

CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE LA ILUMINATUL STRADAL

Prof. dr. ing. Radu Dumitru PENTIUC, Conf. dr. ing. Cezar Dumitru POPA

Universitatea „Ștefan cel Mare” – Suceava,
Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

REZUMAT. Acest articol își propune studiul comparativ al unui sistem de iluminat urban echipat cu surse convenționale de lumină cu unul modern, care utilizează surse de lumină cu LED-uri. Lucrarea prezintă aspecte generale ale teoriei analizei calității energiei electrice precum și descrierea matematică a principalelor parametri ce sunt menționați pe parcursul lucrării. Deoarece buna funcționare a echipamentelor electrice depinde de prezența armonicilor de tensiune din rețea și de forma undei de curent, o investigație a sistemelor de iluminat urban din acest punct de vedere este benefică. Studiul vizează de asemenea energia electrică consumată și iluminarea obținută, apoi studiul armonicilor introduse în rețea, precum și rolul balastului din circuitele electrice. Un criteriu de alegere dintre soluțiile propuse este și criteriul economic, se calculează valoarea investiției și amortizarea costurilor în cazul în care se consideră înlocuirea aparatelor de iluminat clasice cu cele echipate cu LED.

Cuvinte cheie: sistem de iluminat, calitate, armonici, energie, rețea, economic, investiție, costuri.

ABSTRACT. This article proposes a comparative study of a urban lighting system equipped with conventional light sources with a modern one, using light sources with LED s. This paper presents the general aspects of the theory of power quality analysis and the mathematical description of the main parameters which are listed in the paper. Since the proper functioning of electrical equipment depends on network voltage harmonics and current waveform, an investigation of urban street lighting in this regard is beneficial. The study also aims the electricity consumed, the illumination achieved and the study of harmonics introduced in the network and the role of ballast circuits in this problem. An important criterion in choosing the proposed solutions is the economic criteria, we calculate the investment and depreciation costs if they consider replacing the conventional apparatus equipped with LEDs.

Keywords: lighting quality, harmonics, power, network, economic, investment, costs.

1. INTRODUCERE

Interesul pentru reducerea consumului de energie electrică și a costurilor de mentenanță a oricărui echipament sau instalație este unul evident, de la nivelul de individ până la cel mondial. Iluminatul public reprezintă un sector unde se pot realiza reduceri semnificative în ambele sensuri datorită apariției pe piață a noi surse economice. Până în acest moment iluminatul urban s-a realizat utilizând surse de lumină clasice cum ar fi lămpile cu vapori de sodiu de joasă și înaltă presiune și a celor cu vapori metalici, de obicei de înaltă presiune. Au fost perfecționate sursele de iluminat cu LED. Constructorii și distribuitorii lor afirmă că sunt mult mai eficiente din punctul de vedere al consumului și au caracteristici superioare din punctul de vedere al eficacității luminoase. Astfel avem o alternativă aplicabilă la scara tot mai largă.

Sunt propuneri pentru înlocuirea surselor clasice de iluminat. Aparatele de iluminat echipate cu LED aduc în prim plan și câteva dezavantaje, unele pot fi

analizate cu ușurință, altele, mult mai complexe, necesită timp mai îndelungat de exploatare. Costul este încă ridicat în comparație cu cele aflate pe piață, influența asupra calității energiei electrice și variațiile undei de tensiune și ale undei de curent, nu sunt complet determinate. Modul lor de comportare în timp și durata de viață în condițiile de funcționare în aer liber, la o exploatare reală, sunt doar estimate. Încă nu este cunoscută influența luminii provenite din noile surse cu LED asupra retinei. Nu este cunoscut nici efectul asupra păsărilor nocturne.

În lucrare vom analiza influența pe care o au noile surse de lumină asupra rețelelor electrice de distribuție, mai ales din comunitățile urbane. În general mărimile ce caracterizează un sistem energetic sunt mărimi periodice, aproximativ sinusoidale. Abaterile de la forma ideală a mărimilor electrice, încadrează sistemul într-un regim deformat. În realitate generatoarele nu produc tensiuni riguros sinusoidale oricât de performante ar fi. Marea parte a distorsiunilor apare datorită consumatorilor neliniari (bobine cu miez din fier, redresoare, invertoare, amplificatoare magnetice, cuptoare electrice cu arc, instalațiile de

iluminat fluorescente și cele cu LED-uri). Aceste tipuri de consumatori deformează forma de undă a curentului, iar acesta produce căderi de tensiune nesinusoidale, deci favorizează apariția armonicilor de tensiune.

Un prim motiv al studiului regimului periodic nesinusoidal este cel datorat influenței negative asupra celorlalți consumatori conectați la aceeași rețea (cupluri suplimentare parazite de frânare, încălzirea circuitului magnetic la motoarele electrice asincrone, perturbarea funcționării instalațiilor de lumină, erori la aparatele de măsură și la semnalizări). Un alt efect este scăderea factorului de putere, care presupune creșterea pierderilor de putere activă în rețea și reducerea capacității de transport a instalațiilor energetice. Ameliorarea neutrală a factorului de putere presupune investiții suplimentare.

La fel ca lămpile cu vapori de sodiu, LED-urile sunt consumatori neliniari iar aceasta presupune generarea armonicilor de curent și tensiune în rețeaua electrică. Atât instalațiile clasice cât și cele noi cu LED au în componență echipamente electronice suplimentare care au rolul de aprinderea lămpilor și stabilizarea tensiunii la circuitul de iluminat, în special la LED-uri. Și influența acestor echipamente auxiliare asupra calității energiei electrice este analizată în această lucrare.

2. CALITATEA ENERGIEI

Analiza matematică a formelor de undă. Analiza semnalelor nesinusoidale se realizează pe baza descompunerii acestora în serie Fourier. Aceasta presupune descrierea semnalului în funcție de componentele armonicilor astfel:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + \gamma_n)) = Y_0 + \sum_{n=1}^{\infty} y_n;$$

unde Y_0 reprezintă valoarea medie a mărimii sau componenta curentului continuu, Y_n valoarea efectivă a armonicilor de rang n , ω pulsația fundamentalei, γ_n faza inițială a armonicilor de rang k .

Valoarea efectivă a unui semnal sinusoidal este:

$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt};$$

Folosind relația de mai sus pentru un semnal nesinusoidal, obținem următoarea relația a valorii efective:

$$Y_{ef} = \sqrt{Y_0^2 + Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots} = \sqrt{Y_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} Y_n^2};$$

Reziduu deformat este ceea ce rămâne după scăderea fundamentalei din semnalul nesinusoidal:

$$y_d(t) = y(t) - y_1(t) = Y_0 + \sum_{n=2}^{\infty} Y_n;$$

Valoarea efectivă a reziduuului deformat este:

$$Y_{ef} = \sqrt{Y_0^2 + \sum_{n=2}^{\infty} Y_n^2} = \sqrt{Y_{ef}^2 - Y_1^2};$$

Coefficientul total de distorsiune (THD) se definește astfel:

$$THD = \frac{\sqrt{Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots}}{Y_1} \cdot 100;$$

Coefficientul de distorsiune THD, este mai mic decât 1 dar mai mare ca 0. Pentru THD mai mic decât 0.005% în practică se consideră că unda este sinusoidală. THD-ul se definește pentru tensiune și curent, iar valorile acceptate în practică sunt menționate în standardele de calitate.

