

Modernizacja sieci hybrydowej HFC w kierunku sieci całkowicie optycznej

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienie dotyczące modernizacji sieci kablowej zbudowanej w technologii hybrydowej HFC w kierunku sieci całkowicie optycznej. Autor przedstawił jedną z możliwych ścieżek modernizacji sieci kablowej przy założeniu rozłożenia procesu modernizacji sieci na etapy. W podsumowaniu zestawiono podstawowe parametry funkcjonalne modernizowanych sieci dla kolejnych etapów przebudowy.

Abstract. The article discusses the issue concerning the modernization of the cable network technology built into the HFC optical network. The author presents one of the possible paths of modernization cable network assuming distribution network modernization process steps. The summary lists the basic parameters of the functional network upgraded for the subsequent stages of reconstruction. (**Modernization of the HFC networks towards all optical networks**).

Słowa kluczowe: sieci dostępowe następnej generacji, hybrydowe sieci TVK, sieci RFoG, modernizacja sieci dostępowej

Keywords: next generation access networks, hybrid CATV networks, RFoG networks, access network update

doi:10.12915/pe.2014.06.43

Wstęp

Sieci dostępowe w standardach HFC (*Hybrid Fiber Coax*) i FTTH (*Fiber to the Home*) są uważane za główne technologie sieci przewodowych na których będą oparte sieci dostępowe następnej generacji NGAN (*Next Generation Access Networks*) [1,2]. Główną przyczyną takiej klasyfikacji jest ich duża pojemność informacyjna, znaczny zasięg i niezawodność. Dla sieci klasy NGN przyjmuje się, że w warstwie dostępu należy dostarczyć pasmo transmisyjne wynoszące minimum 50Mb/s na pojedynczego abonenta z niewielkim opóźnieniem i jego fluktuacją. Aby dostarczyć takie pasmo nie wystarczy zmienić sposobów transmisji sygnału (zastosowanie bardziej efektywnych modulacji i korekcji błędów). Konieczna staje się modyfikacja struktury fizycznej sieci obejmującej okablowanie, topologię w tym lokalizację węzłów dostępowych. Modernizację sieci dostępowej i uwalnianie pasma transmisyjnego, powinny następować stopniowo, co z jednej strony spowoduje zatrzymanie lub pozyskanie nowych klientów, a z drugiej strony zapewni właściwą proporcję kosztów inwestycji do uzyskiwanych efektów.

Obecnie eksploatowane sieci telewizji kablowej wykonane są w technologii HFC łączącej zalety światłowodów jednomodowych i miedzianych kabli współosiowych. W sieciach tych dostarcza się usług telewizji programowej, telewizji na życzenie, dostępu do Internetu i telefonii VoIP [3,4]. Rosnące wymagania abonentów, co do szybkości i jakości transmisji, rozwój konkurencyjnych metod dostarczania usług dostępowych, a w szczególności rozwój usług wideo w pakietach IP (*IP video streaming*) i telewizji wysokiej rozdzielczości HDTV powoduje, że dla zachowania konkurencyjności konieczne stają się modernizacje nie tylko sposobów transmisji sygnałów danych w sieci kablowej (rozwój standardów DOCSIS/EuroDOCSIS i DVB), ale przede wszystkim modernizacja infrastruktury i topologii sieci kablowej.

W niniejszej publikacji autor spróbuje przedstawić i uzasadnić kolejne kroki modernizacji architektury fizycznej sieci kablowej z podaniem podstawowych parametrów odniesienia pozwalających sprecyzować efekty modernizacji. Parametry jakościowe toru oraz szacowane przepustowości dla kolejnych etapów modernizacji zawarto w zbiorczej tabeli 1. Ilustracją do rozważań stanowią celowo uproszczone schematy sieci telewizji kablowej dla kolejnych etapów modernizacji, tak aby uwypuklić zmiany dokonywane w sieci dostępowej. Dla wyróżnienia elementy

