

Badania innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową LMP

Artur ROJEK¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono program badań pn. „Innowacyjny system zarządzania infrastrukturą oświetleniową (LMP) na sieci zarządzanej przez PLK S.A.". Przedstawiono także wyniki badań laboratoryjnych, terenowych oraz eksploatacyjnych. Badania potwierdziły, że wszystkie wymienione elementy systemu LMP spełniają wymagania właściwych norm i dokumentów normatywnych PKP PLK S.A. i mogą być bezpiecznie stosowane na infrastrukturze kolejowej.

Słowa kluczowe: oświetlenie terenów kolejowych, Inteligentne systemy oświetlenia zewnętrznego, zużycie energii na cele oświetlenia

1. Wstęp

Innowacyjny system zarządzania infrastrukturą oświetlenia terenów kolejowych LMP został opracowany w ramach prac konsorcjum, które zostało utworzone przez następujące firmy: Instytut Kolejnictwa (lider konsorcjum) oraz partnerzy: AREX sp. z o.o., SILED sp. z o.o. i ABZ sp. z o.o. Firmy AREX i SILED były odpowiedzialne za opracowanie i wybudowanie urządzeń składowych systemu LMP. Firma ABZ przeprowadzała inwentaryzację i audyt energetyczny infrastruktury oświetleniowej PKP PLK. Instytut Kolejnictwa był odpowiedzialny za przeprowadzenie wszystkich niezbędnych badań oraz przygotowanie części dokumentów przewidzianych w procesie dopuszczenia urządzeń do eksploatacji na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP PLK (procedura SMS-PW-17).

Przed wprowadzeniem do eksploatacji, każde urządzenie lub system musi być zbadane pod względem bezpieczeństwa, funkcjonalności i poprawności działania. Z tego względu system LMP oraz jego elementy zostały poddane badaniom laboratoryjnym, terenowym i eksploatacyjnym. Badania te były jednym z kluczowych zadań projektu pn. „Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na sieci zarządzanej przez PLK S.A.", dofinansowanego przez NCBR (nr umowy POIR.04.01.01-00-0020/17) i PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (60/010/0012/18/Z/O).

Badaniom poddano cały system LPM zainstalowany na stacji Gdynia Orłowo i przystanku osobowym (p.o.) Ciepłowo oraz jego elementy:

- sterownik nadrzędny LMP-NEK,
- rozdzielnicę elektryczną LMP-RESO3F,
- oprawę oświetleniową Celebra SR,
- oprawę oświetleniową VL-G 1200 LED.

2. Program badań

Sprawdzenia i testy systemu LMP oraz jego elementów przeprowadzono na podstawie dwóch programów badań. Jeden z nich dotyczył opraw oświetleniowych, a drugi sterownika nadrzędnego LMP-NEK i rozdzielnic elektrycznej LMP-RESO3F. Programy te zawierały opisy badań laboratoryjnych i eksploatacyjnych (terenowych). Zgodnie z procedurą SMS-PW-17 „Dopuszczanie elementów podsystemów i technologii przeznaczonych do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.” programy badań zostały zatwierdzone przez PKP PLK S.A. W ramach badań laboratoryjnych zaplanowano sprawdzenia i badania oprawy Celebra SR w zakresie:

- konstrukcji,
- przewodów wewnętrznych,
- zabezpieczeń przed porażeniem elektrycznym,
- stopnia ochrony IP,
- rezystancji i wytrzymałości elektrycznej izolacji,
- odstępów izolacyjnych,
- trwałości,
- odporności na ciepło, ogień i prądy pełzające,
- rozsyłu światłości,

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki, e-mail: arojek@ikolej.pl.

- sprawności świetlnej,
- luminancji gabarytowej,
- pracy w skrajnych temperaturach (suche gorąco, wilgotne gorąco cykliczne).

W przypadku oprawy VL-G 1200 LED program badań zawierał sprawdzenia i badania w zakresie:

- konstrukcji,
- stopnia ochrony IP,
- rezystancji i wytrzymałości elektrycznej izolacji,
- stopnia ochrony IK,
- rozsyłu światłości,
- sprawności świetlnej,
- luminancji gabarytowej,
- pracy w skrajnych temperaturach (suche gorąco, wilgotne gorąco cykliczne),
- bezpieczeństwa fotobiologicznego.

Program badań terenowych i eksploatacyjnych obydwu typów opraw oświetleniowych zawierał sprawdzenia i badania obejmujące:

- sprawdzenie oznakowania,
- sprawdzenie poprawności montażu,
- sprawdzenie działania opraw,
- sprawdzenie możliwości regulacji strumienia światła w zakresie 10–100% mocy,
- pomiar natężenia oświetlenia,
- sprawdzenie stanu obudów,
- sprawdzenie szczelności,
- stan mocowania i elementów mocujących (korozja),
- kompletności świecenia diod w oprawach.

Zgodnie z programem badań, rozdzielnica elektryczna LMP-RESO3F, powinna być poddana sprawdzeniom, pomiarom i testom laboratoryjnym w zakresie obejmującym:

- oględziny i sprawdzenie kompletności urządzenia i cechowania,
- sprawdzenie wytrzymałości materiału i wytrzymałości mechanicznej obudowy rozdzielnicy,
- badania stopnia ochrony IP,
- sprawdzenia wytrzymałości dielektrycznej obudowy,
- sprawdzenia wytrzymałości dielektrycznej izolacji obwodów elektrycznych,
- sprawdzenia działania przy zmianach napięcia zasilania,
- badania klimatycznego (zimno, suche gorąco, wilgotne gorąco cykliczne),
- badania kompatybilności elektromagnetycznej, jak:
 - pomiar emisji zaburzeń promieniowanych,
 - pomiar emisji zaburzeń przewodzonych,
 - badanie odporności na udary elektryczne,
 - badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych,
 - badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne,
 - badanie odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej.

