

Mirosław Maciąg

Badanie możliwości zastosowania technologii domowej Power Line Communication w Instytucie Techniki Ciepłej

Koło Naukowe Energetyków
Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska
Konferencja: Nowoczesna Energetyka Europy Środkowo-Wschodniej 2015

Opiekun naukowy: dr inż. Krzysztof Rafał

Abstrakt

Artykuł traktuje o badaniu przydatności technologii PLC (ang. Power Line Communication) do zbierania danych ze stanowisk laboratoryjnych i przesyłu danych przez sieć energetyczną w Instytucie Techniki Ciepłej. Przedstawiono zostało metoda, przebieg oraz wyniki badań jakości połączeń informacyjnych siecią elektryczną, ich ograniczenia w zależności od obciążenia sieci, wpływu autotransformatora oraz odległości transmisji. Dokonano również badań przykładowych połączeń konwerterów różnych firm w celu sprawdzenia kompatybilności różnych urządzeń. Do badań użyte zostały gotowe konwertery firm ZyXEL i TP-Link. Oprogramowanie na wszystkich urządzeniach zostało zaktualizowane do najnowszej wersji TP-Link software. Ponadto przygotowano system Linux Mint na komputerze stacjonarnym podłączonym do Internetu oraz do sieci energetycznej. Na komputerze zainstalowano programy /ping/ i /iperf/. Badania zostały przeprowadzone na terenie pokoi biurowych jak również laboratorium elektrotechniki. Sieć PLC w ITC komunikuje się z prędkością do 60 MB/s jednocześnie wzrost odległości powoduje obniżenie tego poziomu.

1. WSTĘP

Systemy przekazywania danych przez sieć elektryczną (Power Line Communication) sięgają 1950 roku. Były wtedy używane do sterowania lampami ulicznymi[1] bez potrzeby montowania dodatkowego okablowania. Aktualnie istnieje wiele odmian odpowiednich dla różnych napięć sieciowych, szybkości transmisji i protokołów komunikacyjnych. Podstawowa Zasada działania systemu jest taka sama dla wszystkich rodzajów i polega na nałożeniu na podstawową sinusoidę (50-60 Hz) sygnału nośnego o zdecydowanie większej częstotliwości (5kHz-30MHz) i małej amplitudzie. Technika ta może być używana dla instalacji niskiego napięcia o wartościach 110V, 230V, 400V. Pozwala użycie istniejącej sieci elektrycznej do przesyłania danych w podobny sposób jak przez zwykłe przewody ethernetowe, ale bez konieczności fizycznego instalowania dodatkowej sieci. Do rozpoczęcia przekazu potrzeba jedynie dwóch konwerterów podpiętych do zasilania - jednego nadającego sygnał, a drugiego filtrującego i odbierającego umieszczonych na tej samej fazie. Początkowo przesył był tylko jednokierunkowy, jednak obecnie urządzenia komunikują się w obie strony. Przekaz może odbywać się między dwoma lub większą ilością urządzeń. Nic nie stoi też na przeszkodzie, aby w jednej instalacji elektrycznej funkcjonowała więcej niż jedna sieć.

Systemy PLC obecnie mają wiele zastosowań: od zdalnego zbierania danych z mierników, sterowania, po przekazywanie danych między elementami w sieci. Ten artykuł ma na celu określenie możliwości i ograniczeń w użytkowaniu technologii przeznaczonej do użytku domowego na terenie większego budynku na przykładzie Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej. Jest tam dobrze rozwinięta sieć elektryczną, stąd pomysł wykorzystania jej w celach stworzenia połączeń tam, gdzie konwencjonalna infrastruktura Ethernet nie została jeszcze zainstalowana, w szczególności w Laboratorium Elektrotechniki. Właśnie dlatego też dokonaliśmy pomiarów pilotażowych mające na celu określenie przydatności systemu PLC do przetwarzania danych zbieranych w czasie zajęć, jak również zdalnego sterowania sprzętem. Badania miały na celu ocenić wpływ podstawowych czynników, pojawiających się naturalnie w instalacji na jakość oraz prędkość transmisji. Czynniki uwzględnionymi w badaniach była długość instalacji, przez którą sygnał musi być przekazany, oraz wpływ autotransformatora. Pomiarzy zostały też przeprowadzone przy użyciu silnika również w fazie rozruchu, by zbadać wpływ energii biernej oraz prądów wzbudzenia na transmisję. Powyższe elementy zostały zbadane ze względu na potencjalne zastosowanie technologii do zbierania danych z układów laboratoryjnych, jak również połączenie serwera z danymi z siecią Ethernet.

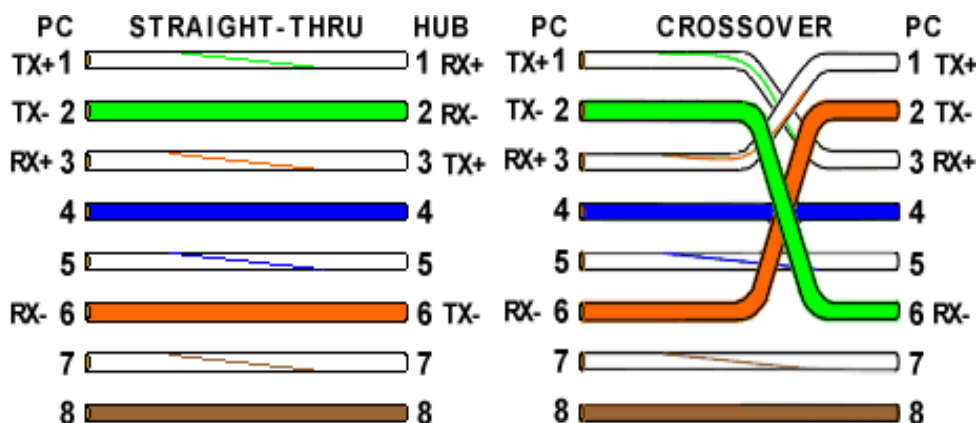
2. PRZYGOTOWANIE BADAŃ

W celu przeprowadzenia badań zakupiono sprzęt do komunikacji siecią elektryczną: konwertery dwóch firm TP-Link[2] (TL-PA411) oraz ZyXEL[2] (PLA4201V2). Wygląd zewnętrzny konwerterów ukazano na ryc. 1. Aby uniknąć różnic wynikających z oprogramowania zainstalowanego na urządzeniach na wyniki badań oraz umożliwienie przeprowadzenia badań w różnych ustawieniach zdecydowano się na ujednoczenie oprogramowania. Ze względu na łatwość dostępu oprogramowania TP-link oraz problemy z aktualizacją oprogramowania firmy Zyxel zainstalowano najnowsze oprogramowanie PowerLine Utility (październik 2014) na wszystkich urządzeniach.



