi biti 325 V), ki sta za $\sqrt{2}$ -krat večja od efektivnih vrednosti. Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni, da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz, lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona. Električni tok je malce nesinusen, saj je bil motor v praznem teku in prevladuje magnetilni tok. Ker je faktor delavnosti približno 0,4, vidimo s slike 43, da je kot ϕ približno 66 stopinj.

4.4 MERJENJE ELEKTRIČNIH VELIČIN TRIFAZNEGA ASINHRONSKEGA MOTORJA



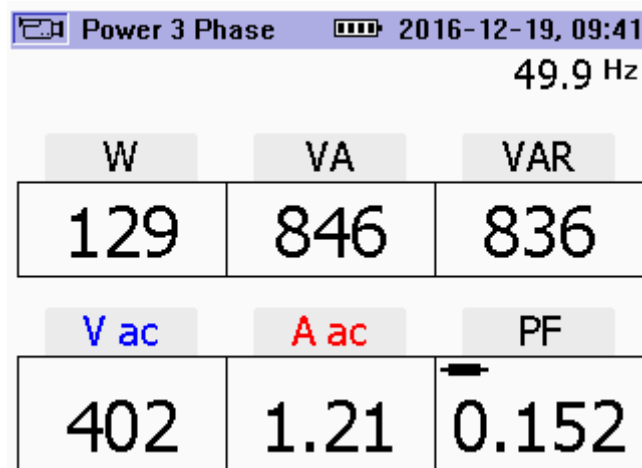
Slika 44: Vezava inštrumenta za merjenje željenih veličin.

Sliki 44 nam prikazuje kako moramo povezati in pripraviti merilni inštrument Fluke 345 v primeru trifaznega asinhronskega motorja. Pri tej meritvi nastavimo inštrument za merjenje trifaznih veličin. Ko to opravimo lahko odčitamo električne veličine z ekrana. Slika 45 tudi prikazuje klasični način merjenja z ampermetrom, voltmetrom in wattmetrom.



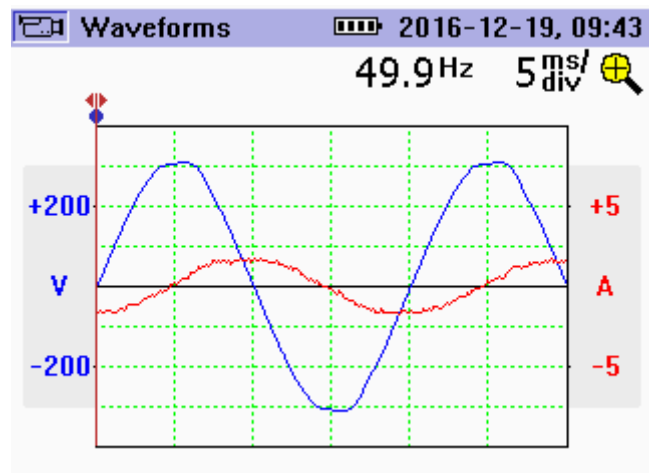
Slika 45: Vezava trifaznega električnega motorja.

Slika 45 nam prikazuje, kako z merilnikom Fluke 345 izmerimo željene veličine trifaznega asinhronskega motorja. Merjenje sva izvedla s Fluke 345 kot tudi s klasičnimi instrumenti in rezultate med seboj primerjala, (rezultati so bili primerljivi).



Slika 46: Zaslona merilnika Fluke 345 ob merjenju veličin.

S slike 46 lahko razberemo delovno moč (129 W), navidezno moč (846 VA) in jalovo moč (836 VAR) trifaznega asinhronskega motorja v praznem teku. Vidimo tudi da porabnik, nima v fazi tok in napetosti, kar se vidi tudi na sliki 47. S slike 46 še lahko razberemo medfazno napetost (402 V), tok (1,21 A) in PF (0,152). S slike 47 lahko razberemo fazni zamik sinusoid toka in napetosti.



Slika 47: Časovni diagram toka in napetosti.

Slika 47 nam prikazuje časovni potek sinusnega diagrama toka in napetosti, z njega pa razberemo, da tok zaostaja za napetostjo za približno 82° , saj je motor v praznem teku in prevladuje magnetilni tok ($PF=0,15$). Z grafa odčitamo maksimalen tok (1,71 A) in enofazno maksimalno napetost (325 V), ki sta za $\sqrt{2}$ krat večja od efektivnih vrednosti. Ena perioda grafa je sestavljena iz štirih razdelkov po 5 ms. To pomeni da je čas periode 20 ms. S pomočjo teh podatkov izračunamo frekvenco ($f = \frac{1}{T}$), ki je 50 Hz, lahko pa jo preprosto razberemo z zaslona.

5 VIŠJI HARMONIKI IN THD (total harmonic distortion)

V sodobnih objektih, industrijskih kakor tudi poslovnih, se močno povečuje uporaba elektronskih naprav, ki ob lepi sinusni napetosti ne odjemajo toka v linearnem sorazmerju s to napetostjo. Ta oblika toka ni več sinusna.