Badaniom laboratoryjnym powinien być poddany również sterownik nadrzędny LMP-NEK. W przypadku tego urządzenia program badań wskazuje konieczność przeprowadzenia badań w zakresie:

- oględzin i sprawdzenia kompletności urządzenia i cechowania,
- badania stopnia ochrony IP,
- wytrzymałości dielektrycznej izolacji,
- sprawdzenia działania przy zmianach napięcia zasilania,
- badania klimatycznego (suche gorąco, wilgotne gorąco cykliczne),
- badania kompatybilności elektromagnetycznej, jak:
 - pomiar emisji zaburzeń promieniowanych,
 - pomiar emisji zaburzeń przewodzonych,
 - badanie odporności na udary elektryczne,
 - badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych,
 - badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne,
 - badanie odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej,
 - badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia.

Sterownik nadrzędny LMP-NEK oraz rozdzielnica elektryczna LMP-RESO3F miały wspólny zakres badań terenowych i eksploatacyjnych. Badania te obejmowały:

- sprawdzenie oznakowania,
- sprawdzenie możliwości regulacji strumienia światła w zakresie 10–100% mocy,
- badania EMC,
- badania jakości energii elektrycznej i oddziaływania na system elektroenergetyczny,
- sprawdzenie rejestracji zużycia energii,
- sprawdzenie komunikacji dotyczącej:
 - poprawności komunikacji z serwerem centralnym w protokole MQTT,
 - komunikacji z systemami zdalnego nadzoru w LCS w protokole DIMENT-P5,
 - komunikacji diagnostycznej w protokole MODBUS-TCP,
 - zobrazowania stanu instalacji oświetleniowej na pulpicie operatorskim sterownika nadrzędnego,
 - sprawdzenie dokładności zegarów astronomicznych.

3. Wyniki badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne potwierdziły, że wszystkie wymienione elementy systemu LMP spełniają wymagania właściwych norm i dokumentów normatywnych PKP PLK S.A. Mogą one być bezpiecznie zainstalowane na infrastrukturze kolejowej celem przeprowadzenia badań w warunkach rzeczywistych, w tym badań funkcjonalnych systemu. Na rysunku 1 przedstawiono elementy systemu LMP w komorze klimatycznej, w której poddane były badaniom poprawności pracy w skrajnych temperaturach (suche gorąco, wilgotne gorąco cykliczne).

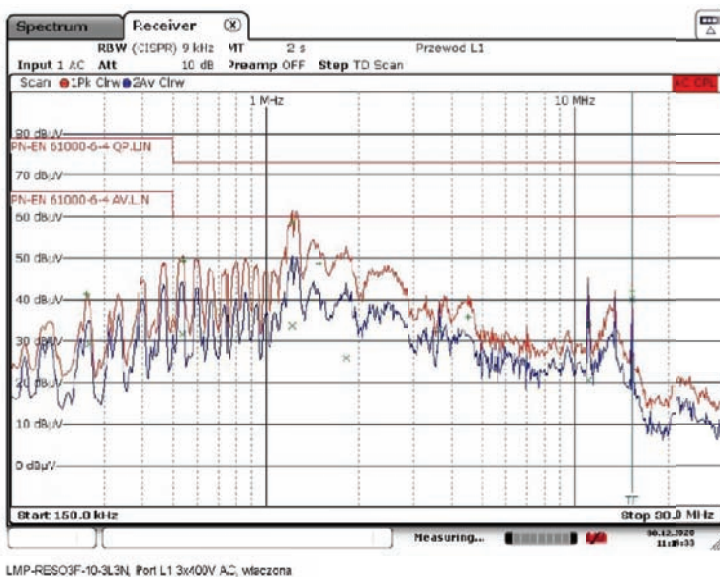
Badania EMC wykonano w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji Instytutu Kolejnictwa. Przykładowe

wyniki pomiarów pokazano na rysunku 2. Badania wytrzymałości dielektrycznej obudowy wykonano napięciem o częstotliwości 50 Hz oraz napięciem udarowym 1,2/50 μ s. W przypadku rozdzielnic elektrycznej LMP-RESO3F