Ryc. 1: Konwertery Zyxel (od lewej) i TP-Link (od prawej)

Początkowe pomiary zostały przeprowadzone przy użyciu routera, jednocześnie w celu zminimalizowania wpływu przesyłu przez sieć Ethernet oraz ograniczeń przesyłu narzucanych przez router zastosowano kabel krosowy[3]. Różnica połączeń między kablem ethernetowym z połączeniem straight-through, i cross-over jest przedstawiona na ryc. 2.

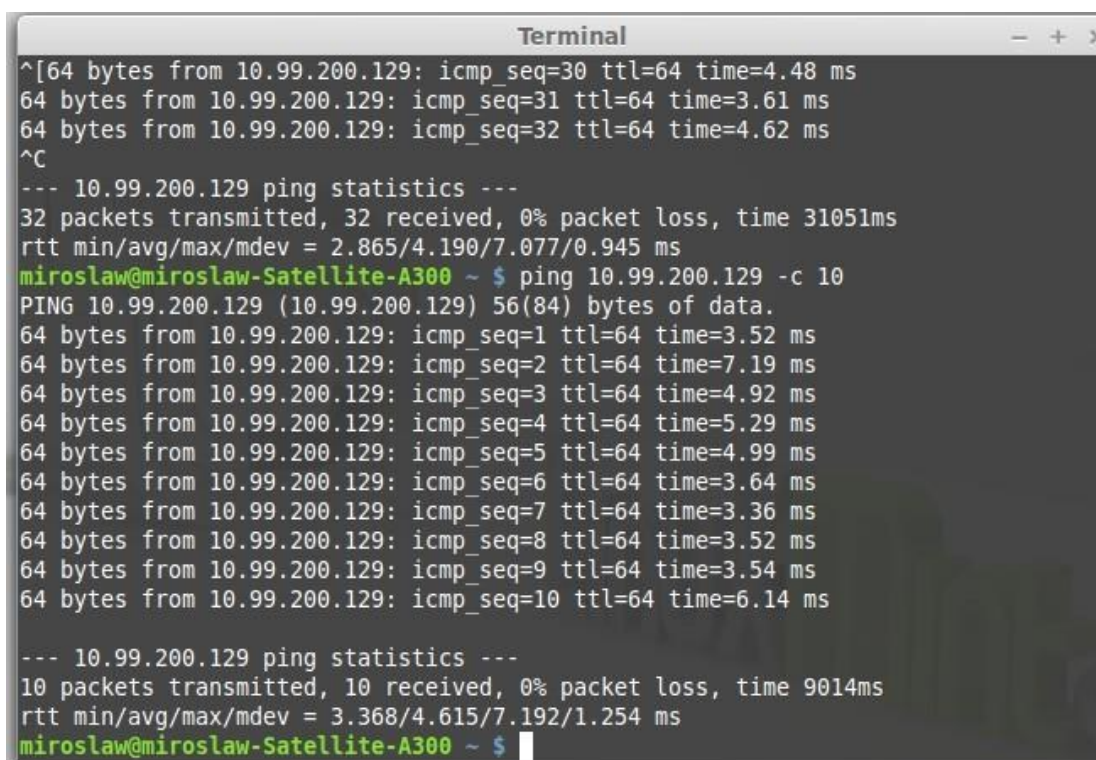


Ryc 2: Standardowe (po lewej) i Crossover (po prawej) połączenia kabli ethernetowych

W celu zbadania jakości transmisji zainstalowano systemy Linux Mint na komputerach oraz programy /ping/ i /iperf/ w terminalu.