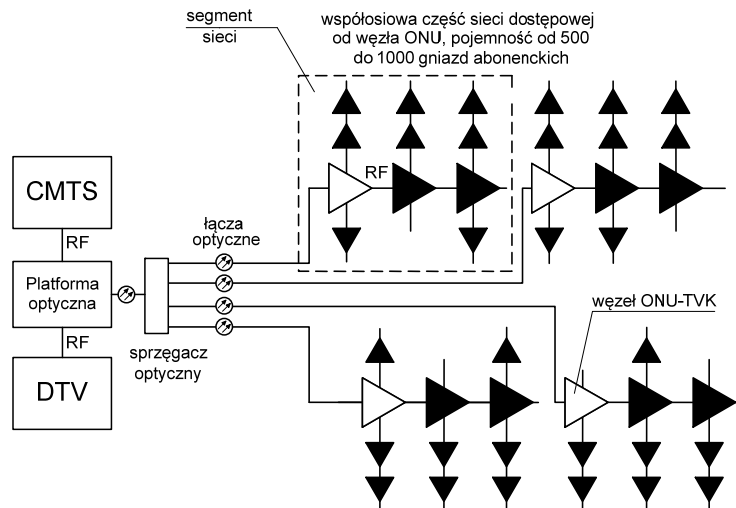
sieci współosiowej pokazano na rysunkach z wypełnieniem czarnym.

Podstawowe założenia modernizacji sieci telewizji kablowej

- 1) Pozostawienie sposobu dostarczania usług rozsyłanych telewizji programowej na długości fali optycznej 1550nm z wykorzystaniem analogowej modulacji lasera. Kanały telewizyjne są dostarczane za pomocą modulacji analogowej lasera półprzewodnikowego, gdzie sygnałem modulującym są zsumowane kanały telewizji DVB-C lub DVB/C2 wraz z kanałami systemu transmisji danych w standardzie DOCSIS 2.0/3.0,
- 2) Wykorzystanie w maksymalnym stopniu istniejącej infrastruktury kabli światłowodowych.
- 3) Pozostawienie dla grupy klientów indywidualnych, w pierwszych etapach modernizacji, części abonenckiej sieci jako sieci współosiowej, ze względu na obiektywnie trudną i kosztowną wymianę tego odcinka sieci na kable światłowodowe.
- 4) W przypadku nowych inwestycji najbardziej efektywna jest budowa sieci dostępowej całkowicie optycznej w technologii PON (*Passive Optical Network*) z podziałem 1:32 lub 1:64.
- 5) Kompatybilność systemowa wstecz w zakresie urządzeń stacji czołowej i urządzeń abonenckich.
- 6) Zmniejszenie ilości urządzeń/abonentów korzystających z tych samych kanałów transmisyjnych.
- 7) Podział na grupy abonentów korzystających z usług symetrycznej i asymetrycznej transmisji danych (klienci indywidualni i biznesowi).
- 8) Wprowadzenie transmisji zgodnej ze standardem GPON/GEPON/XG-PON dla klientów wymagających szybkiej transmisji o przepływności symetrycznej, głównie klientów biznesowych.

Pierwszy etap modernizacji - podział sieci współosiowej segmenty o mniejszej ilości gniazd

Obecnie wszystkie nowobudowane oraz modernizowane sieci telewizji kablowej są wykonane w technice HFC (rys.1) [5]. Można więc stwierdzić, że pierwszy etap modernizacji sieci TVK polegający na segmentacji sieci współosiowej i łączeniu segmentów sieci ze stacją czołową za pomocą łączy światłowodowych, mamy już często za sobą. System TVK w standardzie HFC ma dwa pasma transmisyjne: tor dosyłowy o paśmie 87,5-862 MHz i tor zwrotny o paśmie 5-65 MHz.



Rys.1. Schemat ideowy typowej sieci zbudowanej w technologii HFC

Istotnym parametrem takiej sieci jest liczba abonentów przypadająca na jeden węzeł optyczny [6], co łącznie ze sposobem rozdziału sygnału po stronie optycznej, przekłada się na liczbę abonentów korzystających wspólnie z dostępnego pasma transmisyjnego. Obecnie najczęściej liczba ta mieści się w zakresie od 500 do 2000 gniazd abonenckich.