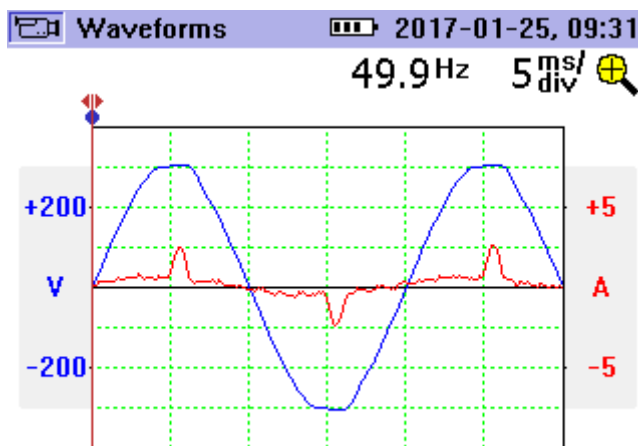
Povzročitelj teh višjih harmonskih komponent so naslednja nelinearna bremena (sistemi neprekinjenega napajanja, računalniki, faksi, razsvetljava z elektronskimi predstikalnimi napravami, frekvenčni pretvorniki, usmerniki ...). Veliko od teh naprav, še posebej v starejših inštalacijah, projektanti niso predvidevali, pri projektiranju najnovejših električnih inštalacij pa jih je velikokrat treba upoštevati, saj te naprave oz. posledično višji harmonski tokovi povzročajo probleme (dodatne izgube in s tem povečano segrevanje v električnih vodnikih in transformatorjih, povečevanje padcev napetosti, povečevanje konic porabljene moči, prehitro staranje izolacije, pregrevanje strojev, resonančni pojav ipd.).

Veliki problemi lahko nastanejo pri trifaznih štirivodnih sistemih, kjer se vsi tokovi seštevajo v nevtralen vodnik. Pri trifaznih simetričnih obremenitvah se tokovi večinoma odštevajo, pri nesimetričnih obremenitvah z veliko vsebnostjo višjih harmonskih tokov pa so problematične tretje harmonske komponente, ki so fazne in se vračajo v izvor po nevtralnem vodniku. Zato lahko tok v nevtralnem vodniku nevarno naraste, kar je lahko zelo nevarno, saj nevtralni vodnik ni nadtokovno varovan. Poleg tega se ti tokovi višjih frekvenc zaključujejo prek transformatorja, ki so dimenzionirana za 50 Hz, to pa povzroča dodatno segrevanje transformatorja.

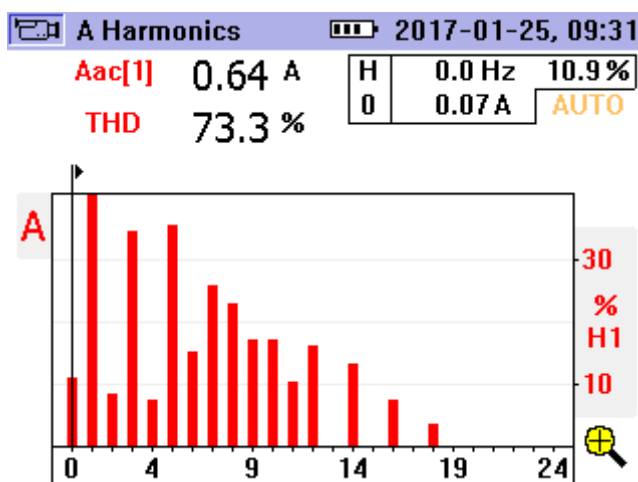
Tokovno harmonsko popačenje posledično povzroča v elektroenergetiki napetostno harmonsko popačenje.

5.1 VIŠJE HARMONSKKE KOMPONENTE

Z razvojem močnostne elektronike se večja število nelinearnih porabnikov, ki imajo drugačen potek vhodnega toka kot linearna uporovna bremena, spremeni pa se tudi potek omrežne napetosti.



Slika 48: Graf poteka toka in napetosti.



Slika 49: Frekvenčni spekter vhodnega toka.

Slika 48 prikazuje časovni potek vhodnega toka nekega nelinearnega porabnika pri čisti sinusni napetosti, ki ni več sinusen.

Slika 49 prikazuje njegov frekvenčni spekter (vsebnost višjih harmonskih komponent).

Z razvojem močnostne elektronike se večja število nelinearnih porabnikov, ki imajo drugačen potek vhodnega toka kot linearna bremena, posledično pa se spremeni tudi potek omrežne napajalne napetosti, ki ni več čisto sinusna.