3. PING

Ping ma na celu określenie sumarycznego czasu potrzebnego do wysłania pakietu danych o rozmiarze 64 kB, następnie odebrania jego kopii od adresata transmisji. Jest to źródło informacji dotyczących czasu potrzebnego na konwersję standardowego sygnału Ethernet na sygnał nałożony na przebieg napięcia w sieci elektrycznej i z powrotem do standardu Ethernet. Program /ping/ udzielał też informacji na temat procentowego udziału straconych (na dowolnym etapie transmisji) pakietów w całkowitej ich liczbie. Przyjęto próbę przesyłu 100 pakietów ze względu na wysoką rozbieżność błędów z próbą 10 pakietów oraz niewielką z próbą 1000. Przykładowy odczyt z terminala widoczny jest na ryc. 3.



```
Terminal
^[64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=30 ttl=64 time=4.48 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=31 ttl=64 time=3.61 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=32 ttl=64 time=4.62 ms
^C
--- 10.99.200.129 ping statistics ---
32 packets transmitted, 32 received, 0% packet loss, time 31051ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.865/4.190/7.077/0.945 ms
mirosław@mirosław-Satellite-A300 ~ $ ping 10.99.200.129 -c 10
PING 10.99.200.129 (10.99.200.129) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.52 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=2 ttl=64 time=7.19 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=3 ttl=64 time=4.92 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=4 ttl=64 time=5.29 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=5 ttl=64 time=4.99 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=6 ttl=64 time=3.64 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=7 ttl=64 time=3.36 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=8 ttl=64 time=3.52 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=9 ttl=64 time=3.54 ms
64 bytes from 10.99.200.129: icmp_seq=10 ttl=64 time=6.14 ms

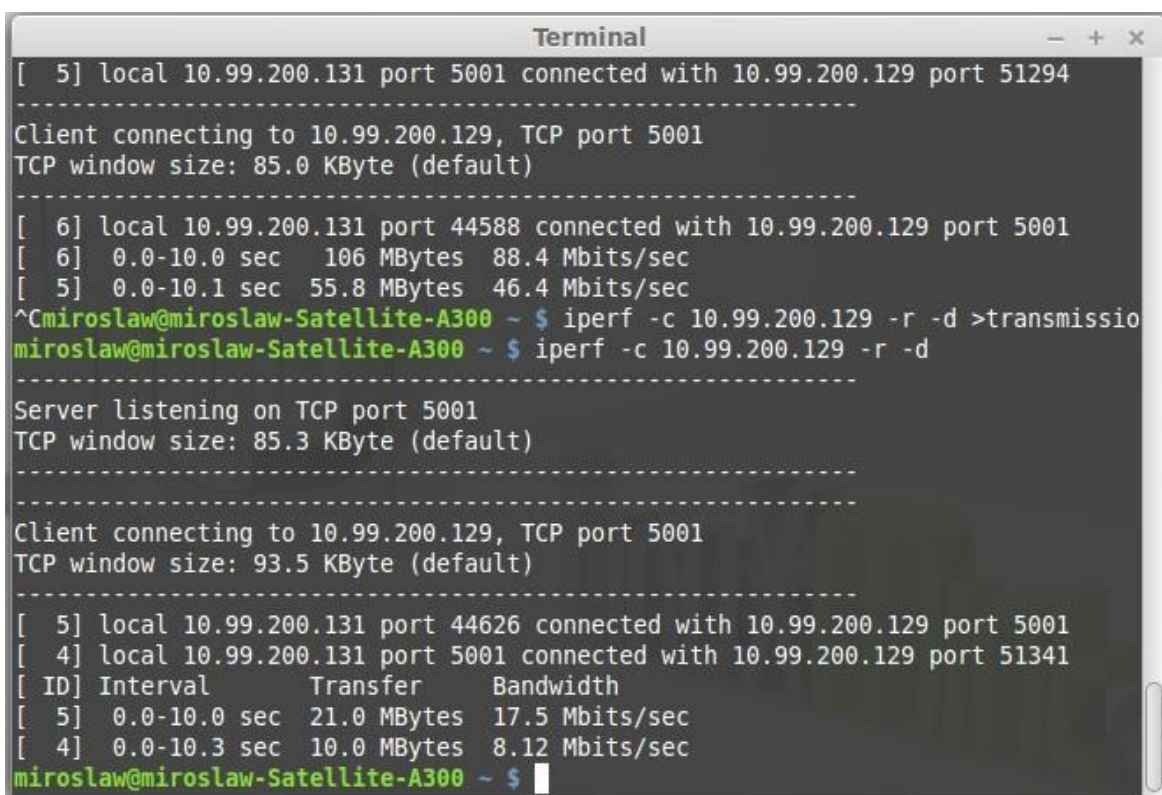
--- 10.99.200.129 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9014ms
rtt min/avg/max/mdev = 3.368/4.615/7.192/1.254 ms
mirosław@mirosław-Satellite-A300 ~ $
```

Ryc. 3: Przykładowy odczyt z programu ping (próbna transmisji 10 pakietów)

4. IPERF

Program `/iperf/` miał na celu określenie szerokości pasma i rzeczywistej przepustowości. Są to najważniejsze parametry charakteryzujące jakość rozwiązania (QoS) jakim jest PLC, decydujące o jego przydatności w zastosowaniach laboratoryjnych i komunikacyjnych, szczególnie w przypadku kiedy potrzebne są dane odbierane w czasie rzeczywistym, kluczowe dla prawidłowego sterowania sprzętem. `/Iperf/` z jednego komputera „klienta” zapytanie do drugiego „serwera” następnie odbierał informacje o prędkości przesyłu danych w obie strony. Czas testu, jak również ilość wysłanych pakietów był ustalany przez program w zależności od ilości pakietów straconych oraz opóźnienia.

Na ryc. 4 przedstawiony jest przykładowy odczyt z terminala przy użyciu programu `/iperf/`.



```
Terminal
[ 5] local 10.99.200.131 port 5001 connected with 10.99.200.129 port 51294
-----
Client connecting to 10.99.200.129, TCP port 5001
TCP window size: 85.0 KByte (default)
-----
[ 6] local 10.99.200.131 port 44588 connected with 10.99.200.129 port 5001
[ 6] 0.0-10.0 sec 106 MBytes 88.4 Mbits/sec
[ 5] 0.0-10.1 sec 55.8 MBytes 46.4 Mbits/sec
^Cmirosław@mirosław-Satellite-A300 ~ $ iperf -c 10.99.200.129 -r -d >transmissio
mirosław@mirosław-Satellite-A300 ~ $ iperf -c 10.99.200.129 -r -d
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
Client connecting to 10.99.200.129, TCP port 5001
TCP window size: 93.5 KByte (default)
-----
[ 5] local 10.99.200.131 port 44626 connected with 10.99.200.129 port 5001
[ 4] local 10.99.200.131 port 5001 connected with 10.99.200.129 port 51341
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 5] 0.0-10.0 sec  21.0 MBytes  17.5 Mbits/sec
[ 4] 0.0-10.3 sec  10.0 MBytes   8.12 Mbits/sec
mirosław@mirosław-Satellite-A300 ~ $
```

Ryc. 4: Przykładowy odczyt z programu `iperf`

5. BADANIE KONFIGURACJI

Aby określić czy typ urządzenia ma wpływ na prędkość przesyłu, przeprowadzono eksperymenty z użyciem różnych konfiguracji konwerterów Zyxel i TP-Link. By ograniczyć wpływ zjawisk w sieci elektrycznej, wybrano minimalną odległość między konwerterami, na jaką pozwalały warunki techniczne.

Stworzenie sieci PLC rozpoczęto od podłączenia konwertera do sieci elektrycznej. Następnie podłączono kable ethernetowe o konfiguracji crossover oraz straight-through do komputera oraz do konwertera. Połączenie zostało zaprezentowane na ryc. 5. Ze względu na

brak wbudowanego serwera DHCP w większości bramek, trzeba ręcznie ustawić adres sieciowy. Na komputerze, z którym będzie prowadzona komunikacja, ręcznie ustanowiono drugi adres sieciowy, tak by oba urządzenia należały do tej samej sieci, i także jego podłączono go bramki PLC, na przykład drugiej z zestawu TL-PA511KIT. Jeśli wszystkie czynności zostaną wykonane poprawnie, oba komputery mogą komunikować się ze sobą przez sieć zasilającą.