Uproszczony schemat ideowy sieci tego typu przedstawiono na rysunku 1 (liczba abonentów w segmencie wynosi 500, liczba abonentów korzystających ze wspólnego pasma transmisyjnego wynosi 2000). W praktycznych systemach ze stacji czołowej zasilane jest kilka a nawet kilkadziesiąt węzłów optycznych ONU-TVK (*Optical Network Unit*), które zamieniają sygnał optyczny na elektryczny w kierunku dosyłowym i elektryczny na optyczny w kierunku zwrotnym. Transmisja pomiędzy stacją czołową i węzłami ONU-TVK odbywa się po typowych włóknach jednomodowych. W zależności od potrzeby sygnał optyczny może być dzielony przy użyciu sprzęgaczy optycznych. Źródłem sygnału dla telewizji programowej i dedykowanych kanałów TV jest stacja czołowa TVK (DTV) współpracująca po stronie abonenckiej z urządzeniem typu STB (*Set Top Box*), które demoduluje i dekoduje sygnał telewizji cyfrowej DVB-C/C2. Natomiast kontroler modemów kablowych CMTS (*Cable Modem Termination System*) odpowiada za dostarczenie usługi dostępu do Internetu i telefonii VoIP i współpracuje z grupą abonenckich modemów kablowych. Obecnie najczęściej stosowaną modulacją w paśmie dosyłowym jest modulacja 256-QAM na pojedynczej nośnej (sygnały EuroDOSCIS 2.0, 3.0 i DVB-C). Odstęp między kanałami częstotliwościowymi wynosi 8 MHz. W torze dosyłowym mamy więc do wykorzystania 96 częstotliwościowych kanałów transmisyjnych z których większość, zwykle około 60 jest wykorzystywana na dostarczanie telewizji programowej.

W praktycznych systemach łączna przepustowość łącza dosyłowego systemu transmisji danych na segment lub grupę segmentów zasilanych ze wspólnego nadajnika optycznego wynosi około 2 Gb/s (55,6 Mb/s x 36 kanałów).

Wąskim gardłem systemu jest również tor zwrotny, który realizowany jest w paśmie od 5 do 65 MHz. W paśmie zwrotnym najczęściej wykorzystywana jest modulacja 64-QAM na pojedynczej nośnej transmitowana w kanałach o szerokości 3,2 MHz. Łączna przepływność brutto kanałów zwrotnych zwykle nie przekracza 275 Mb/s (15,3 x 18

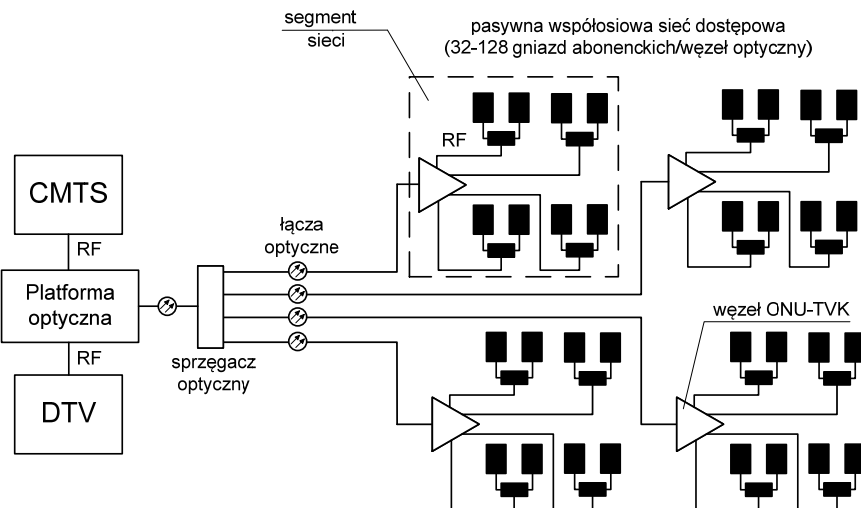
kanałów) na segment lub grupę segmentów włączonych do wspólnego odbiornika optycznego w stacji czołowej.

W części optycznej transmisja do abonentów odbywa się na długości fali 1550 nm a w torze zwrotnym na długości fali 1310 nm.