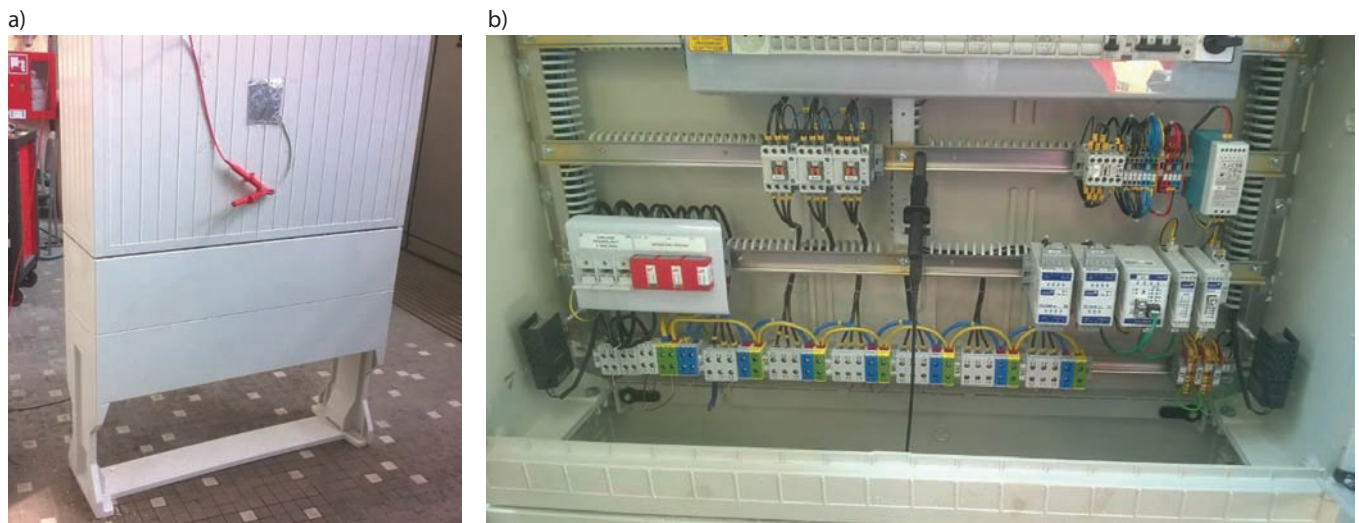
napięcia te miały wartości odpowiednio 9 i 15 kV. Na rysunku 3 pokazano sposób podłączenia elektrod podczas badań, a przykładowe przebiegi napięcia udarowego przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 1. Elementy systemu LMP podczas badań klimatycznych: a) rozdzielnica elektryczna LMP-RESO3F, b) sterownik nadrzędny LMP-NEK, c), d) oprawa oświetleniowa Celebra SR i VL-G 1200 LED [5]

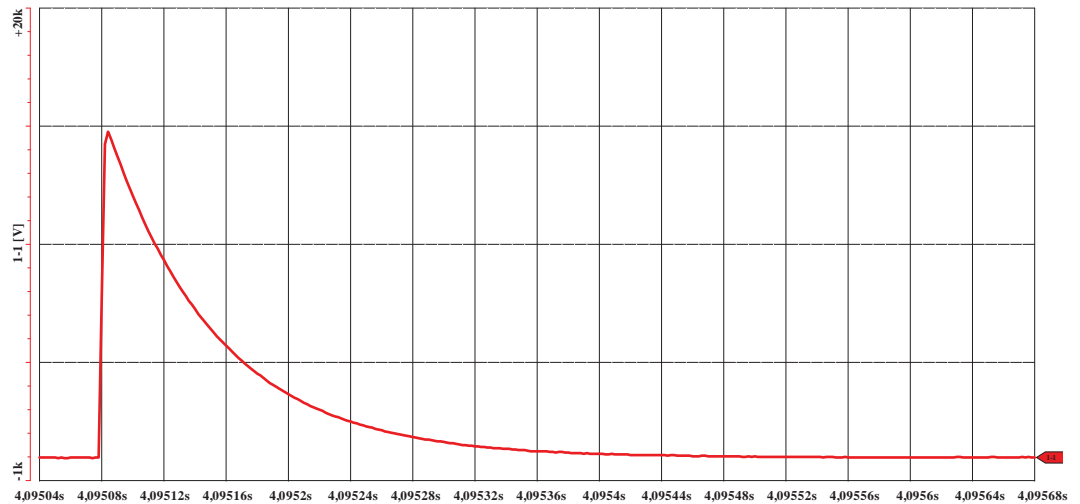


Rys. 2. Wyniki pomiaru emisji zaburzeń przewodzonych na jednym z portów rozdzielnic elektrycznej LMP-RESO3F [5]

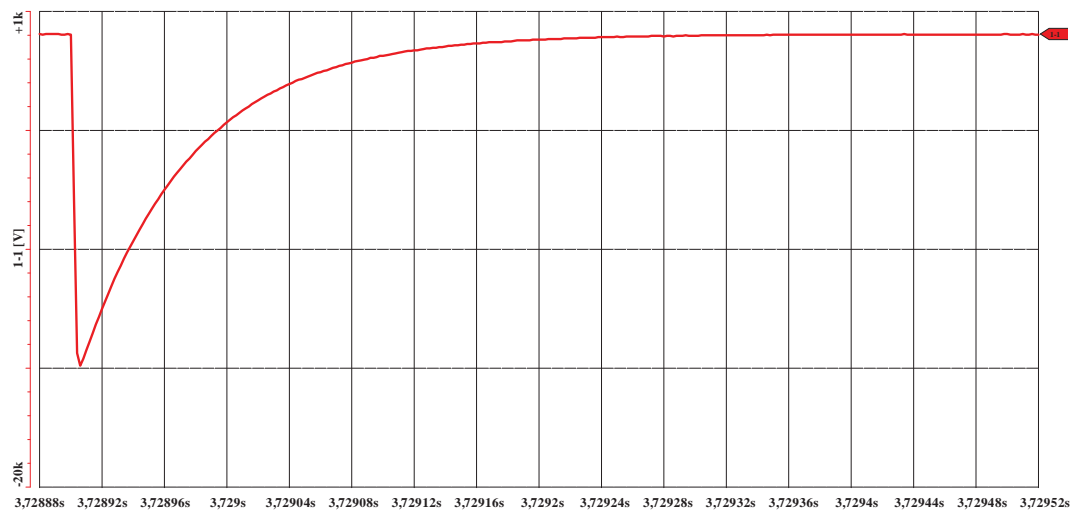


Rys. 3. Przykładowe miejsca przyłożenia napięć probierczych 50 Hz i udarowego: a) do obudowy, b) do obwodu PE zwartego z przewodami N, L1, L2 i L3 [5]

Rys. 4. Przebieg probierczego napięcia udarowego 1,2/50 μ s 15 kV o polaryzacji dodatniej [5]



Rys. 5. Przebieg probierczego napięcia udarowego 1,2/50 μ s 15 kV o polaryzacji ujemnej [5]



Wyniki badań wykazały, że w przypadku sterownika LMP-NEK konieczne były drobne zmiany konstrukcyjne, gdyż badania na odporność (na serie szybkich elektrycznych stanów przej-

ściowych) nie potwierdziły zapisów normy PN-EN 50121-5 [1]. Po wprowadzeniu poprawek i ponownym wykonaniu badań potwierdzono spełnienie wymagań normatywnych.