Se poate calcula și valoarea fiecărei armonici în funcție de fundamentală, de exemplu, pentru rangul i avem relația:

$$f_i = \frac{Y_i}{Y_1} \cdot 100;$$

Puterea în regim nesinusoidal se analizează descompunând tensiunea și curentul tot în serie Fourier.

$$u(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (U_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + \alpha_n)) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} u_n;$$

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (I_n \sqrt{2} \sin(n\omega t + \beta_n)) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} i_n;$$

unde: α_n este faza inițială a armonicilor de tensiune de rang n ; β_n – faza inițială a armonicilor de curent de rang n ;

Înmulțind cele două relații de mai sus obținem puterea instantanee:

$$p(t) = u \cdot i = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} u_n i_n + U_0 \sum_{n=1}^{\infty} i_n + I_0 \sum_{n=1}^{\infty} u_n + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} u_k i_n;$$

Puterea activă:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \cos \varphi_n; \quad (W)$$

unde: $\varphi_n = \alpha_n - \beta_n$

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

φ_n – defazajul dintre armonicile de tensiune și de curent de rang n ;

Puterea reactivă:

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} U_n I_n \sin \varphi_n; \text{ (VAR)}$$

Puterea aparentă:

$$S = U_{ef} I_{ef} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}; \text{ (VA)}$$

Puterea deformantă:

$$D = \sqrt{S_0^2 - (P^2 + Q^2)}; \text{ (vad)}$$

Factorul de putere:

$$k = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{S_0^2 + P^2 + D^2}} \leq 1;$$

Factorul de putere este un indicator al conținutului de armonici din formele de undă a tensiunii și curentului, deoarece creșterea puterii deformate determină scăderea acestuia.

O comparație între acesta și defazajul dintre tensiune și curent ne poate da o primă indicație a abaterilor de la formele de undă ideale.

După cum se observă creșterea puterii deformate determină scăderea factorului de putere final. Știind că relațiile matematice pentru impedanțele bobinelor și condensatoarelor sunt:

$$Z_n = k\omega L; \text{ și } Z_n = 1/k\omega C$$

se observă că pentru fiecare armonică valoarea acestora se modifică.

Din acest motiv compensarea factorului de putere se realizează doar pentru frecvența fundamentalei. Pentru reducerea armonicilor de tensiune și curent se folosesc filtre de anumite frecvențe, circuite din bobine și condensatoare legate în serie și paralel.

3. MONITORIZAREA PARAMETRILOR ENERGIEI ELECTRICE

În studiul prezentat s-a realizat analiza armonică în instalațiile de iluminat din orașele *A* (unde sunt folosite LED-uri ca surse de lumină) și orașul *B* (unde încă sunt utilizate surse clasice de lumină).

În orașul *A*, în colaborare cu inginerii de la compania electrică E-ON Moldova, s-a instalat într-un tablou electric un analizor de putere de la Chauvin Arnoux, C.A 8334.

Monitorizarea parametrilor energiei electrice din instalația de iluminat s-a făcut pe o perioadă de douăsprezece ore (20.00-08.00).



Fig. 1. Măsurarea calității energiei pe circuite de iluminat.



Fig. 2. Analizorul de putere C.A 8334.

Parametri și indicatorii analizați au fost: valoarea efectivă a tensiunii, *THD* (V), valoarea efectivă a curentului pe cele trei faze, *THD* (I), puterea activă, puterea reactivă și aparentă precum și factorul de putere. De asemenea într-o măsurătoare ulterioară s-au preluat valorile armonicilor de curent și tensiune precum și formele de undă ale tensiunii și curentului pe fiecare fază.

Schemele de conexiuni folosite la instalarea aparatului sunt cele din figura următoare:

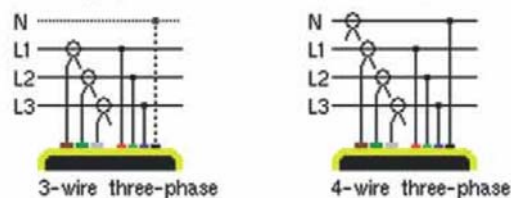


Fig. 3. Schema conexiuni a aparatului la rețea.

3.1. Rezultatele măsurătorilor la iluminatul rutier cu LED

Cantitativ tensiunile măsurate (fig. 4) sunt relativ simetrice și se află în domeniul (cantitativ) acceptat de autoritatea de reglementare Autoritatea Națională de Reglementare în Domeniul Energiei - ANRE

CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE LA ILUMINATUL STRADAL

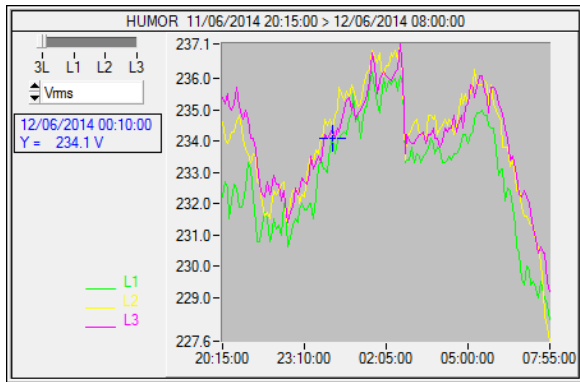


Fig. 4. Tensiunile pe cele trei faze.

Armonicile de tensiune pe cele trei faze (fig. 5) se încadrează în domeniul $1,6 \div 2,4\%$. Ulterior dorim să evaluăm și ponderea fiecărei armonici în parte la perturbația calitativă introdusă în circuitul de distribuție a energiei electrice de sursele cu LED în iluminatul rutier.

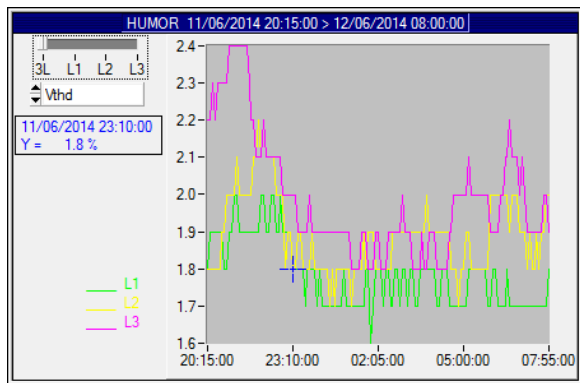


Fig. 5. THD (V) pe cele trei faze.