Ryc. 5: Połączenie konwerterów Zyxcel i TP-Link

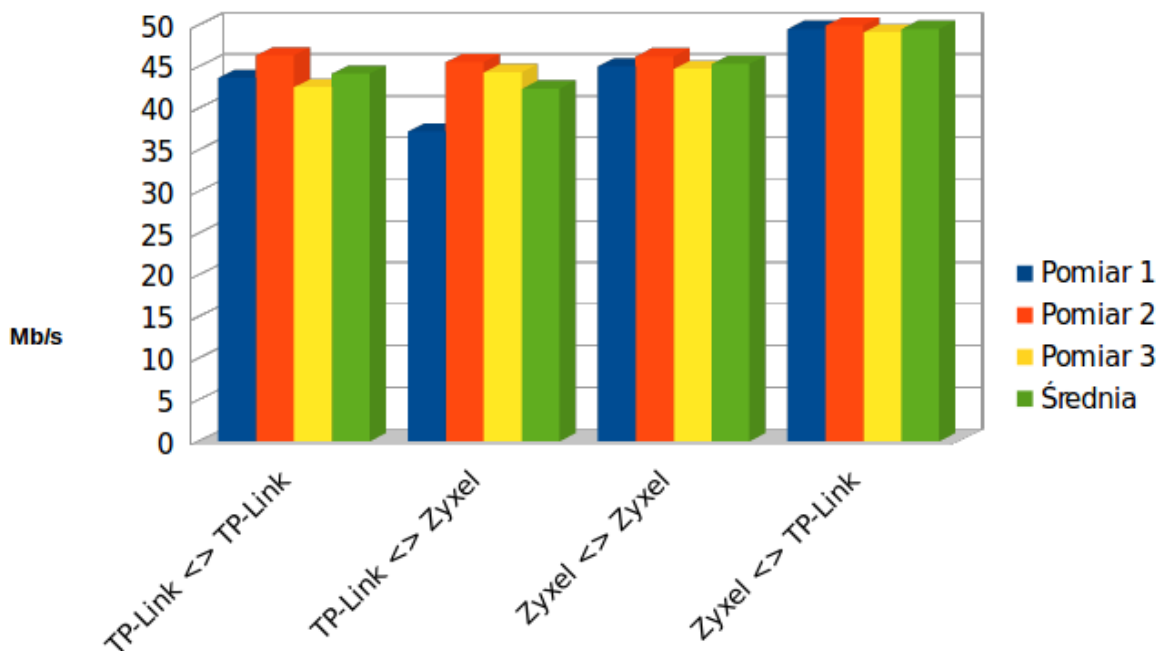
Aby zabezpieczyć połączenie, wystarczy przytrzymać przycisk parowania na obudowie jednej z bramek PLC, a po krótkim czasie nacisnąć ten sam przycisk na drugiej z bramek, a wtedy automatycznie ustanowią one między sobą bezpieczne połączenie.

Badania zostały przeprowadzone dla kombinacji 2 konwerterów TP -Link, 2 konwerterów Zyxcel, oraz połączenia konwerterów Zyxcel i TP-link (pierwsza nazwa w tabeli określa klienta, druga serwer). Tabela 1 przedstawia dane dla 3 pomiarów wraz ze średnią oraz odchyleniem standardowym, jak również stratę pakietów.

Połączenie (Client <>	Odległość	Pomiar prędkości	Pomiar prędkości	Pomiar prędkości	Średnia prędkość	Packet	Odchylenie
TP-Link <> TP-Link	0	43,6	46,3	42,5	44,13	0,00%	2,7652606869
TP-Link <> Zyxcel	0	37,2	45,5	44,3	42,33	0,00%	6,3440260613
Zyxcel <> Zyxcel	0	45	46,2	44,7	45,30	0,00%	1,122497216
Zyxcel <> TP-Link	0	49,5	49,9	49,1	49,50	0,00%	0,5656854249

Tabela 1: Zestawienie przesyłu dla różnych konfiguracji połączeń

Jak widać w tabeli strata pakietów dla wszystkich połączeń jest zerowa. Największy rozrzut jest dla połączenia Zyxcel-Tp-link, a najmniejszy dla Tp-link Zyxcel. W celu jaśniejszego przedstawienia danych wykorzystano wykresy słupkowe, zamieszczone na ryc. 6.



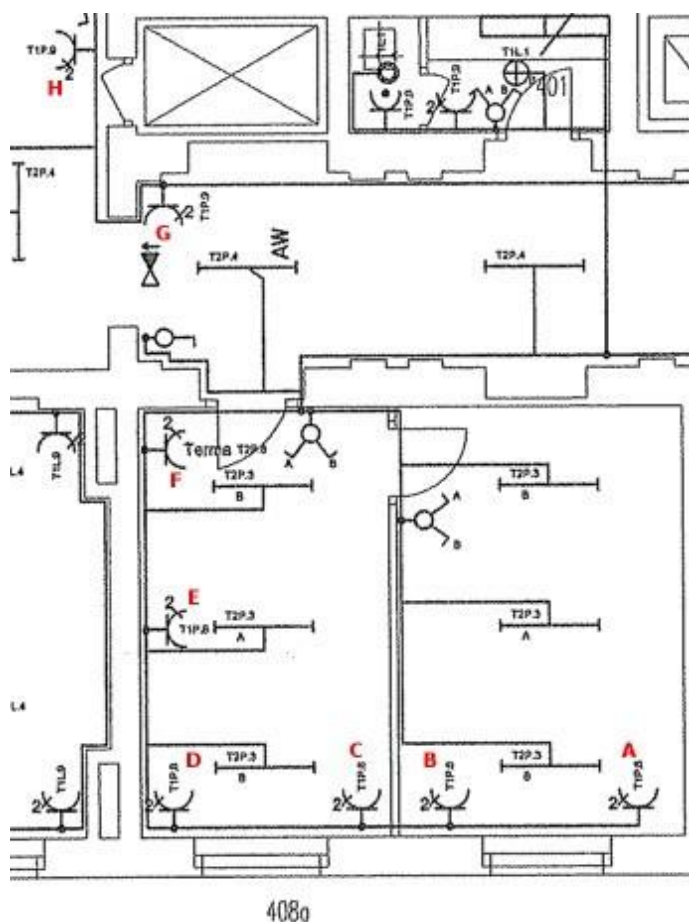
Ryc. 6: Prędkość transmisji dla różnych konfiguracji