4. Badania terenowe i eksploatacyjne

Po zainstalowaniu i uruchomieniu systemu LMP (demonstratora) na jednym z peronów stacji Gdynia Orłowo oraz na p.o. Ciepłewo rozpoczęto badania terenowe realizując zakładany program badań. Jednym z pierwszych badań były pomiary natężenia oświetlenia. Przykład siatki pomiarowej natężenia oświetlenia pokazano na rysunku 6. Wyniki tych badań wykazały, że poziom natężenia oświetlenia na peronach, schodach i przejściu podziemnym (za wyjątkiem zadaszenia na p.o. Ciepłewo oraz kilku punktów na peronie stacji Gdynia Orłowo) spełnia wymagania zawarte w normie PN-EN 12464-2:2014 [2] zarówno w konfiguracji 100% oraz 67% mocy opraw oświetleniowych.



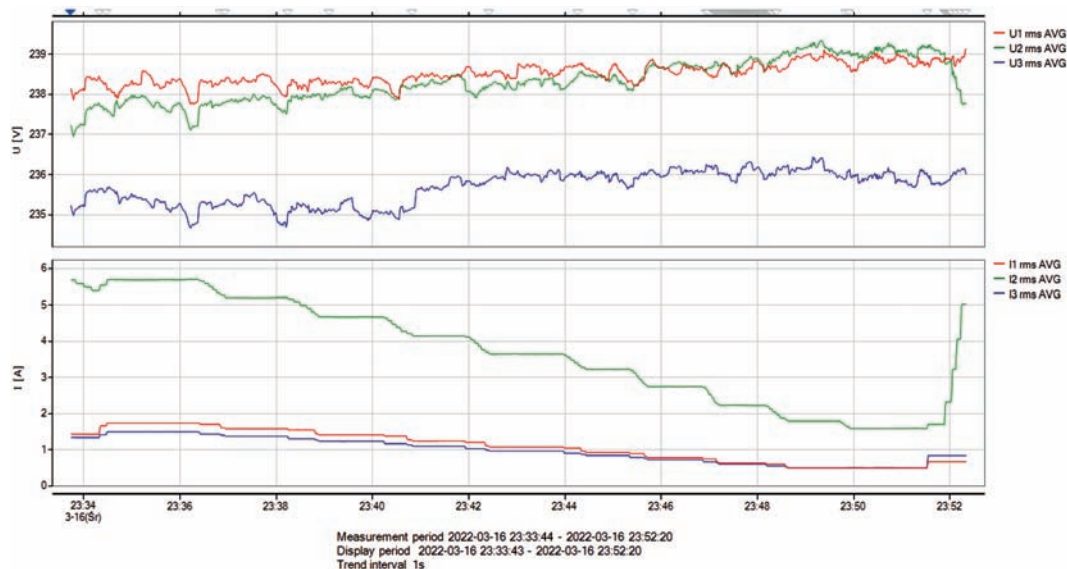
Rys. 6. Siatka pomiarowa natężenia oświetlenia wyznaczona na peronie na p.o. Ciepłewo [6]

Zbyt niski poziom natężenia oświetlenia w niektórych punktach pomiarowych spowodowany był nisko zawieszonym wyświetlaczem CSDIP na peronie st. Gdynia Orłowo, który rzucał cień, a na p.o. Ciepłewo zainstalowane zadaszenie między peronami a schodami zasłoniło oprawy umieszczone na peronach i spowodowało cień w kilku punktach pomiarowych. W przypadku p.o. Ciepłewo niezgodność usunięto przez zainstalowanie dodatkowych opraw (poza projektem).

Badania jakości energii elektrycznej i oddziaływania na system elektroenergetyczny były jednym z większych punktów badań. Pomiary wykonano analizatorem jakości energii elektrycznej Hioki PQ3189. Ze względu na różne obciążenie poszczególnych faz obwodu trójfazowego (oprawy oświetleniowe są odbiornikami 1-fazowymi) analizowany układ został opomiarowany jako układ niesymetryczny trójfazowy czteroprzewodowy. Podczas pomiarów za pomocą magistrali DALI i oprawami oświetleniowymi współpracującymi z magistralą redukowano moc opraw oświetleniowych w zakresie od 100% do 10% mocy znamionowej. Przykładowe wyniki pomiarów napięć, prądów, mocy i harmonicznych występujących przy różnych wartościach mocy opraw przedstawiono na rysunkach 7, 8 i 9. Celem pomiarów było wykazanie przydatności redukcji mocy opraw oświetleniowych w aspekcie przyszłej oszczędności opłat za energię elektryczną wykorzystywaną do oświetlenia oraz wpływu odbiorników (oprav oświetleniowych z redukcją mocy) na parametry jakościowe energii elektrycznej.

Analizując wyniki pomiarów zaobserwowano, że w jednej fazie na stacji Gdynia Orłowo oraz we wszystkich fazach na p.o. Ciepłewo moc bierna ma charakter pojemnościowy, pogłębiający się wraz ze zmniejszaniem mocy opraw oświetleniowych. Przeciwdziałając temu zjawisku w obydwu lokalizacjach zastosowano kompensację mocy biernej.