Cantitativ curenții trifazați măsurați (fig. 6) sunt asimetrici, după încărcarea fiecărei faze a circuitului respectiv. Se recomandă remedierea prin echilibrarea încărcării pe cele trei faze.

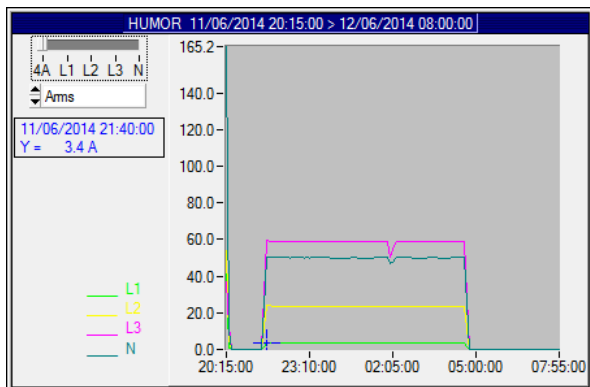


Fig. 6. Curenții pe cele trei faze.

Factorul total de distorsiune THD (I), pe cele trei faze (fig. 7) se încadrează în domeniul $0 \div$

40,7%. Și în cazul curenților dorim să evaluăm și ponderea fiecărei armonici în parte la perturbația totală produsă.

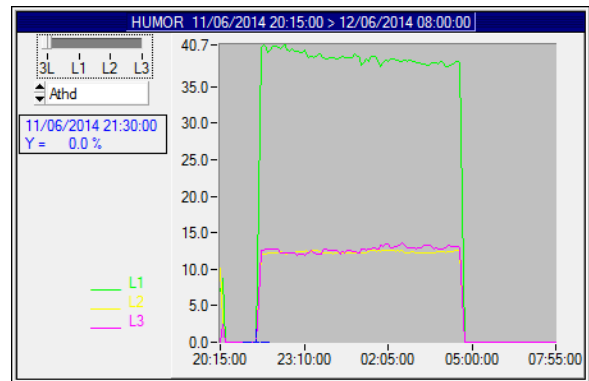


Fig. 7. THD (A) pe cele trei faze.

Așa cum rezultă din figura 8 influența cea mai importantă este pentru armonica de ordinul 7, cu valorile de: faza R 1,3%, faza S 1,1%, faza T cu 1,3%.

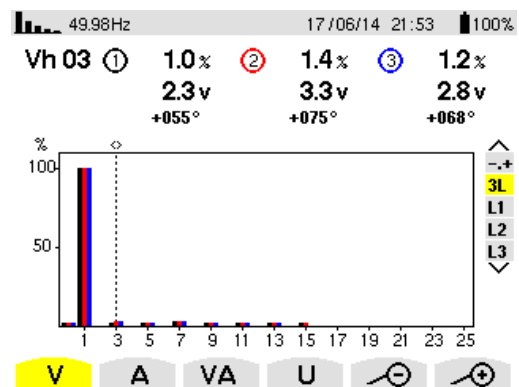


Fig. 8. Armonicile tensiune.

În cazul curenților (fig. 9) influența cea mai importantă este pentru armonica de ordinul 3, la faza R care este în instalația măsurată faza cea mai slab încărcată, cu valorile de: faza R 30%, faza S 9% faza T cu 8%.

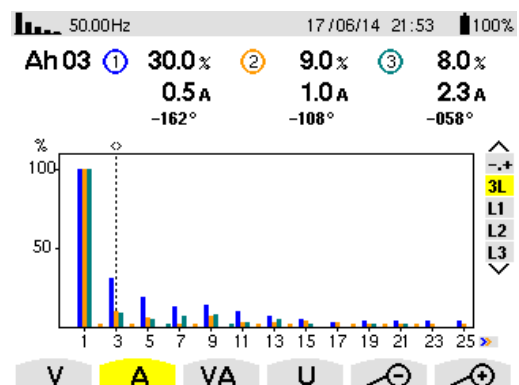


Fig. 9. Armonicile de curent..

În figurile 10, 11 și 12 sunt prezentate formele de unda de tensiune și curent pe cele trei faze ale circuitului trifazat măsurat pentru iluminatul rutier cu LED.

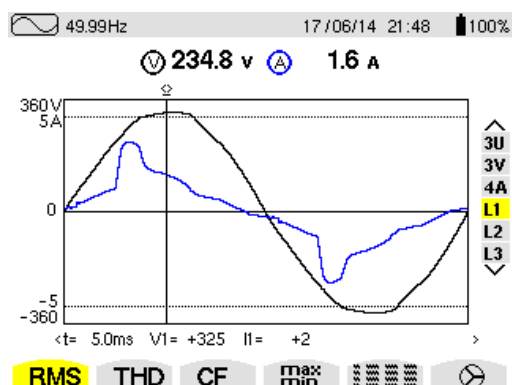


Fig. 10. Formele de unda ale curentului și tensiunii pe faza R.

În figura 10 se observă o încărcare de 1,6 A și cea mai puternică deformare a curentului.

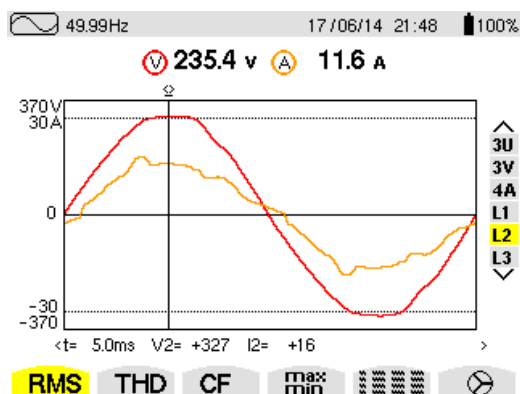


Fig. 11. Formele de unda la curent și tensiune pe faza S.

Figura 11 prezintă forma de undă de tensiune și curent, încărcarea acestuia este de 11,6 A.

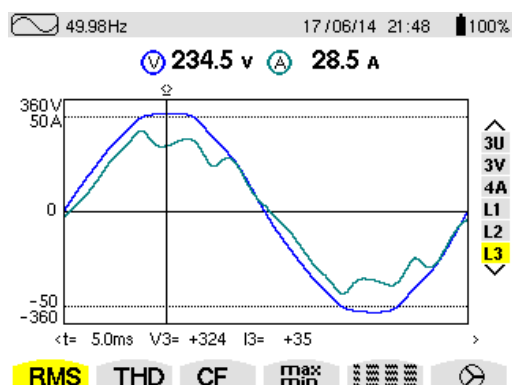


Fig. 12. Formele de unda la curent și tensiune pe faza T.

Ansamblul perturbațiilor de curent sunt prezentate în figura 13 și pune în evidență abateri diferite de la forma sinusoidală a curentilor trifazați.