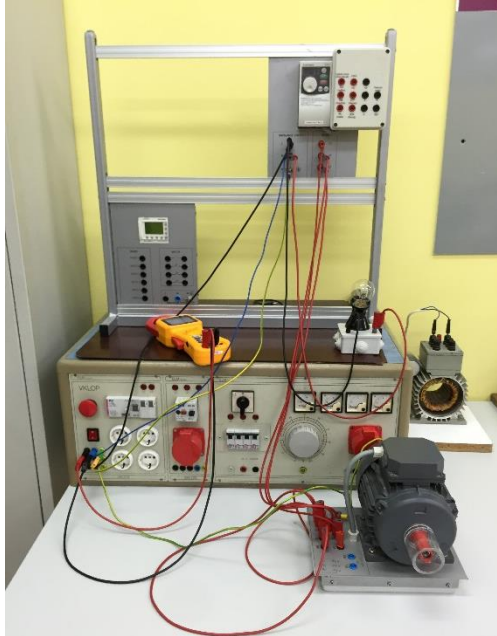
5.2 STANDARD SIST EN 50160

V Sloveniji je veljaven standard s področja kakovosti električne napetosti, med drugimi pomembnimi parametri kakovosti pa ta standard omenja tudi napetostno harmonsko popačenje. To je standard SIST EN 50160, ki določa meje posameznih harmonskih komponent v sredjenapetostnih in nizkonapetostnih omrežjih. Standard določa, da mora biti ob običajnih obratovalnih pogojih, v katerem koli tednu, 95 odstotkov vseh desetminutnih srednjih efektivnih vrednosti posameznih harmonskih napetosti enakih ali manjših od vrednosti, podanih na sliki 50. Na sliki 50 so navedene vrednosti posameznih harmonskih komponent napetosti za NN in SN omrežja na predajnem mestu za rede harmonikov do 25, ki so podani v odstotkih nazivne napetosti U_n za NN in v odstotkih dogovorjene napajalne napetosti za SN omrežja. Velja mora, da mora biti THD (U) napajalne napetosti, vključujoč vse harmonike do reda 40, manjši ali enak osmim odstotkom, pri čimer je omejitev do reda 40 dogovorjena.

Lihi harmoniki				Sodi harmoniki	
Niso večkratniki števila 3		Večkratniki števila 3			
Red harmonika	$u_h\%$	Red	$u_h\%$	Red	$u_h\%$
5	6	3	5*	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 do 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Slika 50: Maksimalne vrednosti posameznih harmonskih komponent napetosti za NN in SN omrežja.

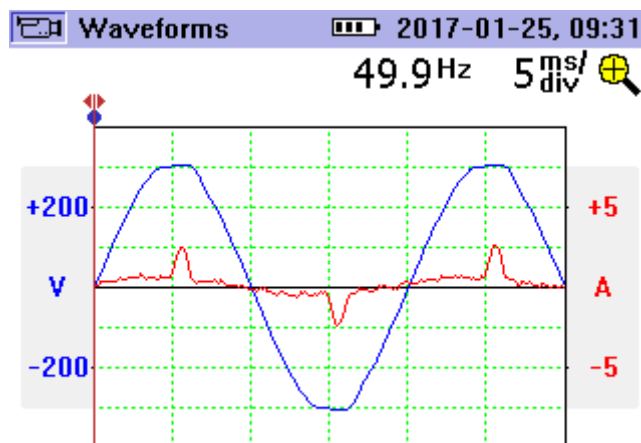
5.3 VIŠJI HARMONIKI TOKA – PRIMER MERJENJA THD (I) MEŠANE VEZAVE



Slika 51: Vezava 3f AS motorja preko frekvenčnega pretvornika.

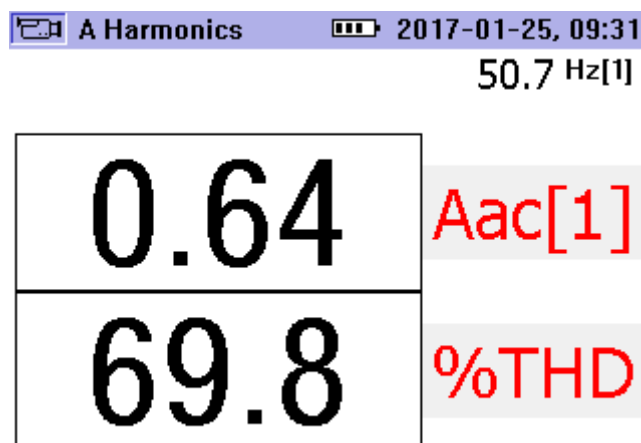
Slika 51 nam prikazuje mešano vezavo, ko na enofazno napetost priključimo preko frekvenčnega pretvornika 3-fazni asinhronski motor, zraven pa smo neposredno priključili še 100W žarnico (imamo neko mešano vezavo).

Frekvenčni pretvornik nam omogoča, da s spreminjanjem frekvence in napetosti reguliramo oziroma krmilimo asinhronski motor. Spreminjanje frekvence in napetosti pri krmiljenju poteka po funkciji $U/f = \text{konst}$, zato je primeren tudi za mehki zagon asinhronskega motorja. Naš frekvenčni pretvornik pa nam tudi omogoča delovanje 3-faznega asinhronskega motorja s samo enofaznim dovodom. 3-fazni asinhronski motor je skupaj s frekvenčnim pretvornikom (v našem primeru imamo zraven še priključeno navadno žarnico) tipično nelinearno breme, ko tok ni sinusen, in danes imamo v elektrotehniki zelo veliko takih porabnikov ...