Wykres ukazuje dość porównywalne prędkości przekazu danych około 45 MB/s. W większości zestawień wyniki są zauważalnie zróżnicowane, a prędkości nie przekraczają 45 MB/s. Wyjątkiem jest zestawienie Zyxeł TP-Link, w którym wszystkie pomiary były niewiele poniżej 50 MB/s.

Prędkość przesyłu była na tyle zbliżona, że różnice mogły wynikać z warunków panujących w sieci elektrycznej. Świadczy o tym porównywalna wielkość wyników niezależnie od konfiguracji, jak również stosunkowo niskie odchylenia standardowe rzędu kilku procent. Stałe wyniki w przypadku ostatnich eksperymentów prawdopodobnie świadczą o wyjątkowo ustabilizowanych warunkach panujących w tym momencie w sieci oraz mogą być bliskie bliskie maksymalnej prędkości przesyłu. Oznaczałoby to, że prędkość przesyłu osiąga około 50 MB/s, czyli $\frac{1}{4}$ prędkości deklarowanej przez producenta. Można się spodziewać, że w warunkach laboratoryjnych wyniki mogą być wyższe.

6. WPLYW ODLEGŁOŚCI NA PRZESYŁ

Pierwszym czynnikiem, jaki może mieć wpływ na prędkość oraz jakość przekazu jest odległość. Konwerter w sieci spełnia funkcję źródła prądu zmiennego o dużej częstotliwości, dlatego też amplituda sygnału spada wraz z odległością. Co więcej systemy elektroniczne oraz filtry umieszczane w sieci dodatkowo mogą wpłynąć na wyniki testów. W celu zmierzenia wpływu odległości na wyniki testów wykorzystano 2 przedłużacze oraz sieć elektryczną budynku. Ze względu na umieszczenie okablowania w ścianie część danych dotyczących odległości zostało oparte na planie sieci elektrycznej budynku. Powoduje to jednak spore błędy ze względu na nieoznaczenie dokładnych miejsc połączeń między przewodami w sieci oraz brak informacji o pionowym ułożeniu kabli. Ponadto do pomiarów użyto laptopa oraz komputera stacjonarnego, co zdecydowanie obniżyło mobilność jednej z jednostek. Pomiarzy wykonano w miejscach zaznaczonych na ilustracji 7.



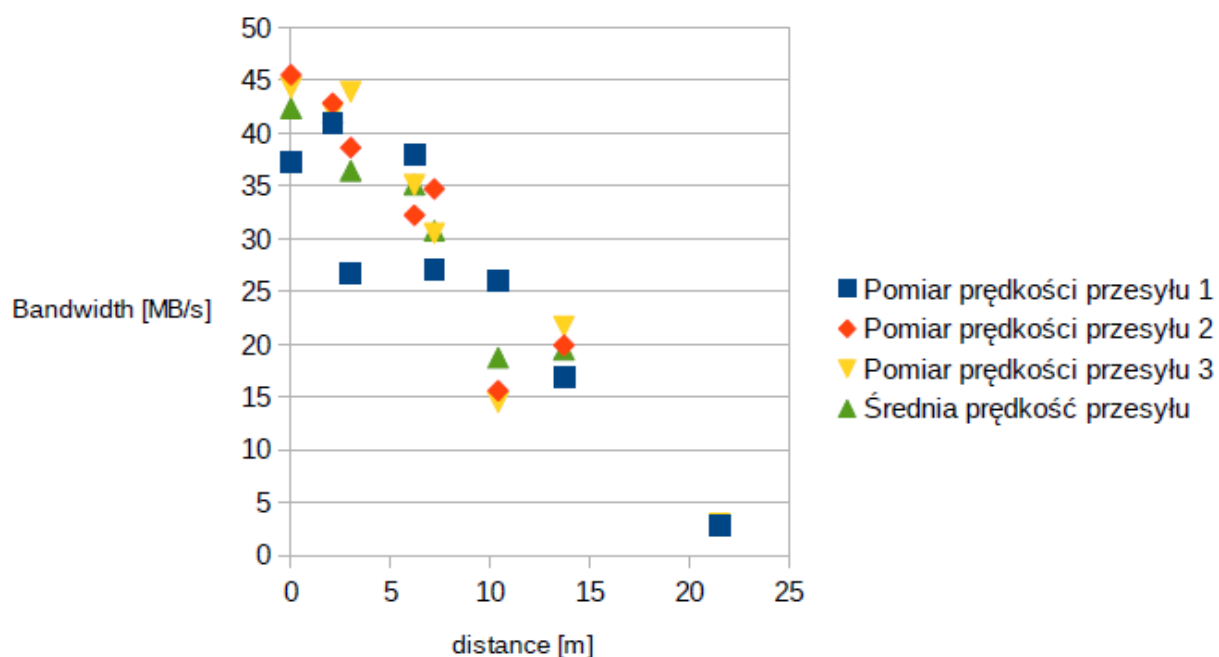
Ryc. 7: Fragment planu sieci elektrycznej ITC z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

Do gniazdka oznaczonego literą /A/ podłączono przedłużacz o długości 0.9 metra, następnie podłączono przedłużacz 2.1 m. Początkowe pomiary wykonano dla odległości dłuższego przedłużacza oraz obu przedłużaczy. We wszystkich pomiarach konwerter podłączono do dłuższego przedłużacza /A/, a drugi do gniazd krótszego przedłużacza /A"/ oraz gniazdek /B/, /C/, /D/, /E/,/F/, /G/, /H/. Pomiar dla gniazdka /F/ nie zakończył się sukcesem.