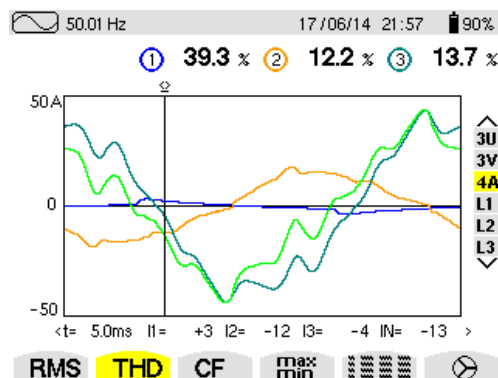


Fig. 13. Valorile THD(I) pentru cei trei cureni.

Din analiza ordinului ANRE-28 din 2007 *Standard de performanță pentru serviciul de distribuție a energiei electrice*, găsim în capitolul VI, normele privind calitatea tehnică a energiei electrice, respectiv calitatea curbei de tensiune. Conform Art.19. Tabel nr.1, variațiile admise ale tensiunii în rețelele de JT sunt $\pm 5\%$ față de tensiunea nominală. În urma măsurătorilor menționate mai sus se observă din figura 4 faptul că tensiunea în instalațiile de iluminat din orasul A se încadrează în valorile normate. Art.22 din același capitol, prezintă valoarea maximă a factorului de distorsiune, *THD*-ul tensiunii, precum și valorile procentuale maxime ale armonicilor de tensiune. Limita maximă a *THD*-ului (V) este de 8%. Conform graficului *THD* (V) (figura 5), valoarea maximă a acestuia este de 2,4% pe faza T, ceea ce îl încadrează în normele STAS-ului invocat.

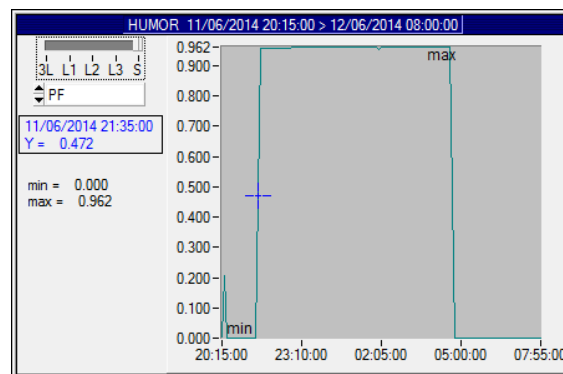


Fig. 14. Factorul de putere mediu.

Valoarea maximă, admisă în Ordinul ANRE 28-2007, a procentelor din fundamentală a armonicilor de tensiune de rang 3, 5, 7 și 9 sunt de 5%, 6%, 5% și respectiv 1,5%. Comparând aceste valori cu cele înregistrate și prezentate în figura 8, concluzionăm o formă de undă corespunzătoare a tensiunii, din punct de vedere al prezenței armonicilor de rang 3, 5, 7 și 9 (cea mai proeminentă armonică este cea de rang 7, maxim 1,3%)

Factorul de distorsiune al formei de undă a curentului este mult mai ridicat decât cel al tensiunii (maxim 30% pe faza R).

Factorul de putere mediu (fig. 16) la sursele cu LED are o valoare ridicată de aproximativ 0,96, o valoare peste cea neutrală de 0,92.

3.2. Rezultatele măsurătorilor la iluminatul rutier cu surse cu vapori de sodiu

În orasul B, s-au realizat aceleași tipuri de măsuratori ca și în localitatea A. Datele au fost centralizate în tabele, iar variația acestora în timp este ilustrată în graficele următoare:

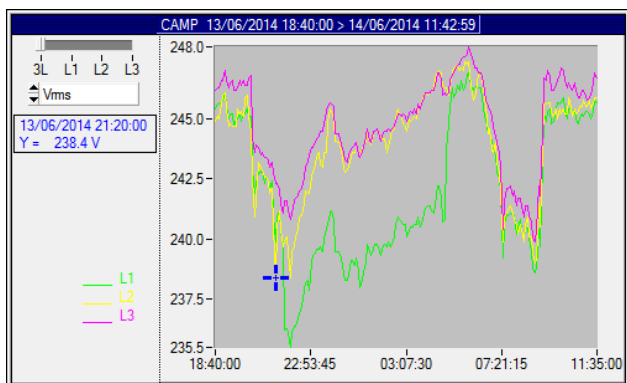


Fig. 15. Tensiunea pe cele faze.

Cantitativ tensiunile măsurate (fig. 18) sunt asimetrice dar se află în domeniul (cantitativ) acceptat de autoritatea de reglementare ANRE.

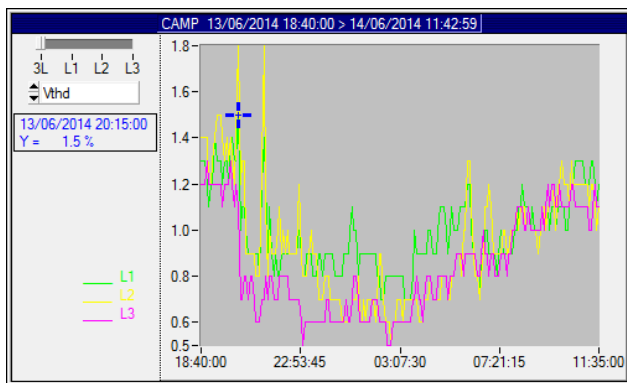


Fig. 16. THD (V) pentru cele trei faze.

Factorul total de distorsiune THD (V), pe cele trei faze (fig. 19) se încadrează în domeniul 0,5 ÷ 1,8%. Și în acest caz vom evalua și ponderea fiecărei armonici în parte la perturbația calitativă introduse în circuitul de distribuție al energiei electrice de sursele cu sodiu în iluminatul rutier, mai precis a balastului.

Cantitativ curenții trifazați măsurați (fig. 20) sunt asimetrice, după încărcarea fiecărei faze a circuitului respectiv. Se recomandă remedierea prin echilibrarea încărcării pe cele trei faze.

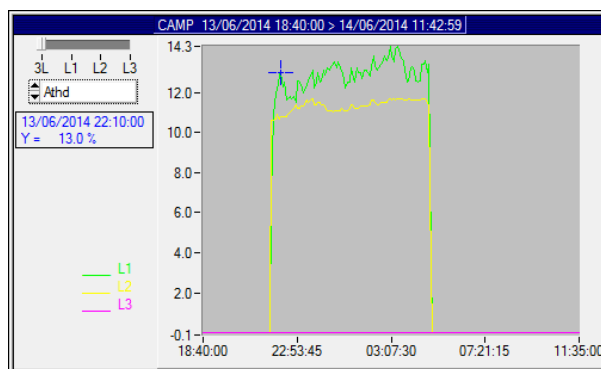


Fig. 17. THD (I) pentru cele trei faze.