Drugi etap modernizacji – pasywa część współosiowa sieci HFC

W celu zwiększenia dostępnego pasma transmisyjnego przypadającego na abonentów należy w pierwszej kolejności rozbudować sieć optyczną tak by zmniejszyć liczbę abonentów przypadającą na węzeł optyczny [6,7]. Rozbudowa sieci optycznej polega na zwiększeniu ilości dostępnych włókien i łącz optycznych i fizycznym „zblizeniu” sieci optycznej do abonentów (architektura *deep fiber* – rozbudowa sieci optycznej w kierunku do abonentów) oraz zwiększeniu ilości nadajników i odbiorników optycznych w węzłach dystrybucyjnym i dostępnych proporcjonalnie do głębokości segmentacji sieci współosiowej. Wraz ze zmniejszeniem liczby abonentów w segmencie sieci współosiowej polepszają się warunki transmisji mierzone stosunkiem sygnału do szumu i zakłóceń, co pozwala na zastosowanie bardziej wydajnych sposobów transmisji z mniejszą stopą błędów. Docelowym układem w drugim etapie modernizacji sieci jest utworzenie segmentu sieci współosiowej tylko z elementów pasywnych (kable, rozgałęźniki i odgałęźniki) i zmniejszenie ilości gniazd abonenckich włączonych po sieci współosiowej do węzła ONU-TVK do maksimum 128. Docelową strukturę sieci dla drugiego etapu modernizacji pokazano na rys. 2.

Wprowadzenie takiej struktury wymaga inwestycji w rozbudowę sieci optycznej i rozbudowę liczby dostępnych portów w kontrolerze CMTS. Należy tak zaplanować ilość dostępnych włókien optycznych na drodze między stacją czołową a węzłami optycznymi ONU, aby była możliwość dedykowanej transmisji optycznej po jednym włóknie do każdego węzła ONU lub niewielkiej grupy węzłów ONU (2-4). Inwestycja skutkuje zwiększeniem dostępnego pasma transmisyjnego od 4 do 8 razy w stosunku do etapu pierwszego. Rozwiązanie takie jest także korzystne z punktu widzenia kosztów utrzymania sieci i jej niezawodności, dzięki wyeliminowaniu współosiowych wzmacniaczy szerokopasmowych. Zmniejszenie rozpiętości sieci współosiowej powoduje polepszenie warunków transmisji mierzonych odstępem nośnej od szumów i zakłóceń o kilka dB w stosunku do etapu 1. Dokładne rozważania na ten temat można znaleźć w publikacji [6 i 7].



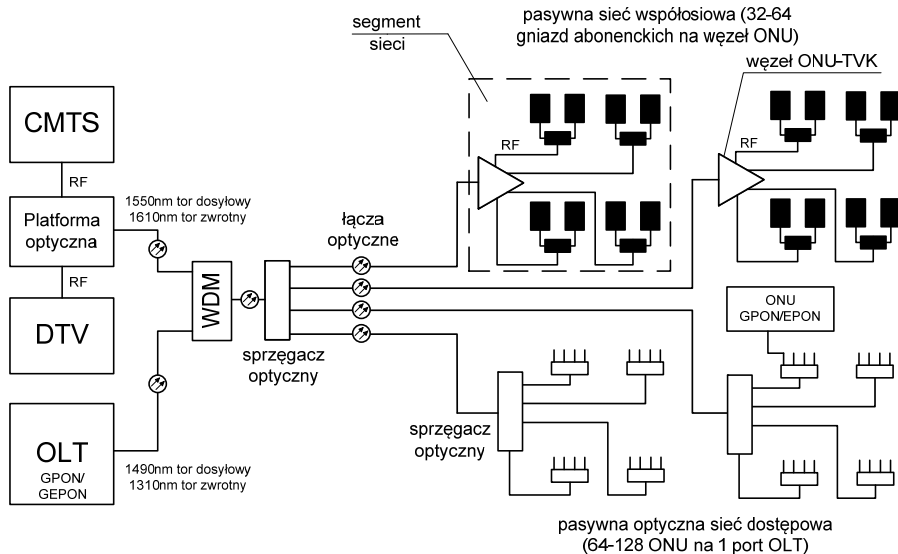
Rys.2. Schemat ideowy sieci zbudowanej w technologii HFC z pasywną częścią współosiową

Trzeci etap modernizacji, w pełni optyczna sieć dostępową dla wybranych abonentów