połączen	dystans	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu	Średnia prędkość przesyłu	Packet
A' – A'	0	37,2	45,5	44,3	42,33	0,00%
A' -A''	2,1	41	42,8	41,9	41,90	0,00%
A' – A	3	26,7	38,6	43,9	36,40	0,00%
A' – B	6,2	38	32,2	35,1	35,10	0,00%
A' -C	7,2	27	34,7	30,5	30,73	0,00%
A' – D	10,4	26	15,6	14,5	18,70	0,00%
A' – E	13,7	16,8	19,9	21,7	19,47	0,00%
A' – G	21,5	2,85	2,82	3,02	2,90	0,00%
A' – H	40,5	unknown	unknown	unknown	unknown	80,00%

Tabela 2: Wyniki pomiarów prędkości transmisji oraz straty pakietów dla różnych odległości

W tabeli 2 zebrano wyniki pomiarów. Jak widać poniżej, 22 metrów nie zaobserwowano strat pakietów. Dane dotyczące zwiększania się strat pakietów są niewystarczające, dlatego też w dalszych rozważaniach będą pomijane.



Ryc. 8: Zależność przesyłu danych od dystansu.

Jak widać na ryc. 8 zależność między odległością a prędkością przesyłu danych jest niemal liniowa i odwrotnie proporcjonalna. Dla badanej technologii oraz obiektu można stwierdzić że jest to strata około 2 MB/s na każdy metr instalacji.

Jakość połączenia spada praktycznie liniowo wraz ze wzrostem odległości i zastosowanie sieci PLC na terenie instytutu jest efektywne dla zasięgu do 20 m, a maksymalny zasięg stanowi 22 m co stanowi 10 % deklarowanej wartości.

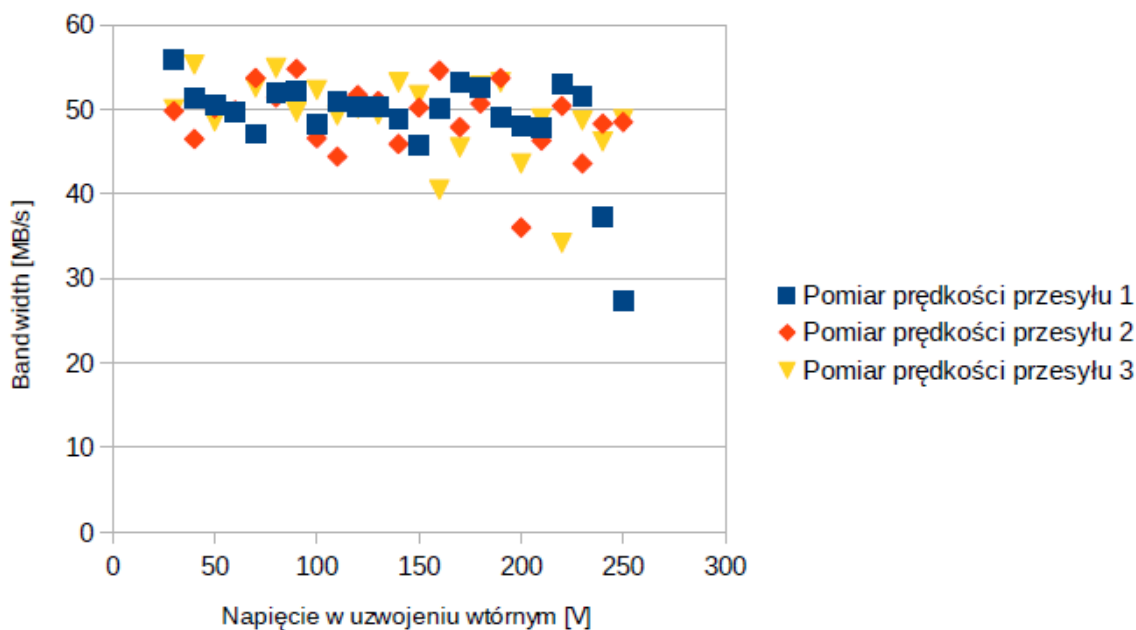
7. AUTOTRANSFORMATOR

Do autotransformatora podpiętego w laboratorium elektrotechniki po obu stronach podpięto konwertery. Zakres autotransformatora to 0 -250 V. Pomiary przeprowadzono co 10 V poczynając od najwyższych wartości. Pomiary poniżej 30 V nie mogły zostać przeprowadzone ze względu na niewystarczającą ilość energii do zasilenia konwertera po stronie uzwojenia wtórnego. Po stronie uzwojenia pierwotnego panowało stałe napięcie sieciowe 230 V.

Napięcie w uzwojeniu wtórnym [V]	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu
250	27,3	48,5	48,8
240	37,2	48,3	46,2
230	51,6	43,6	48,7
220	53	50,4	34,2
210	47,8	46,3	48,9
200	48,1	36	43,6
190	49,1	53,7	53,2
180	52,6	50,7	52,8
170	53,2	47,9	45,5
160	50,1	54,6	40,5
150	45,7	50,2	51,7
140	48,9	45,9	53,2
130	50,3	51	49,4
120	50,3	51,7	50,1
110	51	44,4	49,3
100	48,2	46,6	52,3
90	52,2	54,8	49,7
80	51,9	51,4	54,9
70	47,1	53,7	52,6
60	49,7	49,9	60,2
50	50,5	50,1	48,6
40	51,3	46,5	55,3
30	55,9	49,8	50
20	OFF	OFF	OFF

Tabela 3: Zależność prędkości transmisji od napięcia w uzwojeniu wtórnym autotransformatora

Dane w tabeli 3 przedstawiają dość porównywalne wyniki w przypadku większości pomiarów, jednocześnie w kilku przypadkach pokazują zdecydowanie niższe wartości.



Ryc 9: Prędkość przesyłu danych w odniesieniu do napięcia w uzwojeniu wtórnym

W przypadku danych poniżej 200 V rozbieżność danych jest znikoma, znaczne różnice pojawiają się przy wyższych napięciach.