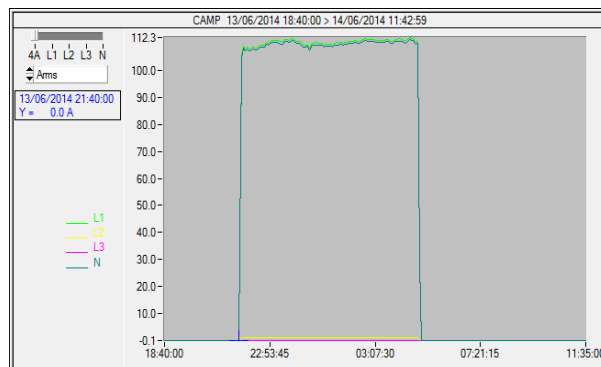


Fig. 18. Curenții pe cele trei faze.

Se observă și în acest caz (fig. 18) o puternică nesimetrie a fazelor. Se recomandă remedierea prin echilibrarea încărcării pe cele trei faze.

Factorul de putere de această dată (fig. 19) este mult inferior surselor cu LED.

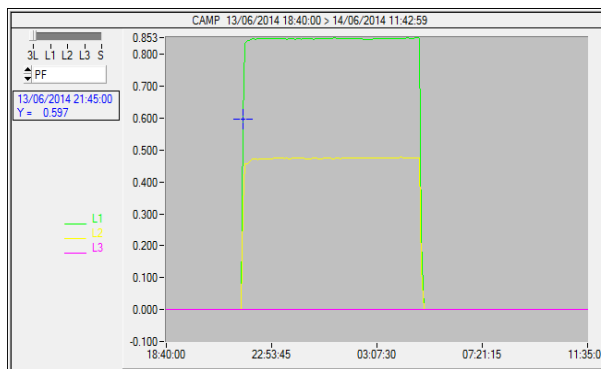


Fig. 19. Factorul de putere.

Comparând valorile tensiunii, minime și maxime, din figura 15, cu cele menționate în Ordinul ANRE-28-2007, afirmăm că și în orașul B nivelul de tensiune și variațiile acesteia se încadrează în normele prescise în Art.19, tabel nr.1. Din valorile monitorizate ale THD-ului (figura 16), cea mai mare valoare de 1,8%, o regăsim pe faza S, valoare ce se găsește sub limita de 8% menționată în Art.22. din același standard.

Factorul de putere mediu, calculat pe baza datelor prezentate în graficul din figura 19, se situează în jurul valorii de 0,65, ceea ce nu este acceptat de norme.



Fig. 20. Măsurări în cazul iluminatului cu surse cu vapori de sodiu.

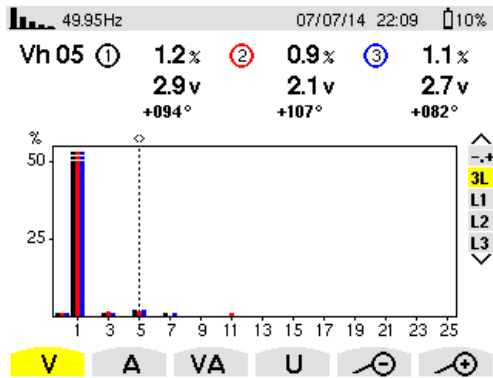


Fig. 21. Spectrul tensiunii.

În figura 21 este prezentat spectrul unei de tensiune așa cum a fost găsit în cazul instalațiilor ce folosesc surse clasice. Cea mai proeminentă armonică este cea de rang 5, pe faza R 1,2%, faza S 0,9% iar pe T 1,1%. Toate valorile sunt mult sub limita maximă de 8 % prevăzută de ordinul ANRE 28-2007.

În figura 22 se observă că cea mai importantă armonică este cea de rang 3 care are pe faza R 0% (fază liberă), faza S 9,4% iar pe T 10,1%.

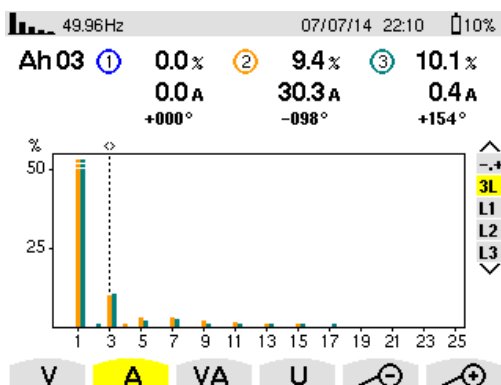


Fig. 22. Spectrele curenților pe cele trei faze.

În figura 23 observăm ca pe faza R curentul este 0, fază liberă.

Se poate observa în figura 24 un defazaj puternic între tensiune și curent precum și faptul că unda curentului este mult deformată decât cea a tensiunii. THD (V și I) de 1,2% respectiv 10,4% se încadrează în normele menționate.

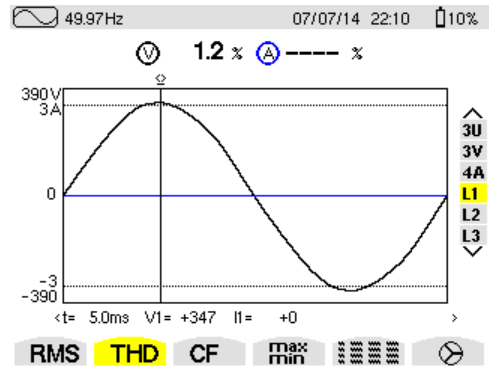


Fig. 23. Curentul și tensiunea pe faza R.

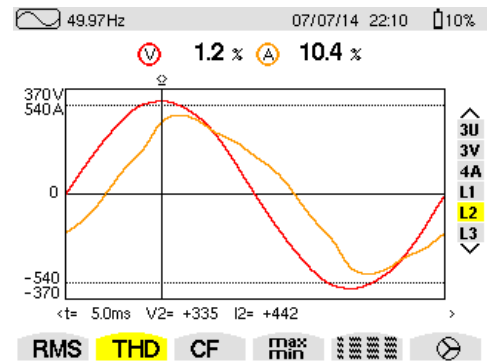


Fig. 24. Tensiunea și curentul pe faza S.

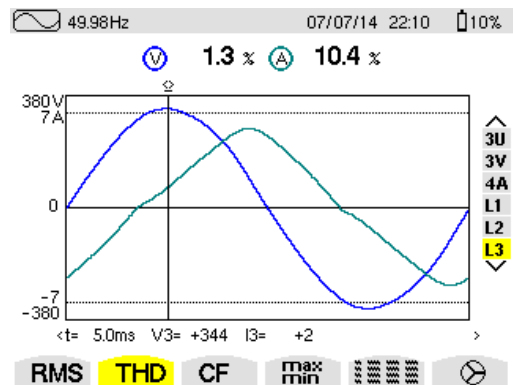


Fig. 25. Tensiunea și curentul pe faza T.