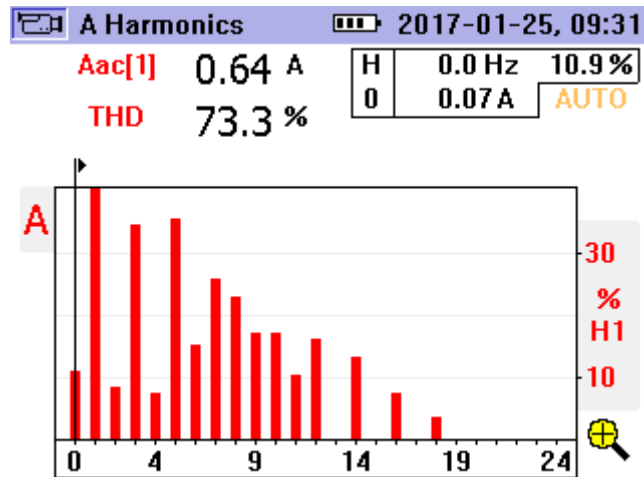
Slika 52: Graf poteka toka in napetosti.

Slika 52 nam prikazuje časovni potek toka in napetosti, iz njega pa razberemo, da tok in napetost nista v fazi. Tok je izrazito nesinusen (popačen). To lahko pomeni bolj pogoste napake na opremi, večanje izgub v kabljih ...



Slika 53: Zaslón Fluke 345 ob meritvi.

Slika 53 nam prikazuje vrednost toka (0,64 A) in procentualno popačenje višjih harmonikov toka (69,8 %). To je zelo visoka popačenost toka.



Slika 54: Frekvenčni spekter popačenosti toka.

Slika 54 nam prikazuje spekter harmonikov. Najizrazitejša popačenja vedno opazimo pri tretjem, petem, sedmem, devetem harmoniku. Ta popačenja so značilna za nelinearna bremena. Te harmonike pa lahko odpravljamo s filtrskimi kompenzacijskimi napravami, seveda v primeru celega objekta.

Procentualna vrednost posameznih harmonikov:

- 3 harmonik (33 %) osnovnega harmonika (150 Hz),
- 5 harmonik (35 %) osnovnega harmonika (250 Hz),
- 7 harmonik (25 %) osnovnega harmonika (350 Hz),
- 9 harmonik (18 %) osnovnega harmonika (450 Hz).

6 RAZISKOVALNI DEL

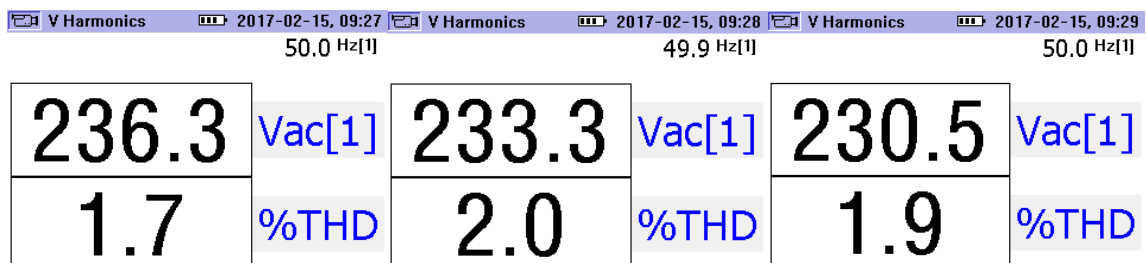
6.1 MERJENEJE VIŠJIH HARMONIKOV NA VSEH TREH FAZAH

Za ugotavljanje popačenja napetosti v laboratoriju sva uporabila 3-fazni priključek. Vsako fazo sva merila posebej in za vsako odčitala izmerjene vrednosti in popačenje višjih harmonikov napetosti. Meritev sva opravila ob 7:30 dne 15. 2. 2017 (opomba: na instrumentu - slika 56, ura ni bila prav nastavljena). Za ta čas sva se odločila, ker takrat šola doseže najvišjo porabo in s tem največje popačenje zaradi nelinearnih porabnikov (računalnikov, projektorjev itd.).



Slika 55: Priključitev Fluke 345 na prvo fazo.

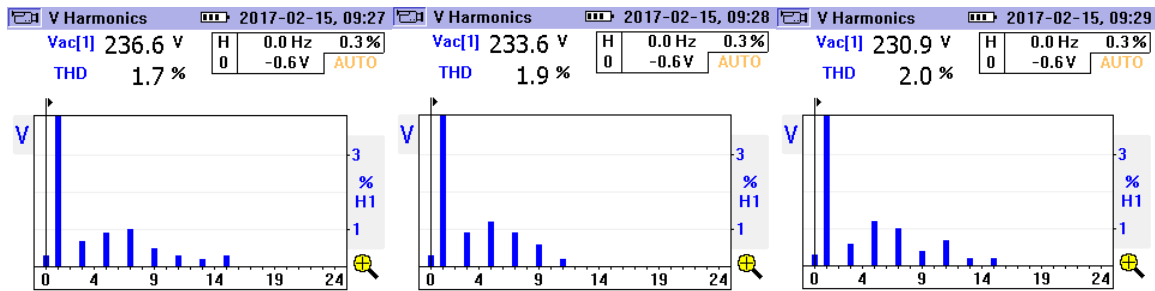
Slika 55 prikazuje priključitev merilnika Fluke 345 na prvo fazo in nevtralni vodnik.



Slika 56: Zaslona fluka345 ob merjenju posameznih faz.