Kolejnym etapem modernizacji jest udostępnienie w sieci kablowej w pełni optycznej sieci dostępowej z wykorzystaniem transmisji zgodnej za standardem GPON (*Gigabit-capable Passive Optical Networks*) [8,9] dla wybranej grupy abonentów np. abonentów biznesowych potrzebujących dużej prędkości transmisji w obu kierunkach. W ten sposób eliminujemy wąskie gardło systemu TVK bowiem uzyskanie dużej przepływności toru zwrotnego w standardowym systemie TVK nie jest obecnie możliwe. Grupowanie abonentów korzystających z urządzeń GPON może się odbywać na stosunkowo dużym obszarze (kilka km) ze względu na niewielki wpływ tłumienia włókien optycznych w stosunku do tłumienia elementów biernych. Strukturę sieci kablowej dla trzeciego etapu modernizacji pokazano na rysunku 3. Na tym etapie modernizacji zachodzi konieczność grupowania abonentów o podobnych wymaganiach i wymiany instalacji abonenckiej na kable światłowodowe dla wybranych abonentów. Inwestycja powinna uwzględniać docelowy układ sieci.

Elementem umożliwiającym wspólną pracę systemów TVK/EuroDOCSIS oraz GPON jest multiplexer falowy WDM (*Wavelength Division Multiplexer*), który pozwala na równoległą transmisję na czterech długości fali na pojedynczym włóknie łączącym stację czołową z optyczną siecią dostępową. Dosyłanie usług telewizji programowej i kanałów EuroDOCSIS odbywa się na fali optycznej o długości 1550nm, a usług z węzła sieciowego OLT (*Optical Line Terminal*) odbywa się z na długości fali 1490nm, tor zwrotny dla transmisji EuroDOCSIS przesyłany jest na długości fali 1610nm, a tor zwrotny do OLT GPON realizowany jest na fali 1310nm. Dla segmentu sieci TVK w której chcemy używać dwóch sposobów transmisji konieczna jest wymiana nadajników toru zwrotnego w węzłach ONU-TVK, na takie które transmitują na długości fali 1610nm w miejsce typowego rozwiązania stosowanego wcześniej na fali 1310nm.

W części sieci dostępowej całkowicie optycznej realizację usług związanych z dostępem do Internetu przejmują urządzenia standardu GPON lub GEAPON z dosyłem telewizji programowej na fali 1550nm.



Rys.3. Schemat ideowy sieci kablowej HFC z pasywną częścią współosiową i GPON

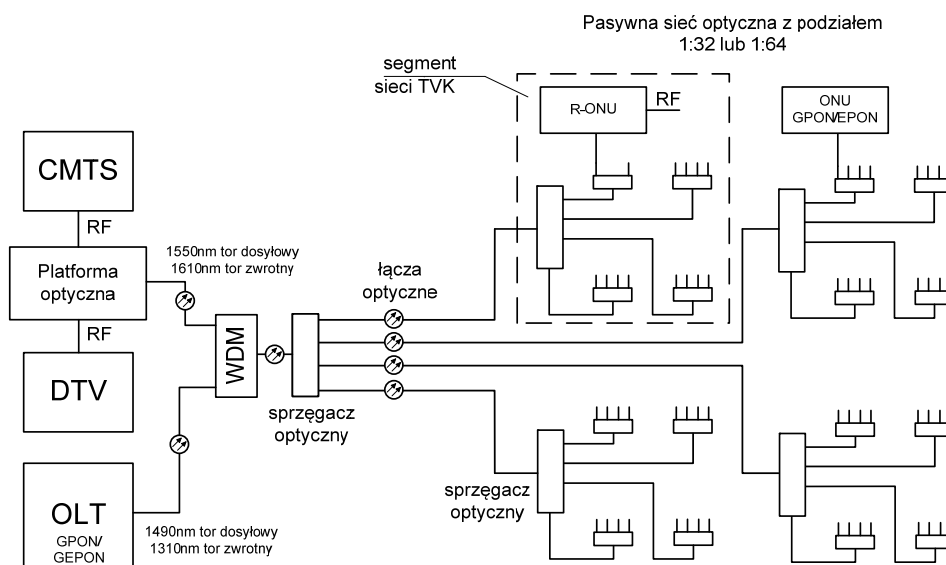
Czwarty etap modernizacji w pełni optyczna sieć dostępową

Strukturę sieci kablowej dla czwartego, docelowego etapu modernizacji pokazano na rys. 4. Struktura ta ma zastosowanie dla wszystkich nowych inwestycji oraz dla modernizacji sieci obejmujących również instalacje abonenckie. W sieci całkowicie optycznej mamy do wyboru dwa rozwiązania dostarczania usług. Pierwsze to stosowanie urządzeń dedykowanych do zastosowania w pasywnych sieciach optycznych zgodnych ze standardem GPON/GEAPON/XG-PON lub alternatywnie stosowanie urządzeń pośredniczących za pomocą pasywnej sieci optycznej w przekazywaniu sygnału RF tak zwanych R-ONU (*Radio Frequency over Glass ONU*) [10] Węzły optyczne R-ONU są węzłami dwukierunkowymi.