Din figurile 18, 24 și 25 observăm ca dacă avem o încărcare egală a fazelor S și T, distorsiunile sunt de asemenea identice.

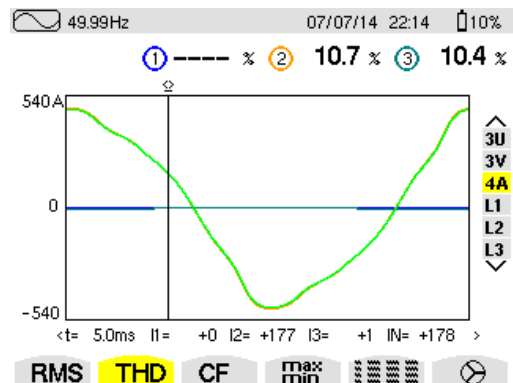


Fig. 26. Valorile THD (I) pentru cei trei curenți.

3.3. Măsurători de laborator

Pentru a înțelege armonicile introduse de lămpile folosite în iluminatul stradal precum și rolul balastul folosit pentru aprinderea acestora s-au studiat în laborator formele de tensiune și curent la două tipuri de lămpi: *HPL 125W* și *HWL 250W* (lămpi cu vapori metalici de înaltă presiune).



Fig. 27. Montaj lampa cu vapori metalici de înaltă presiune.

În analiza parametrilor electrici din circuit s-a folosit același analizor C.A 8334. Timpul de monitorizare a fost de 15 minute iar datele obținute sunt prezentate în figurile următoare:

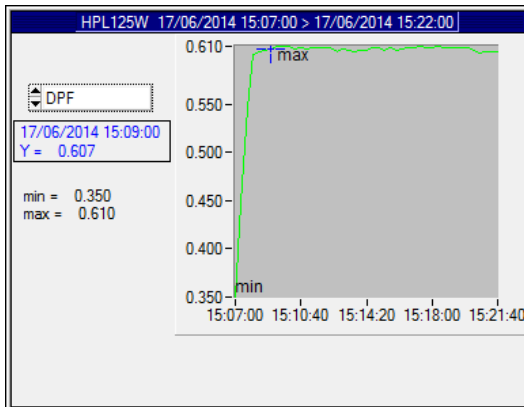


Fig. 28. Factorul de putere (HPL 125 W).

În figura 28 se observă un factor de putere scăzut 0,61, datorită prezenței balastului electromagnetic.

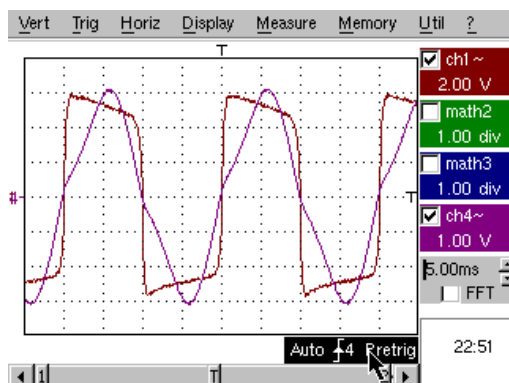


Fig. 29. Unda de tensiune și curent (HPL 125 W).

Spectrul tensiunii și *THD* (V) sunt reprezentate în figura 30. Se observă ca cea mai proeminentă armonică de tensiune este cea de rang 5 cu un procent de 3%. Atât *THD* (V) de 4,1%, cât și componenta de armonici se încadrează în specificațiile Ordinului ANRE.

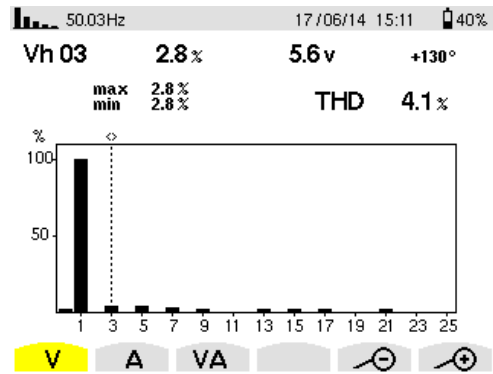


Fig. 30. Spectrul armonicilor de tensiune (HPL 125 W).

În figura 31 se prezintă armonicile de curent, cea mai proeminentă este cea de rang 3 cu o valoare de 13,2%.

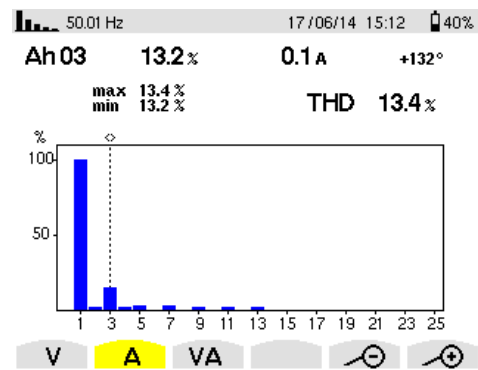


Fig. 31. Spectrul armonicilor de curent (HPL 125 W).

Identic, pentru lampa *HWL 250 W*, s-a investigat factorul de putere și armonicile introduse. În figura 32 este reprezentată valoarea *PF*, de 0,87.

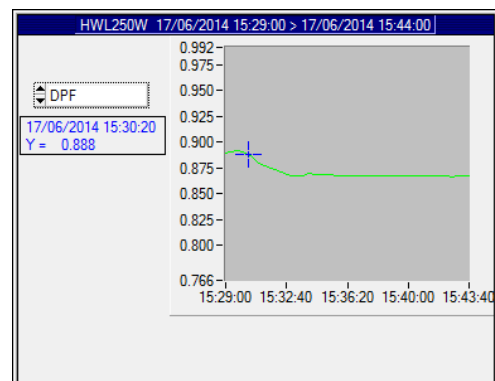


Fig. 32. Factor de putere (HWL 250W).

Formele de tensiune și curent pentru lampa *HWL 250* sunt reprezentate în figura de mai jos.

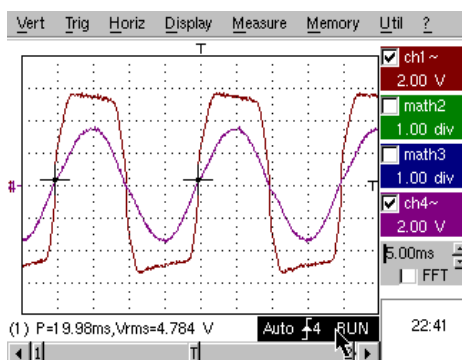


Fig. 33. Forma de unda a tensiunii și a curentului (HVL 250W).

În figura 34 lampa se ilustrează THD (3,3 %) care se încadrează în limita de maxim 8% impusă. Cea mai proeminentă armonică este cea de rang 5, de 3%.