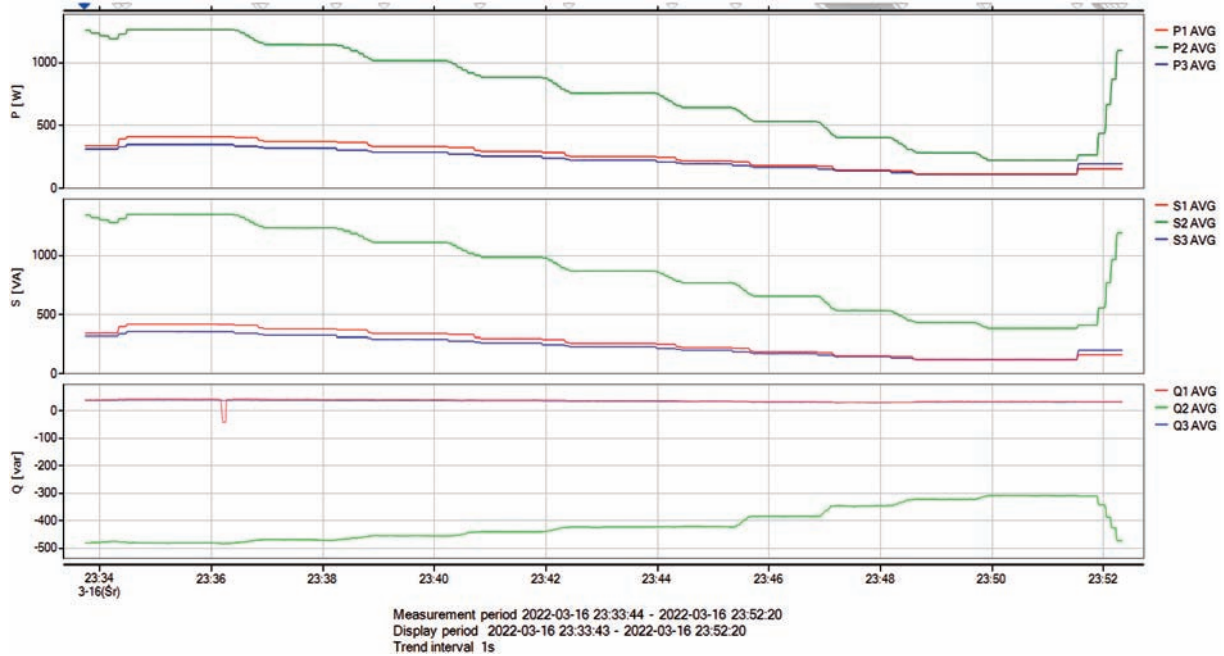
Ponowne pomiary mocy czynnej, biernej i pozornej, potwierdziły prawidłowość zastosowanej kompensacji mocy biernej – system oświetlenia stał się odbiorem o charakterze



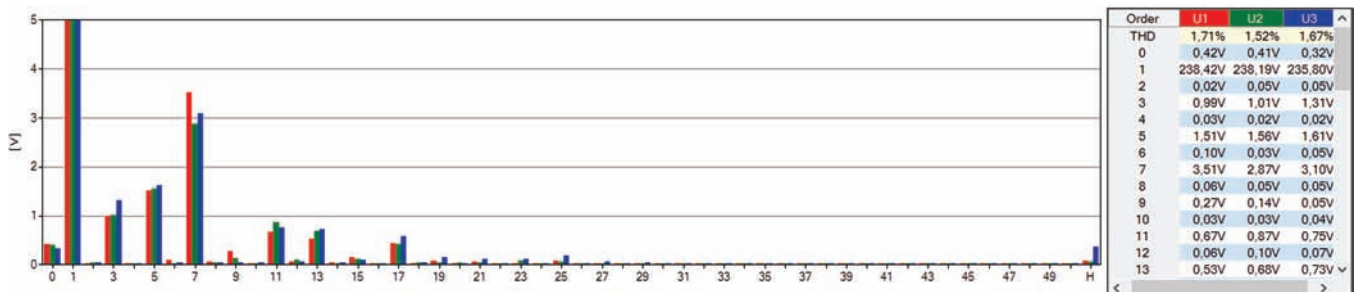
Rys. 7. Wartości napięć i prądów na poszczególnych fazach układu zasilania przy sterowaniu mocami źródeł światła od 100% do 10% zarejestrowane na stacji Gdynia Orłowo [7]

indukcyjnym. Zaobserwowano również, że wartość $\text{tg}\varphi$ się zmienia pomimo stałej mocy opraw. Jest to spowodowane tym, że z tego samego przyłącza są zasilane również inne

odbiorcy często pracujące dorywczo, np. windy. Wyniki pomiarów mocy czynnej, biernej i pozornej po zastosowaniu kompensacji na p.o. Ciepłewo zestawiono w tablicach 1 i 2.



Rys. 8. Wartości mocy czynnej (P), pozornej (S) i biernej (Q) na poszczególnych fazach układu zasilania przy sterowaniu mocami źródeł światła od 100% do 10% zarejestrowane na stacji Gdynia Orłowo [7]



Rys. 9. Wartości wyższych harmonicznych napięć przy 60% mocy opraw oświetleniowych zarejestrowane na stacji Gdynia Orłowo [7]

Tablica 1

Wartości mocy czynnej, biernej i pozornej na p.o. Ciepłewo po zastosowaniu kompensacji mocy biernej [8]

P _% [%]	P [W]				S [VA]				Q [VAr]			
	L1	L2	L3	P3f	L1	L2	L3	S3f	L1	L2	L3	Q3f
100	617	817	535	1969	632	850	553	2034	137	232	141	510
90	584	784	502	1871	610	831	536	1977	175	275	186	636
80	556	754	474	1784	566	781	486	1833	104	205	106	416
70	525	723	443	1691	541	758	462	1762	129	230	134	492
60	426	555	413	1394	439	593	426	1459	107	209	107	422
50	395	525	381	1301	431	586	422	1440	173	275	181	629
40	367	496	352	1215	396	555	385	1336	150	250	155	554
30	340	469	326	1134	354	512	342	1208	101	206	104	411
20	309	439	295	1044	399	570	401	1371	253	364	272	889
10	235	365	220	820	256	417	244	918	103	203	105	412