Ideą zastosowania urządzeń R-ONU jest umożliwienie korzystania w dalszym ciągu, mimo modernizacji sieci, z urządzeń pracujących w typowej sieci HFC jak modemy kablowe czy przystawki STB po stronie abonenckiej oraz

dotychczasowych urządzeń stacji czołowej (np. kontroler modemów kablowych CMTS, systemy dostępu warunkowego i inne). Czynnikiem determinującym wybór sposobu dostarczenia usług jest zapotrzebowanie danego klienta na pasmo transmisyjne dla obu kierunków transmisji. W stosunku do etapu trzeciego modernizacji ulega część sieci dotychczas realizowana po kablach współosiowych. W miejsce dawnych węzłów ONU powstaje rozbudowana pasywna sieć optyczna złożona z kabli i sprzęgaczy optycznych.

Zgodnie ze specyfikacją SCTE 174 2010 [10] maksymalny podział sygnału optycznego w systemie RFoG wynosi 1:32. Praktyczne urządzenia, które są już dzisiaj dostępne komercyjnie, pozwalają na pracę z podziałem 1:64, co pozwala utworzyć segmenty sieci o większej ilości gniazd abonenckich. W związku ze zmniejszoną pojemnością segmentu sieci konieczne jest również proporcjonalne zwiększenie ilości dostępnych włókien na trasie od stacji czołowej do sieci abonenckiej.



Rys.4. Schemat ideowy sieci telewizyjnej w standardzie RFoG i GPON

Tabela 1 Zestawienie parametrów sieci dostępowych dla kolejnych etapów modernizacji

Podstawowe parametry sieci dostępowej	Etap modernizacji sieci kablowej			
	1 – HFC z aktywną częścią współosiową (rys.1)	2 – HFC z pasywną częścią współosiową (rys.2)	3- HFC z pasywną częścią współosiową + GPON (rys.3)	4 – RFoG i GPON/XG-PON (rys.4)
Maksymalne straty w łączu optycznym	18dB	18dB	18dB dla HFC 28dB dla GPON	25dB dla RFoG 28dB dla GPON 28dB dla XG-PON
Typowy zasięg sieci	20 km	20 km	20 km	20 km
Przepustowość na segment w kierunku dosyłowym	2,002 Gb/s	2,002 Gb/s	2,002 Gb/s dla HFC 2,488 Gb/s dla GPON	2,002 Gb/s dla RFoG 2,488 Gb/s dla GPON 9,953 Gb/s dla XG-PON
Przepustowość na segment w kierunku zwrotnym	275Mb/s	275Mb/s	275Mb/s dla HFC 1,244 Gb/s dla GPON	275Mb/s dla RFoG 1,244 Gb/s dla GPON 2,488 Gb/s dla XG-PON
Ilość gniazd abonenckich na segment/ korzystających ze wspólnego pasma	500/2000	128/512	64/256 dla HFC 128 dla GPON	32 dla RFoG 64 dla GPON 64 dla XG-PON
Przepustowość na abonenta w kierunku dosyłowym	1Mb/s	3,9Mb/s	7,8Mb/s dla HFC 19,4 Mb/s dla GPON	62,5Mb/s dla RFoG 38,8Mb/s dla GPON 155,5Mb/s dla XG-PON
Przepustowość na abonenta w kierunku zwrotnym	0,14Mb/s	0,54Mb/s	1,07Mb/s 9,72Mb/s	8,6Mb/s dla RFoG 19,45Mb/s dla GPON 38,8 Mb/s dla XG-PON

5. Podsumowanie

W publikacji zaprezentowano jedną z wielu możliwych ścieżek modernizacji dostępowej sieci hybrydowej HFC w kierunku sieci w pełni optycznych zakładającą podział inwestycji na etapy. Równoległe do modernizacji infrastruktury fizycznej i zmiany topologii sieci będą zachodziły zmiany w wyposażeniu sprzętowym. Chodzi tu głównie o wprowadzenie urządzeń zgodnych ze specyfikacją DVB-C2 i DOCSIS 3.1 [11,12] pozwalających na zwiększenie efektywności wykorzystania pasma transmisyjnego nawet o 50% w stosunku do obecnie wykorzystywanych standardów DVB-C i DOCSIS 2.0/3.0.