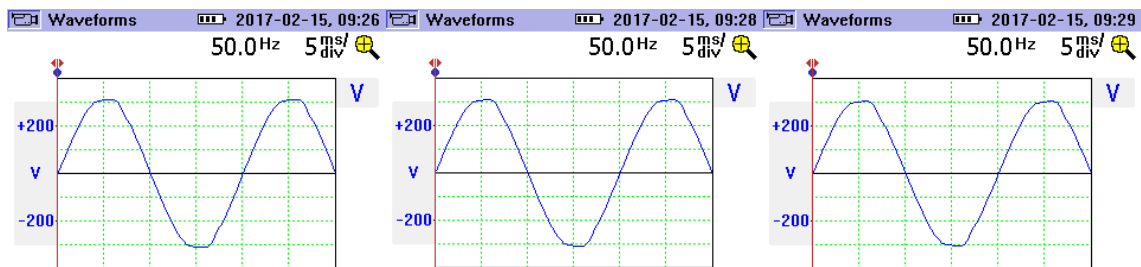
S slike 56 lahko razberemo fazno napetost za vsako fazo posebej L1 (236.3 V), L2 (233,3 V) in L3 (230,5 V). Spodnja vrednost pa nam prikazuje skupno napetostno harmonsko popačenje

v % L1 (1,7 %), L2 (2.0 %) in L3 (1,9 %). Vse te vrednosti so v mejah dovoljenega popačenja po standardu SIST EN 50160.



Slika 57: Frekvenčni spekter napetosti na vsaki fazi.

Slika 57 nam prikazuje frekvenčni spekter popačenja napetosti za vse 3 faze. Iz njih razberemo, da na harmonsko popačenost najbolj vplivajo 3. 5. 7. in 9. harmonik. Popačenje je minimalno, (pod 2 % skupno napetostno harmonsko popačenje in pod 1,2 % popačenje posameznih harmonikov).



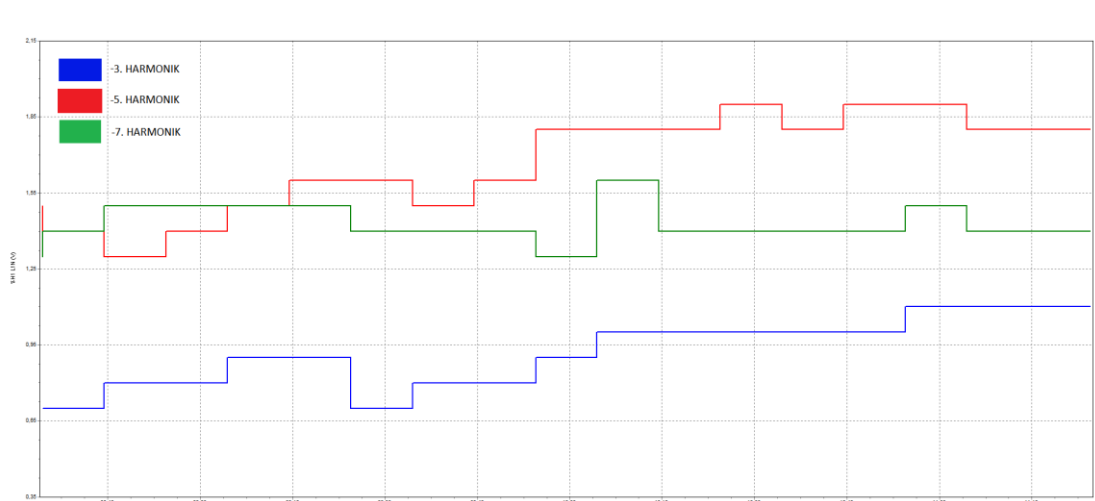
Slika 58: Graf poteka napetosti na posameznih fazah.

Slika 58 nam prikazujejo grafični potek sinusoide napetosti. Opazimo da so vrhovi period rahlo popačeni. Razlog teh popačenj je THD ali pogrešek merilnega inštrumenta. Glede na THD (U) je popačenje minimalno.