Tablica 2

Wartości współczynnika mocy i tgφ na p.o. Ciepłowo po zastosowaniu kompensacji mocy biernej [8]

P _% [%]	Q/P (tgφ)[-]				PF [-]			
	L1	L2	L3	3f	L1	L2	L3	3f
100	0,2220	0,283966	0,263551	0,259015	0,976266	0,961176	0,96745	0,968043
90	0,2997	0,350765	0,370518	0,339925	0,957377	0,943442	0,936567	0,946383
80	0,1871	0,271883	0,223629	0,233184	0,982332	0,965429	0,975309	0,973268
70	0,2457	0,318119	0,302483	0,290952	0,970425	0,953826	0,958874	0,959705
60	0,2512	0,376577	0,25908	0,302726	0,970387	0,935919	0,969484	0,955449
50	0,4380	0,52381	0,475066	0,483474	0,916473	0,895904	0,902844	0,903472
40	0,4087	0,504032	0,440341	0,455967	0,926768	0,893694	0,914286	0,909431
30	0,2971	0,439232	0,319018	0,362434	0,960452	0,916016	0,953216	0,938742
20	0,8188	0,829157	0,922034	0,851533	0,774436	0,770175	0,735661	0,761488
10	0,4383	0,556164	0,477273	0,502439	0,917969	0,8753	0,901639	0,893246

Analizy zużycia energii przez instalacje oświetlenia p.o. Ciepłowo i st. Gdynia Orłowo oparto na odczytach rejestracyjnych liczników typu sEAB zainstalowanych w szafach RSO. Dane o zużyciu energii czynnej, biernej indukcyjnej i pojemnościowej gromadzono przez cały miesiąc w listopadzie 2022 r. Podzielono je na okresy czasu przypadające na porę dzienną, podczas której oświetlenie nie było załączane, porę nocną z pracującą instalacją oświetleniową oraz czas testów prowadzonych w ciągu dnia przy załączeniu i sterowaniu oświetleniem manualnie.

Zbiornicze wyniki pomiarów otrzymanych z liczników energii, z podziałem na porę dzienną, nocną i testy, zestawiono w tablicy 3 dla st. Gdynia Orłowo i tablicy 4 dla p.o. Ciepłowo, w których użyto następujących oznaczeń:

- dT – przyrost czasu pomiędzy rekordami w godzinach,
- dEP – przyrost energii czynnej podczas czasu dT,

- dEQi – przyrost energii biernej indukcyjnej podczas czasu dT,
- dEQc – przyrost energii biernej pojemnościowej podczas czasu dT,
- średnia EP – wartość średnia jednogodzinna energii czynnej w czasie dT,
- średnia EQi – wartość średnia jednogodzinna energii biernej indukcyjnej w czasie dT,
- średnia EQc – wartość średnia jednogodzinna energii biernej pojemnościowej w czasie dT,
- EP/EPn – procentowy współczynnik poboru godzinnej energii czynnej do godzinnej energii odpowiadającej znamionowej mocy instalacji oświetleniowej.

Podczas badań terenowych wykonano badania EMC całego systemu LMP na st. Gdynia Orłowo i p.o. Ciepłowo. Badania

Tablica 3

Miesięczne zużycie energii czynnej i biernej na st. Gdynia Orłowo z podziałem na porę dzienną, nocną i testy [8]

	dT [h]	dEP	dEQi	dEQc	średnia EP	EP/EPn	średnia EQi	średnia EQc	tgφ
dzień	269,03	49,72	3,55	4,96	0,18	3,3%	0,0132	0,0184	-0,028
noc	455,26	2346,02	229,82	0,02	5,15	91,0%	0,5048	0,0000	0,098
test	0,78	0,93	0,08	0,14	1,19	21,0%	0,1021	0,1787	-0,065
Razem	725,08	2396,67	233,45	5,12	3,31	58,4%	0,3220	0,0071	0,095

Tablica 4

Miesięczne zużycie energii czynnej i biernej na p.o. Ciepłowo z podziałem na porę dzienną, nocną i testy [8]

	dT [h]	dEP	dEQi	dEQc	średnia EP	EP/EPn	średnia EQi	średnia EQc	tgφ
dzień	258,15	4,21	0	4,38	0,02	0,9%	0,0000	0,0170	-1,04
noc	464,51	637,18	177,22	0	1,37	71,8%	0,3815	0,0000	0,28
test	2,44	2,12	1,25	0,18	0,87	45,5%	0,5128	0,0738	0,50
Razem	725,10	643,51	178,47	4,56	0,89	46,5%	0,2461	0,0063	0,27

dotyczyły pomiarów emisji zaburzeń promieniowanych (rys. 10, 11) i przewodzonych. Badaniami objęto urządzenia:

- szafę rozdzielczą sterowania oświetleniem terenów kolejowych RSO1 typu LMP-RESO3F-10-5L3N o numerze fabrycznym LMP002,
- szafę rozdzielczą sterowania oświetleniem terenów kolejowych RSO2 typu LMP-RESO3F-10-3L3N o numerze fabrycznym LMP001,
- kontener teletechniczny z pulpitem N1, w którym zainstalowany był sterownik nadrzędny sterowania oświetleniem terenów kolejowych typu LMP-NEK-N o numerze fabrycznym LMP004,
- oprawy oświetleniowe znajdujące się w przejściu podziemnym typu ATM INV 320LED-12J427-SF o nr fabr. 31-321-12J-427-SF-0001.