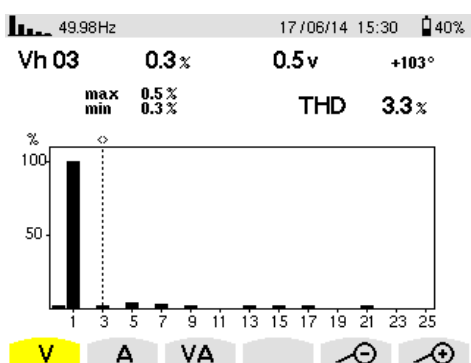


Fig. 34. Spectrul armonicilor de tensiune (HVL 250W).

Spectrul armonicilor de tensiune este mult mai bogat, în special se observă valoarea armoniciei de rang 3, care este de 8,9 %. Valoarea THD (I) este de 9,6 %.

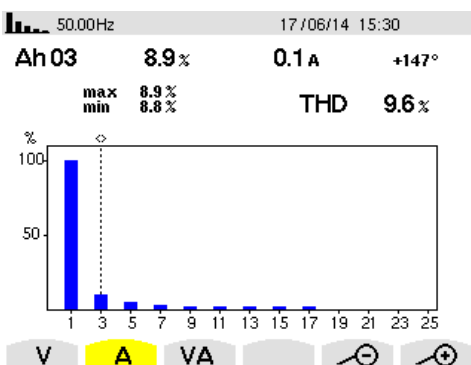


Fig. 35. Spectrul armonicilor de curent (HVL 250W).

Măsurătorile din laborator pentru cele două lămpi confirmă rezultatele găsite în cazul analizei instalației din orașul B (iluminat cu surse cu vapori de sodiu). Se observă analizând factorul de putere mediu este redus (0,65 în cazul lămpii HLP 125 W, fig. 28) datorită prezenței balastului electromagnetic.

3.4. Măsurători de iluminări

În tabelul de mai jos sunt prezentate comparativ iluminările medii găsite în patru orașe care folosesc surse de lumină diferite.

Tabelul 1. Iluminări medii

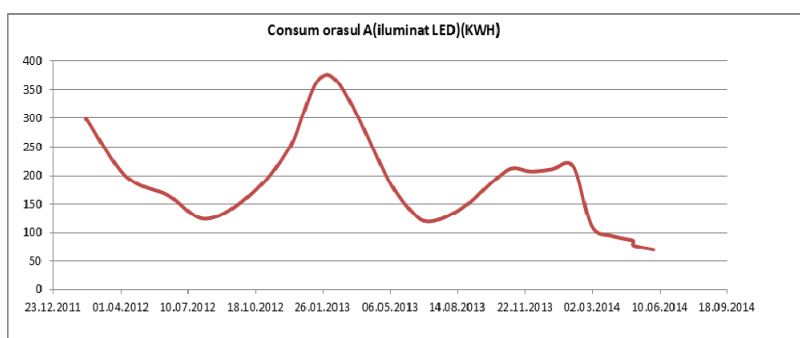
Nr.	Orașul	Iluminarea medie	Surse de lumină folosite	Tip stradă	Iluminare STAS SR 13433
1	A	15,62 [lx]	LED	M4	10 (lx)
2	B	14 [lx]	HPSL	M4	10 (lx)
3	C	23,6 [lx]	HPSL	M4	10 (lx)
4	D	2,1 [lx]	HPSL	M4	10 (lx)

S-a ajuns la aceste rezultate, prezentate în tabelul 1, după măsurarea iluminării la nivelul străzii pentru aproximativ 700 de stâlpi (24 km), în aproximativ 2100 de puncte.

După cum se observă iluminarea medie este aproximativ egală în primele trei orașe. Diferența de 8 [lx], dintre iluminarea medie a orașul A și orașul C (orașe ce au fost analizate și din punctul de vedere al calității energiei electrice) se explică prin menționarea că în C măsurătorile au fost efectuate într-o perioadă de iarnă, factorul de reflexie fiind deci puțin mai ridicat.

În orașul A (iluminat cu LED-uri) analiza calității s-a făcut într-un tablou electric ce alimenta 92 de corpuri echipate cu surse LED (72 de 150 W, 14 de 51 W și 6 de 76 W) cu o putere electrică totală de aproximativ 12 kW. Lungimea totală a străzilor acoperite de aceste corpuri este de 3,68km.

În orașul B (iluminat cu surse clasice) tabloul electric monitorizat alimenta 52 de corpuri echipate cu surse de lumină cu vapori de sodiu cu puterea de 250 W (în total o încărcare de 13 kW). Considerând distanța dintre stâlpi de 40 m putem spune ca lungimea totală a străzilor acoperite este de 2,08 km.



Graficul 1. Consumul de energie activă (zilnică) în orașul A (iluminat cu LED de la mijlocul anului 2013).

CALITATEA ENERGIEI ELECTRICE LA ILUMINATUL STRADAL

Având în vedere ca străzile au o iluminare aproximativ identică și o geometrie asemănătoare putem defini un raport de eficiență $EF = (\text{putere consumată})/(\text{lungime stradă})$ astfel:

– pentru cazul *A*:

$$EF = \frac{12000[\text{W}]}{3680[\text{m}]} = 3,26 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

– pentru cazul *B*:

$$EF = \frac{13000[\text{W}]}{2000[\text{m}]} = 6,25 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

Analizând rapoartele EF de mai sus putem spune ca în cazul *A* se obține o economie de minim 50%, pentru aceeași iluminare, față de cazul *B*. Aceasta presupune o înjumătățire a costurilor la energia electrică.

Datele reale înregistrate de contorul din tabloul analizat în orașul *A* au fost ilustrate în graficul 1 (final) care cuprinde consumul din ultimii 2 ani. Se pot identifica perioadele de iarnă, cu un consum mult mai ridicat.

Până la mijlocul anului 2013 iluminatul public în orașul *A* a fost făcut cu surse clasice. Se pot observa modificările în ceea ce privește consumul după înlocuirea surselor clasice cu LED-uri. Dacă se analizează perioada de iarnă 18.10.2012—6.04.2013 și 1.10.2013—2.03.2014 se pot observa cele menționate mai sus, o economie de aproximativ 50% la consumul de energie (dispare vârful din jurul datei de 26.01.2013).

4. CONCLUZII

Pentru a vizualiza mai ușor diferențele, parametrii ce descriu calitatea curbelor de tensiune și curent din cele două instalații de iluminat monitorizate, prezentăm comparativ cei mai importanți parametri în tabelul 2.