6.2 MERJENJE VIŠJIH HARMONIKOV V LABORATORIJU OD 7:30 DO 10:30

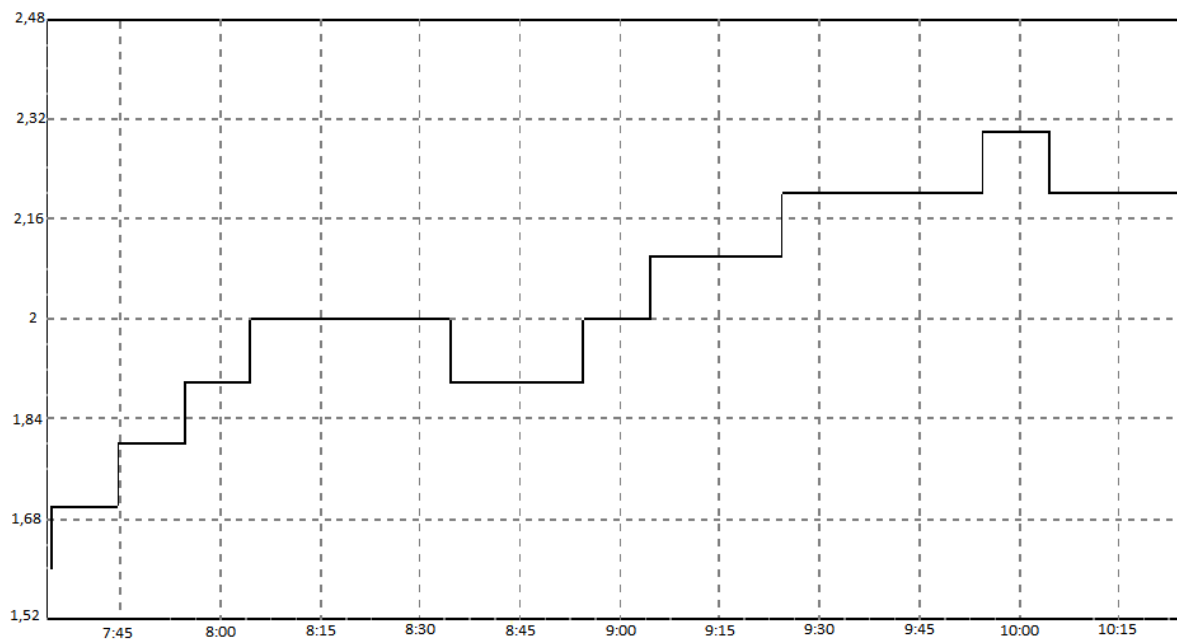
Pri tej vaji sva merila nihanje popačenja omrežne napetosti. Meritev sva pričela ob 7:30 in jo zaključila ob 10:30. Za to časovno obdobje sva se odločila, ker se v tem času prižge večina nelinearnih porabnikov, ki v večini povzročajo harmonsko popačenje (predvsem računalniki). Fluke 345 je vsakih deset minut zabeležil povprečne merjene veličine.

Hipoteza: V tem časovnem obdobju bo THD naraščal, ampak nikoli ne bo prekoračil dovoljene vrednosti po standardu SIST 50160.



Slika 59: Časovni potek harmonične popačenosti na ŠCC (3.5.7. harmonik).

Slika 59 nam prikazuje potek treh glavnih harmonikov (3. 5. in 7. harmonik). Vidimo, da tretji in peti harmonik naraščata, sedmi pa je relativno konstanten. Opazimo, da je tretji harmonik v tem časovnem obdobju najbolj narasel. Vse harmonske napetosti so v mejah standarda, prav tako tudi skupno harmonsko popačenje.



Slika 60: Časovni potek povprečnega popačenja na ŠCC.

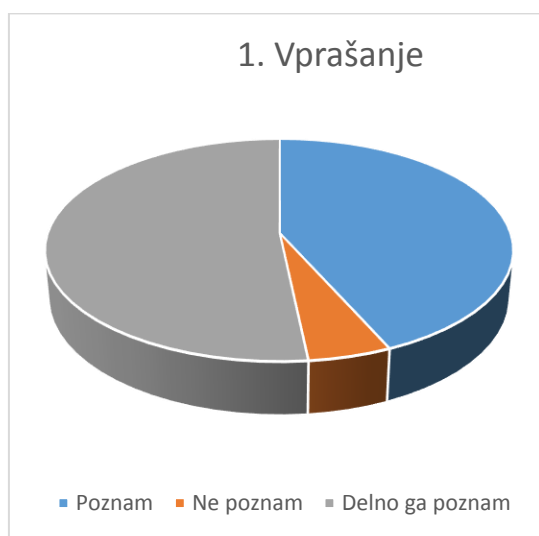
Slika 60 nam prikaže desetminutno povprečje skupnega harmonskega popačenja napetosti. Vidimo da je harmonsko popačenje napetosti ob 7:30 približno 1,7 %; v dveh urah je narastel do 2,2 %, kar pa je še vedno v merah dopustne popačenosti napetosti po standardu SIST 50160. V primeru, da pa bi bila popačenost previsoka, bi morala šola kupiti filterske kompenzacijske naprave. Ta graf potrjuje najino hipotezo. Če je konica popačenosti v laboratoriju 2,2 %, lahko domnevamo, da je na napajalnem mestu popačenost napetosti še manjša.

7 REZULTATI ANKETNIH VPRAŠALNIKOV

Odločila sva se, da bova za raziskovalno nalogo poizvedela nekaj več o merjenju z merilnikom Fluke 345, s katerim bova določila harmonično popačenje napetosti na ŠCC. Sestavila sva anketo, ki se navezuje na seznanjenost dijakov z delovanjem Fluke 345. Anketo sva zastavila dijakom 3. in 4. letnika elektrotehnike – smer energetika. Prav tako pa sva anketirala študentom 1. letnika višje šole za mehatroniko.

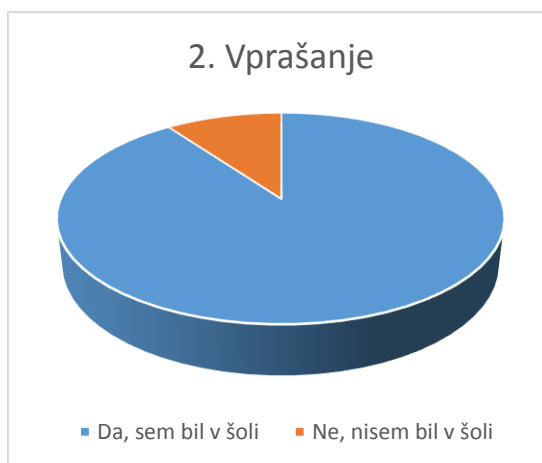
1. Ali poznate merilnik moči Fluke 345?