Dane są przesyłane przez autotransformator, czyli konwertery działają nawet przy ograniczonym połączeniu fizycznym. Zbieżność danych w niższych napięciach może wynikać ze stałych warunków panujących w sieci, z niższych strat wynikających z niższej rezystancji, może też oznaczać że przy różnych napięciach wyższe częstotliwości są w różny sposób filtrowane. Niezależnie od tego przekaz danych autotransformator nie stanowi problemu dla domowej sieci PLC.

8. TRANSMISJA PRZY PRACY SILNIKA

W celu zbadania wpływu zakłóceń wynikających z działania silnika, na przekaz wykorzystano silnik synchroniczny. Początkowe badanie zostało przeprowadzone przy podpięciu dwóch konwerterów równolegle do transformatora zasilającego silnik. Testy przeprowadzono dla różnych rezystancji podpiętych szeregowo z silnikiem, jak również dla procesu załączania silnika gdzie mogą pojawić się prądy rozruchowe.

	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu
Silnik rozruch	50,3	47,9	50,3
Silnik moc znamionowa	53,8	50,3	49,9
Silnik średnia moc	50,1	49,3	48,8
Silnik minimalna moc	47,6	47,3	52,4

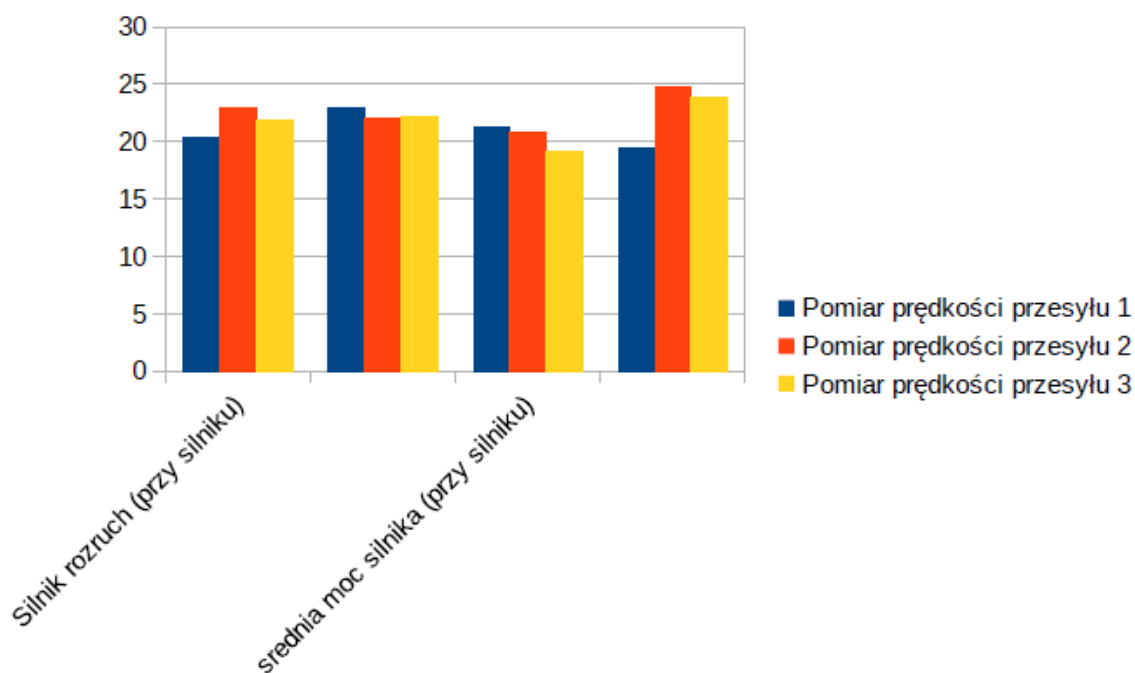
Tabela 4: Prędkości transmisji dla różnych ustawień silnika

Dane pokazują niewielki rozstrzał, a wartości oscylują w okolicach 50 MB/s. Nie zaobserwowano żadnych istotnych zmian niezależnie od działania silnika. Ze względu na brak znacznych utrudnień jeden z konwerterów zamontowano bezpośrednio przy silniku. Oznacza to przekaz sygnału przez transformator oraz układ regulacyjny. Pomiary przeprowadzono dla warunków identycznych jak w poprzednim eksperymencie.

	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu	Pomiar prędkości przesyłu
Silnik rozruch (przy silniku)	20,4	22,9	21,9
minimalna moc silnika (przy silniku)	22,9	22	22,2
średnia moc silnika (przy silniku)	21,3	20,9	19,2
moc znamionowa silnika (przy silniku)	19,4	24,7	23,8

Tabela 5: Prędkość silnika dla różnych ustawień silnika, konwerter wpięty przy silniku

Wartość danych jest zdecydowanie niższa niż przy poprzednich pomiarach. W celu wyraźniejszego porównania wyników użyto ryc. 10 w postaci wykresu słupkowego.