Rys. 10. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych od badanej szafy rozdzielczej sterowania oświetleniem terenów kolejowych RSO1 [9]



Rys. 11. Pomiar emisji zaburzeń promieniowanych od badanego kontenera teletechnicznego z pulpitem N1 [9]

Wynik badań jest pozytywny, choć zanotowano przekroczenia wartości dopuszczalnych niektórych częstotliwości. Jest to spowodowane obecnością pól elektromagnetycznych

pochodzących od lokalnych radiostacji łączności lądowej w zakresie UKF oraz od stacji bazowych systemu GSM, UMTS 900, w tym od analogowej i cyfrowej telefonii komórkowej.

Rozdzielnica elektryczna LMP-RESO3F i sterownik nadrzędny LMP-NEK prawidłowo komunikują się z serwerem centralnym w protokole MQTT i z systemami zdalnego nadzoru w LCS w protokole DIMNET-P5 i MODBUS-TCP. Umożliwiają komunikację diagnostyczną i odczyt zapisów archiwalnych.

Do testów użyto programu WizAr jako klient protokołu DIMNET-P5. Program LMP tester, przez protokół DIMNET-P5, odczytuje dane z rejestrów z tablic baz danych sterownika nadrzędnego LMP-NEK. Program sterownika nadrzędnego, na bieżąco odczytuje do swojej pamięci wszystkie rekordy tablic z podległych urządzeń.

Zobrazowanie stanu instalacji oświetleniowej na pulpicie operatorskim sterownika nadrzędnego jest prawidłowe i zgodne z założeniami systemu LMP. Do testów użyto programu wizualizacji WebiNEK zainstalowanego w pulpicie operatorskim sterownika LMP-NEK. Program ten służy do zobrazowania pracy instalacji oświetleniowej na pulpicie operatorskim.

Badania dokładności zegarów astronomicznych polegały na sprawdzeniu czy sterowniki nadrzędne Nso poprawnie ustalają godziny wschodów i zachodów słońca dla stacji, na których są zainstalowane. Badania wykazały, że maksymalny błąd wyznaczania wschodu słońca wynosił 50 s na p.o. Ciepłewo i 1 min i 51 s na st. Gdynia Orłowo, natomiast zachodu słońca wynosił odpowiednio 2 min i 21 s oraz 1 min i 10 s. Próba potwierdziła wymaganą dokładność wyznaczania momentów wschodu i zachodu słońca przez sterownik nadrzędny N1 w Ciepłewie. Błąd wyznaczania momentów wchodu i zachodu słońca jest mniejszy niż 3 minuty.

W czasie badań eksploatacyjnych również oprawy oświetleniowe zainstalowane w obydwu lokalizacjach demonstratora były poddawane testom i obserwacji, zgodnie z programem badań. Badania, testy i sprawdzenia opraw oświetleniowych na p.o. Ciepłewo i st. Gdynia Orłowo wykazały, że spełnione są wymagania stawiane oprawom.

Dodatkowo sprawdzono ochronę przeciwporażeniową instalacji oświetleniowej. Jako system dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej dla demonstratorów na st. Gdynia Orłowo i p.o. Ciepłewo zastosowano urządzenia II klasy ochronności, która jest zapewniona przez:

- umieszczenie przewodów zasilających do opraw oświetleniowych, zamontowanych na słupach i do opraw oświetleniowych zamontowanych w wiatach peronowych i w przejściu podziemnym, w dodatkowej giętkiej rurze izolacyjnej,
- zastosowanie słupowych złącz izolacyjnych wykonanych w II klasie izolacji,
- zastosowanie wszystkich opraw oświetleniowych należących do demonstratorów oraz szafy SON w II klasie izolacji.

Dla instalacji wykonanych w II klasie izolacji wykonano pomiary rezystancji izolacji pomiędzy przewodami, która jest ponad 10-ciokrotnie wyższa od wymaganej.

5. Podsumowanie i wnioski

Badania wykazały, że system LMP umożliwia zmianę natężenia oświetlenia przez zmianę mocy opraw oświetleniowych w zakresie od 10% do 100% mocy znamionowej opraw. Zmiany mocy mogą być realizowane przez sterowanie ręczne lub automatyczne. Sterowanie automatyczne w systemie LMP realizuje zakładane dynamiczne sterowanie natężeniem oświetlenia na stacjach, które jest zależne od obecności osób na terenie stacji oraz ruchu pociągów.

W przypadku zasilania odbiorów bardziej jednorodnych, jak to jest na p.o. Ciepłowo zastosowanie kompensacji mocy biernej pojemnościowej spełnia swoje zadanie. Wartość $\text{tg}\varphi$ z ujemnej zmienia się na dodatnią po załączeniu kompensacji. Wynika z tego, że należy dążyć do ujednolicenia charakteru odbiorów zasilanych z jednego przyłącza lub zapewnić, aby wszystkie odbiory były prawidłowo skompensowane niezależnie od charakteru pracy – chwilowego lub długotrwałego lub zastosować kompensację naddaną na przyłączy.

Pomiary energii na stacji Gdynia Orłowo i p.o. Ciepłowo wykazały, że zastosowana tam kompensacja spełnia swoje zadania. W obydwu lokalizacjach demonstratora, miesięczna wartość energii biernej pojemnościowej wynosiła około 5 kvar, a $\text{tg}\varphi$ miał charakter indukcyjny i wynosił znacznie poniżej 0,4.