- a) Poznam (26) – 43 %.
- b) Ne poznam (3) – 5 %.
- c) Delno ga poznam (31) – 52 %.

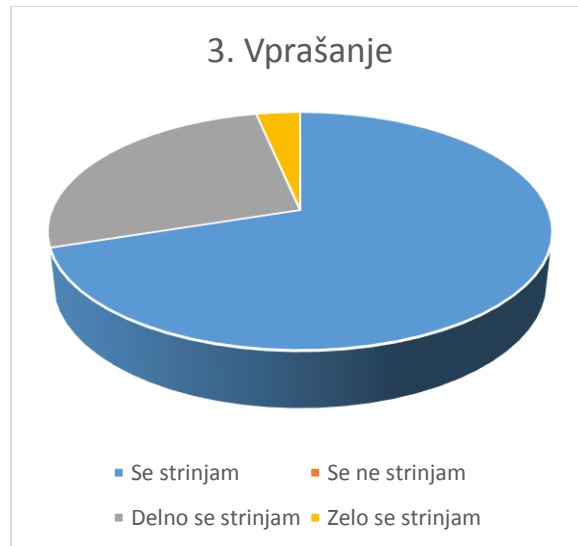


2. Ali ste bili v šoli ko ga je demonstriral učitelj pri vaji?

- a) Da, sem bil v šoli (54) – 90%
- b) Ne, nisem bil v šoli (6) – 10%



3. Merilnik Fluke 345 omogoča praktično vse meritve, ki se izvajajo v elektroenergetiki. Ali se strinjate, da bo merilnik Fluke 345 izboljšal kakovost poučevanja pri praktičnih urah pouka? In zakaj?
- a) Se strinjam (42) – 70%
 - b) Se ne strinjam (0) – 0%
 - c) Delno se strinjam (16) – 27%
 - d) Zelo se strinjam (2) – 3%



4. Pri demonstraciji ste videli, da merilnik Fluke 345 omogoča prikaz časovnik potekov napetosti in toka pri različnih električnih porabnikih, tako da se vidijo fazni premiki, popačenja napetosti, tokov, zagonski tokov in drugo. Ali menite, da ti prikazi prispevajo k boljšemu razumevanju elektrotehnike ?
- a) Se strinjam (52) – 87%
 - b) Se ne strinjam (0) – 0%
 - c) Delno se strinjam (3) – 5%
 - d) Zelo se strinjam (5) – 8%



5. Vaše lastno mnenje o merilniku Fluke 345.

Odgovor 1: Merilnik Fluke 345 se mi zdi zelo pomemben instrument, kajti omogoča nam natančnejše meritve in nas seznanja z današnjo tehnologijo.

Odgovor 2: Je zelo uporaben, poleg tega si lažje predstavljamo stvari, ki se jih učimo.

Odgovor 3: Super zadeva, problem je samo to, da pri prikazu malega toka niso najlepší grafi.

Ugotovila sva, da dijaki in študentje večinoma poznajo merilnik Fluke 345 in da so bili dobro seznanjeni z njegovim delovanjem v šoli pri laboratorijskih vajah. Za večino dijakov je to odlična pridobitev pri laboratorijskih vajah, čeprav ne zanemarjajo klasičnih merilnikov in merilnih tehnik. To sva pričakovala, saj brez predznanja, ki ga pridobimo s klasičnimi merilniki ne moremo razumeti delovanja Fluke 345. Anketiranci so bili najbolj navdušeni nad zaslonom oz. prikazom podatkov in na splošno nad enostavnim rokovanjem in delovanjem s Fluke 345.

8 ZAKLJUČEK

Z anketnim vprašalnikom, ki sva ga sestavila, sva ugotovila, da večina dijakov in študentov pozna merilnik Fluke 345 in je seznanjena z njegovim delovanjem. Nad novo pridobitvijo so navdušeni, saj bo po njihovem mnenju pripomogla k hitrejšemu in lažjem razumevanju snovi.

Merilnik Fluke 345 nama je predstavil najin mentor. Ker je v naju videl zanimanje za merilni inštrument nama je predlagal, da se bolje spoznava z njim. Ker merilnik Fluke 345 omogoča merjenje harmoničnega popačenja napetosti, sva se odločila ugotoviti popačenost napetosti v našem laboratoriju. Pred raziskovalnim delom sva se morala dodobra spoznati z merilnikom in vsemi njegovimi osnovnimi funkcijami. Spoznala sva ga s pomočjo meritev z manj in bolj zahtevnimi vezavami.