Analizând rezultatele măsurătorilor centralizate în tabelul de mai sus putem afirma următoarele concluzii:

a) valoarea mai ridicată a $THD(V)$ și $THD(I)$ în cazul instalațiilor de iluminat cu LED-uri. Aceasta înseamnă că forma de undă a tensiunii și curentului este mai distorsionată în primul caz (orașul *A*).

b) aportul armonicilor în unda de curent în cazul surselor de iluminat cu LED-uri crește cu scăderea puterii pe faza, respectiv cu diminuarea fluxului luminos.

c) se observă un factor de putere mult mai mic, 0,65, în orașul *B* față de 0,95 în primul caz. În urma analizei atât a circuitului real cât și a simulărilor realizate în laborator, s-a constatat că acest lucru se datorează circuitelor de balast electromagnetic clasic folosit în aprinderea lămpilor.

Tabelul 2. Tabel rezultate comparative

Nr	Parametru	Orașul A	Orașul C	STAS
1	V_{rms} (min)	227 [V]	235 [V]	211,6[V]
2	V_{rms} (max)	237 [V]	248 [V]	248,4[V]
3	THD (V)	2,4%	1,8%	8%
4	THD(I)	40,7%	14,3%	-
	Factorul de putere	0,94	0,65	0,92
5	Armonica(V) rang. 3	1,4%	0,6%	5%
6	Armonica(V) rang. 5	0,5%	1,1%	6%
7	Armonica(V) rang. 7	1,3%	0,4%	5%
8	Armonica(V) rang. 9	1%	0%	1,5%
9	Armonica(I) rang. 3	30%	10%	-
10	Armonica(I) rang. 5	17,3%	3%	-
11	Armonica(I) rang. 7	11,6%	4,1%	-
12	Armonica(I) rang. 9	13%	3%	-

d) armonicile de tensiune și curent se încadrează sub limitele maxime admise de ordinul ANRE 28-2007.

d) Privind rezultatele în ansamblu, remarcăm îmbucurător că sistemele de iluminat analizate se încadrează în standardul de calitate al energiei amintit, cu excepția factorului de putere de 0,65 în cazul iluminatului cu surse cu vapori de sodiu (figura 19) și a încărcării nesimetrice a fazelor în ambele cazuri (figura 6 și 18).

BIBLIOGRAFIE

- [1] Dumitru, L., Dumitriu C., *Bazele electroenergeticii*, Editura Tehnică București 2004
- [2] Monteiro, R., V., A., Carvalho, B., C., Barroso de Vasconcelos, A., Noqueira de Lima F., *LED Tubular Lamps and Tubular Fluorescent: Power Quality*, Brasil, 16th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Proceedings, from May 25 to May 28, 2014, at the University Politehnica of Bucharest, <http://www.ichqp2014.org/index.html>
- [3] Brenna, M., Dolara, A., Foiadelli, F., Leva, S., Longo, M., Zaninelli D., *Power Quality Analysis of Led lighting system for Railway Applications*. Politecnico di Milano Department of Energy, 16th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Proceedings, from May 25 to May 28, 2014, at the University Politehnica of Bucharest, <http://www.ichqp2014.org/index.html>
- [4] Bianchi, C., Centea O., *Proiectarea instalațiilor electrice* Editura Tehnică București 1981.
- [5] Ioachim, D., *Proiectarea instalațiilor electrice industriale Vol I și II*, Rotaprint IPI Iași, 1980.
- [6] Pentiu, R., Popa, C., Dascălu, A., Atănăsoae, P., *The influence of LED Street lighting upon network quality in electrical networks*, 2014 International Conference on Electrical and Power Engineering, EPE 2014, 16-18

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

- October 2014, ISBN: 978-1-4799-5848-1, Iași, România, pe dispozitiv USB. <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=34882295900>
- [7] Pentiuc, R., Lucache, D., Valentin, V., Pavel, S., *Street lighting power quality*, 2014 International Conference on Electrical and Power Engineering, EPE 2014, 16-18 October 2014, ISBN: 978-1-4799-5848-1, Iași, România, pe dispozitiv USB. <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=34882295900>
- [8] Tipa, I., Pentiuc, R., *Designing an Electrical Equipment of Architectural Lighting*, The 4-th international conference on motor modern power systems MPS 2011, Cluj Napoca, Romania, 17-20 mai 2011, Acta Electrotehnica, ISSN 1841-3323, pag 459-464, Indexed in Referativnyi Zhurnal-All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (VINITI); DOAJ-Directory of Open Access Journals, Lund University Libraries, Sweden; <http://www.doaj.org>. Cod CNCIS: 576, clasificat B+, http://ie.utcluj.ro/acta_electrotehnica.php;
- [9] indexat BDI, <http://catalog.viniti.ru/si.asp>
- [10] Lauric, S., Pentiuc, R., Ivanov, N., *Designing a Road Lighting System*, The 4-th international conference on motor modern power systems MPS 2011, Cluj Napoca, Romania, 17-20 mai 2011, Acta Electrotehnica, ISSN 1841-3323, pag 237-242, Indexed in Referativnyi Zhurnal-All-Russian Institute of Scientific and Technical Information (VINITI), indexat BDI, <http://catalog.viniti.ru/si.asp>; DOAJ-Directory of Open Access Journals, Lund University Libraries, Sweden; <http://www.doaj.org>. Cod CNCIS: 576, Clasificare B+, http://ie.utcluj.ro/acta_electrotehnica.php;
- [11] indexat BDI, <http://catalog.viniti.ru/si.asp>

Despre autori

Prof. dr. ing. **Radu Dumitru PENTIUC**
Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava

A absolvit Facultatea de Electrotehnică din cadrul Institutului Politehnic “Gh. Asachi” Iași, specialitatea Electrotehnică, 1982, doctor in Electrotehologiei 1997, Energetic șef și șef de Atelier PRAM la IMU Suceava, 1982 - 1992, activitatea universitară din 1988 cadru didactic asociat. Din 2005-2016 director Departament de Electrotehnică la Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava. Autor a 8 cărți cursuri și îndrumare practice de proiectare și laborator și peste 100 de articole, 9 brevete de invenție. Președinte Sucursala AGIR Suceava, membrul al Consiliul Director AGIR, Membru de onoare al Consiliului Director CNR-CME. Domenii de competență: proiectare instalații electrice industriale, tracțiune electrică, iluminat electric, audit energetic și managementul energiei. E-mail: radup@eed.usv.ro

Conf. dr. ing. **Cezar Dumitru POPA**
Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava

A absolvit Facultatea de Electrotehnică din cadrul Institutului Politehnic “Gh. Asachi” Iași, specialitatea Electrotehnică, 1986, doctor in Electrotehologiei 1999, Inginer proiectant la IMU Suceava, 1986 - 1994, activitatea universitară din 1994. Din 2001-2015 Șef de catedră Electrotehnică la Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava. Domenii de competență: modelarea și analiza sistemelor termice, inteligența artificială, proiectare instalații electrice, audit energetic, aparate electrice, automatizarea și controlul proceselor. E-mail: cezar@eed.usv.ro