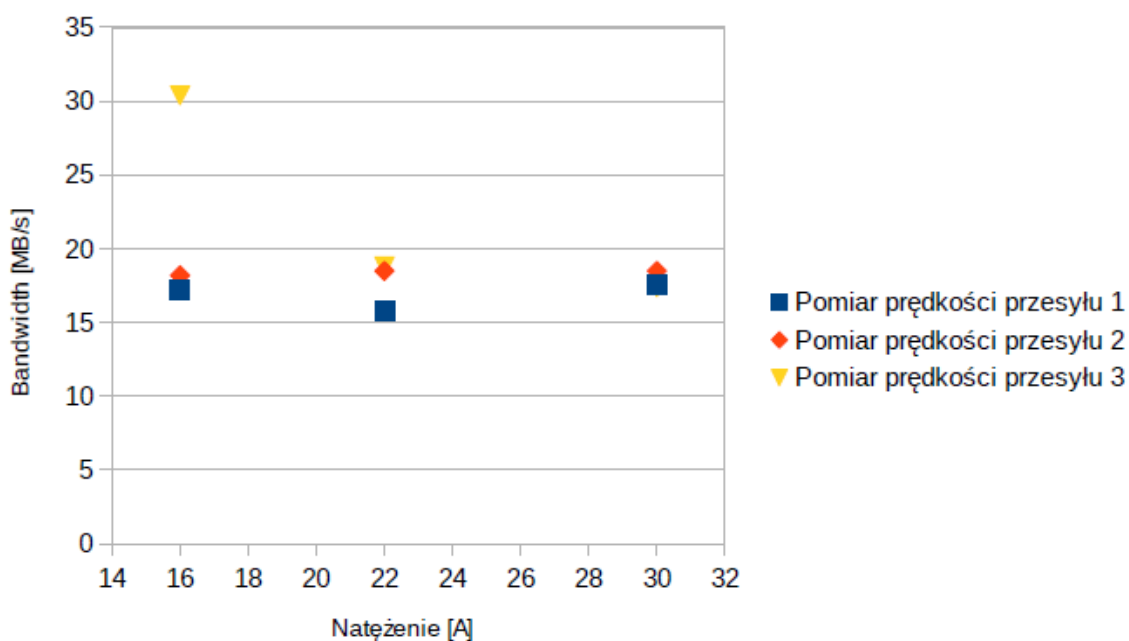


Ryc. 10: Zestawienie pomiarów, z jednym konwerterem przy silniku, dla różnych ustawień silnika,

Pomiary przyjmują wartości 50% niższe niż w przypadku podpięcia zupełnie równoległego. Jednocześnie odległość między konwerterami w drugim teście była większa. Przeprowadzono dodatkowy test w celu określenia wpływu natężenia prądu na wyniki. Zakres pomiarowy była znacząco ograniczony inercją silnika oraz jego analogowym, nieprecyzyjnym sterowaniem. Do testu wybrano średnią rezystancję, ze względu na umożliwienie zbadania największego zakresu. Pomiary zostały wykonane dla stałego napięcia 150 V.

Natężenie [A]	Pomiar prędkości	Pomiar prędkości	Pomiar prędkości
16	17,2	18,2	30,4
22	15,8	18,5	18,8
30	17,6	18,5	17,4

Tabela 6: Pomiary prędkości przesyłu dla różnych natężeń



Ryc. 11: Zależność prędkości przesyłu od natężenia prądu w silniku

Zaobserwowano pojedynczy wyższy pomiar dla niskich wartości napięcia, jednocześnie ze względu na brak powtarzalności jest traktowany jako błąd losowy. Pozostałe pomiary plasują się na porównywalnym poziomie między 15 a 20 MB/s.

Praca silnika nie wpływa w znaczący sposób na przekaz, jednocześnie jakość spada w przypadku podpięcia bezpośrednio przy silniku. Prawdopodobnie jest to związane ze zwiększeniem dystansu między konwerterami.

9. WNIOŚI

Podczas pomiarów stwierdzono, że rzeczywisty przesył w sieci elektrycznej osiąga 50-60 MB/s, czyli $\frac{1}{4}$ wartości deklarowanej przez producenta. Stwierdzono również że przekaz jest efektywny jedynie do 20 metrów, a maksymalny zasięg wynosi około 22 m co stanowi 10% deklarowanego. Z drugiej strony porównywalne wyniki prędkości przesyłu, niezależnie od konfiguracji, świadczą o dużej kompatybilności technologii. Co więcej obciążenie sieci (również w postaci mocy biernej) nie wpływa negatywnie na przekaz danych. Ponadto konwertery działają nawet przy zmianie napięcia sygnału nośnego i przy ograniczonym kontakcie fizycznym.

Przeprowadzone badania miały na celu sprawdzenie przydatności systemu domowego PLC do zbierania danych oraz zintegrowania z siecią lokalną. Pomimo niewielkiego wpływu sprzętu laboratoryjnego i transformatorów oraz dużej kompatybilności między różnymi modelami konwerterów, nie ma możliwości użycia tej technologii w gmachu ITC. Głównym przeciwwskazaniem jest znaczący spadek jakości przesyłu wraz z odległością, uniemożliwiający zapewnienie wiarygodnego przekazu w czasie rzeczywistym na terenie laboratorium. Wykorzystanie sieci PLC jako części sieci przesyłu danych miałyby sens jedynie na niewielkich obszarach, nieposiadających dostępu do sieci Ethernet.

W celu określenia dokładniejszych danych zaleca się przeprowadzenie eksperymentów z użyciem regulowanych kondensatorów, cewek oraz oporników. Możliwe jest też przeprowadzenie badań dla wyższych wartości napięcia, oraz transformatora posiadającego zupełne oddzielenie fizyczne uzwojenia pierwotnego i wtórnego. Badania te mogą mieć zastosowanie w przypadku budynków z nowszą instalacją elektryczną o mniejszej ilości modyfikacji i dokładnie znanych odległościach między konwerterami.

W laboratorium elektrotechniki zaleca się użycie istniejącej tam sieci Wi-Fi, z ewentualną rozbudową o kolejny router. Możliwe jest też sprawdzenie sieci przemysłowej w gmachy ITC, jednocześnie koszt urządzeń tego rozwiązania prawdopodobnie będzie wyższy lub porównywalny do poprzedniego, co więcej będą wymagane dodatkowe badania przekazu.

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały przeprowadzone pod opieką mgr Pawła Błaszczyka oraz dr Krzysztofa Rafała, dzięki współpracy z Krzysztofem Setlakiem i Krzysztofem Wiśniewskim oraz dzięki pomocy pracowników ITC. Finansowanie urządzeń pomiarowych odbyło się z grantu.

LITERATURA

- [1] <http://ccm.net/contents/126-introduction-to-power-line-communications-plc>,
[dostęp 10 czerwca 2015 r., 22.00]
- [2] Instrukcja obsługi konwertera TP – LINK: TL-PA411 EU_V2_Datasheet
- [3] Instrukcja obsługi konwertera ZyXEL user_guide+PLA4201+v2_v1
- [4] <http://www.incentre.net/tech-support/other-support/ethernet-cable-color-coding-diagram/>,
[dostęp 10 czerwca 2015 r., 22.00]

10.