Za ugotavljanje popačenja napetosti v laboratoriju sva se odločila za dve različni metodi. Za prvo metodo sva uporabila 3-fazni priključek. Za vsako fazo sva opravila posebno meritev in odčitala izmerjene vrednosti in popačenje. Prvo meritev popačenja sva opravila 15.02.2017 ob 8:30. Za drugo metodo pa sva se odločila za ugotavljanje napetostnega popačenja čez daljše časovno obdobje. Drugo meritev sva opravljala od 7:30 pa do 10:30. Za časovna obdobja pri obeh metodah sva se odločila na podlagi prepričanja, da je ob tem času prižganih največ nelinearnih porabnikov (npr. računalniki).

Obe hipotezi, ki sva si jih zadala pred pričetkom raziskovalnega dela, držita in ju potrjujeva. Ker je bila naša meritev v laboratoriju, bi bila meritev na odjemnem mestu še bolj kakovostna. Res pa je, da če bi želeli dobiti pravo analizo kakovosti električne napetosti na naši šoli, bi ta meritev trajala več časa in s profesionalnim merilnikom za analizo kakovosti po standardu SIST EN 50160

H1: Nakup merilnika Fluke 345 je dobra naložba za šolo, saj pripomore pri poučevanju in razumevanju snovi.

H2: Napetost v laboratoriju na ŠCC (zagotovo tudi na odjemnem mestu) ne presega dovoljene popačenosti napetosti po standardu SIST 50160.

Kljub temu da je na naši šoli precej nelinearnih porabnikov (predvsem računalnikov), kar povečuje tokovno harmonsko popačenje, posledično pa bi se moralo povečevati tudi napetostno harmonsko popačenje, smo vendarle glede napetostnega popačenja v mejah, ki jih določa standard. Meniva, da je razlog v tem, da je nizkonapetostni priključni kabel od transformatorske postaje do naše šole precej kratek (okoli 100 m), kar pomeni, da so zaradi tega tudi manjši harmonski padci napetosti, s tem pa tudi ni posebej popačena napajalna napetost na naši šoli.

9 LITERATURA

ELEKTROTEHNIŠKI priročnik / [avtorji Peter Bastian ...[et al.] ;prevajalci Sibila Vadlja ... [et al.] ; slikovno gradivo po izvirniku]. – 1.natis. – Ljubljana ; Tehniška založba Slovenije, 2013; Prevod dela: Fachkunde Elektotechnik, 28. Aufl.; ISBN 978-961-251-330-6

ŽALAR, Zdravko: Osnove elektrotehnike 2 / Zdravko Žalar ; [risbe izdelala Mira Jarc] – 5. ponatis. – Ljubljana : Tehniška založba Slovenije, 2000; ISBN 86-365-0156-3

LILIJA, Boštjan: DES-UDO vaje skripta

LEKAN, Gregor: Kakovost električne energije / seminarska naloga; Študijsko leto 2015/16

345 Power Quality Clamp Meter / Users Manual / October 2006 / http://lrf.fe.uni-lj.si/e_rio/Seminarji1516/KakovostElektricneEnergije.pdf

Fluke 345 Power Quality Clamp Meter / <http://en-us.fluke.com/products/power-quality-analyzers/fluke-345-clamp-meter.html#overview>

Anketa

Sva Martin Černezel in Domen Gradišnik, dijaka 4 letnika elektrotehniške šole smer – energetik. Odločila sva se, da bova za raziskovalno nalogo poizvedela nekaj več o merjenju z merilnikom Fluke 345 s katerim bova določila harmonično popačenje napetosti na ŠCC. Pri tem nama bo v pomoč vaši odgovori in mnenje o merilniku Fluke 345. Vljudno vas prosiva, da izpolnite anketni vprašalnik.

1. Ali poznate merilnik moči Fluke 345 ?

- a) Poznam
- b) Ne poznam
- c) Delno ga poznam



2. Ali ste bili v šoli ko ga je demonstriral učitelj pri vajah ?

- a) Da, sem bil v šoli
- b) Ne, nisem bil v šoli

3. Merilnik Fluke 345 omogoča praktično vse meritve, ki se izvajajo v elektroenergetiki. Ali se strinjate, da bo merilnik Fluke 345 izboljšal kakovost poučevanja pri praktičnih urah pouka ? in zakaj ?

- a) Se strinjam
- b) Se ne strinjam
- c) Delno se strinjam
- d) Zelo se strinjam

Zakaj?(komentar)

4. Pri demonstraciji ste videli, da merilnik Fluke 345 omogoča prikaz časovnik potekov napetosti in toka pri različnih električnih porabnikih, tako da se vidijo fazni premiki, popačenja napetosti, tokov, zagonski tokovu in drugo.

Ali menite, da ti prikazi prispevajo k boljšemu razumevanju elektrotehnike ?

- a) Se strinjam
- b) Se ne strinjam
- c) Delno se strinjam
- d) Zelo se strinjam

5. Vaše lastno kratko mnenje o merilniku Fluke 345.

IZJAVA*

Mentor (-ica) Bostjan Lipu, v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi naslovom

Merjenje harmoničnega popačenja napetosti na SCC,
katere avtorji (-ice) so Martin Černež, Domen Gradšnik, _____ :

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo (-ičino) dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje

Celje, 13.3.2017



žig šole

Podpis mentorja(-ice)

Lip

Podpis odgovorne osebe

[Signature]

*

POJASNILO

V skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja(-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja(-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.