Pojemnościowy charakter energii biernej występuje w porze dziennej przy wyłączeniu oświetlenia stacji. Wynika to z niskiego poboru energii czynnej oraz ładowania pojemności tworzonej przez kablową instalację oświetleniową. Dodatkowo, w porze dziennej energia jest zużywana na potrzeby własne instalacji oświetleniowej – szaf rozdzielczych, wyposażonych w zasilacze impulsowe i inne odbiory o charakterze pojemnościowym zasilane z tego samego przyłącza. W porze nocnej, przy załączonym oświetleniu, instalacja oświetleniowa w systemie LMP ma charakter obioru indukcyjnego przy zastawianiu kompensacji mocy biernej.

Zastosowanie systemu LMP umożliwia uzyskanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej w porze nocnej, gdy włączone jest oświetlenie stacji. Wielkość uzyskanych oszczędności zależy między innymi od częstotliwości przejazdu pociągów pasażerskich, obecności ludzi na oświetlanym terenie oraz mocy instalacji oświetleniowej włączonej w system LMP w stosunku do całkowitej mocy oświetlenia na stacjach i innych odbiorów zasilanych z szafy rozdzielczej.

W listopadzie 2022 r. na stacji Gdynia Orłowo zastosowanie systemu LMP umożliwiło uzyskać 9% oszczędności energii elektrycznej. Niska wartość oszczędności wynika z niskiego stosunku instalacji oświetleniowej włączonej w system LMP do mocy wszystkich odbiorów (około 34%). Oszczędności energii uzyskiwane w czasie jednej nocy wynosiły od 4,2% do 14,0%.

W listopadzie 2022 r. na p.o. Ciepłowo zastosowanie systemu LMP pozwoliło na uzyskanie 28,2% oszczędności energii (w czasie jednej nocy oszczędności wynosiły od 14,6% do 43,9%). Stwierdzono również, że:

- 1 Współczynnik mocy PF dla opraw oświetleniowych ma prawidłową wartość.
- 2 Należy wziąć pod uwagę opracowanie wymagań wewnętrznych PKP PLK S.A. w zakresie współczynnika mocy PF dla opraw oświetleniowych LED, które mają pracować w instalacjach oświetleniowych z regulowaną mocą.
- 3 Współczynniki odkształcenia harmonicznych napięcia THDU spełniające kryteria techniczne, określające dopuszczalny poziom całkowitych współczynników odkształcenia harmonicznych napięcia THDU, są zawarte w normie PN-EN 50160:2010 [3] i w rozporządzeniu [4].
- 4 Oprawy oświetleniowe zastosowane w demonstratorze działają prawidłowo. Ich moc oświetleniowa jest regulowana przez system LMP. Stan opraw i elementów montażowych jest prawidłowy. Nie stwierdzono braku świecenia pojedynczych diod z żadnej z opraw.
- 5 Rozdzielnica elektryczna LMP-RESO3F i sterownik nadrzędny LMP-NEK prawidłowo komunikują się z serwerem centralnym w protokole MQTT i z systemami zdalnego nadzoru w LCS w protokole DIMENT-P5 i MODBUS-TCP. Umożliwiają komunikację diagnostyczną i odczyt zapisów archiwalnych.
- 6 Zobrazowanie stanu instalacji oświetleniowej na pulpicie operatorskim sterownika nadrzędnego jest prawidłowe i zgodne z założeniami systemu LMP.
- 7 Dokładność zegarów astronomicznych w systemie LMP jest zgodna z wymaganiami. Maksymalny błąd wyznaczenia czasu wschodu i zachodu słońca jest mniejszy niż 3 minuty.

Bibliografia

1. PN-EN 50121-5: Zastosowania kolejowe, Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 5: Emisja i odporność aparatury oraz urządzeń stacjonarnych systemu zasilania energią.
2. PN-EN 12464-2:2014: Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz.
3. PN-EN 50160:2010: Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. z 2007 r., nr 93, poz. 623z późn. zm.).
5. Projekt LMPROJECT. Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na sieci zarządzanej przez PLK S.A. Projekt nr POIR.04.01.01-00-0020/17. Etap 10 – Badanie demonstratora i jego elementów oraz proces uzyskania dopuszczeń. Część 10a – Badania laboratoryjne. Praca IK nr: 01/000001/12, Warszawa, maj 2021.
6. Sprawozdanie Nr LA/55.1/21 z pomiarów natężenia oświetlenia na przystanku osobowym Ciepłowo i stacji Gdynia Orłowo. Warszawa, 14.04.2022.

7. Projekt LMPROJECT. Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na sieci zarządzanej przez PLK S.A. Projekt nr POIR.04.01.01-00-0020/17. Etap 10 – Badanie demonstratora i jego elementów oraz proces uzyskania dopuszczeń. Zadanie nr 10b – Badanie demonstratora i jego elementów oraz proces uzyskania dopuszczeń – badania demonstratora. Praca IK nr: 02/000001/12, Warszawa, czerwiec 2022.
8. Projekt LMPROJECT. Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na sieci zarządzanej przez PLK S.A. Projekt nr POIR.04.01.01-00-0020/17. Etap 10 – Badanie demonstratora i jego elementów oraz proces uzyskania dopuszczeń. Zadanie nr 10c – badania eksploatacyjne demonstratora. Praca IK nr: 03/000001/12, Warszawa, grudzień 2022.
9. Sprawozdanie Nr LA/55.2/21 z badań poligonowych EMC systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na posterunku odgałęźnym Cieplewo i stacji Gdynia Orłowo. Warszawa, 06.05.2022.

Artykuł opracowano na podstawie projektu pt. „Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową na sieci zarządzanej przez PLK S.A.”, dofinansowanego przez NCBR (nr umowy POIR.04.01.01-00-0020/17) i PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (60/010/0012/18/Z/O).