W tabeli 1 podano szacunkowe przepływności sygnału transmisji danych brutto dla omawianych wcześniej etapów modernizacji sieci kablowej. Jak można łatwo zaobserwować dopiero wdrożenie w pełni optycznej sieci dostępowej pozwala na spełnienie warunku dostarczania do abonenta pasma powyżej 50Mb/s. Istotą modernizacji sieci hybrydowej HFC jest dążenie do realizacji w pełni optycznej pasywnej sieci dostępowej. W kolejnych etapach modernizacji konieczne jest zwiększenie ilości włókien optycznych na odcinku pomiędzy stacją czołową a siecią abonencką. Podstawowym efektem przebudowy jest zmniejszenie ilości abonentów korzystających z tego samego pasma transmisyjnego. Dodatkowym, również pożądanym efektem modernizacji sieci jest zwiększenie niezawodności sieci kablowej przez eliminację urządzeń aktywnych, a także poprawa warunków transmisji mierzonej odstępem sygnału od szumu i interferencji.

Po realizacji czwartego etapu modernizacji sieci kablowe realizowane w technice RFoG stanowią realną konkurencję dla sieci GPON, przy zbliżonym poziomie kosztów. Możliwe jest także dostarczanie równoległe transmisji w standardzie RFoG z techniką GPON lub XG-PON przy zastosowaniu odpowiedniego multipleksera falowego WDM i filtrów optycznych na wejściach R-ONU.

Na koniec należy przypomnieć, że przewodowe sieci dostępne wykonane w technice HFC/EuroDOCSIS są obecnie drugim po technikach DSL sposobem realizacji dostępu do Internetu w Polsce. Modernizacja sieci HFC jest konieczna w celu zapewnienia konkurencyjności sieci telewizji kablowej z innymi typami sieci dostępowej a w

szczegółności GPON i XG-PON. Migracja sieci dostępowej HFC do sieci w pełni optycznych wydaje się w najbliższej przyszłości nieunikniona.

LITERATURA

- [1] Martín A., Coomonte R., Feijóo C., Which could be the role of Hybrid Fibre Coax in Next Generation Access Networks?, *CTTE 2011*, 16-18 May, 2011, Berlin, Germany
- [2] Hajduczenia M., Da Silva H., Next generation PON systems - Current status, *11th International Conference on Transparent Optical Networks, 2009. ICTON '09*, June 28 2009-July 2 2009
- [3] Modelski, J. Keller, T. Dąbrowski, M., Kierunki rozwoju multimedialnych sieci HFC, *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*, 2011, Tom nr 8-9, s. 713-719
- [4] Buchowicz A., Bugalski M., Keller T., Modelski J. Muzalewski M., Skarbek W., Kierunki rozwoju sieci telewizji kablowej, *Przegląd telekomunikacyjny i Wiadomości telekomunikacyjne*, R.81 (2008), nr 4, s.153-159
- [5] Ki-Chang L., Proposing Fiber Feedforward Coaxial Cascade HFC Networks, *IEEE Transactions on Communications*, vol. 59, no.7, pp. 1927-1933, July 2011
- [6] Królikowski R., HFC network return path data capacity, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 9a, 247- 249
- [7] Królikowski R., HFC network return path performance modeling, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 8, 248-252
- [8] ITU-T Recommendation G.984.2 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification
- [9] ITU-T Recommendation G.984.2 New Appendix III – Industry best practice for 2.488 Gbit/s downstream, 1.244 Gbit/s upstream G-PON
- [10] SCTE 174 2010, Radio Frequency over Glass Fiber-to-the-Home Specification
- [11] ETSI EN 302 769 V1.2.1 (2011-04), Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)
- [12] CM-SP-PHYv3.1-I01-131029, Data Over Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.1, Physical Layer Specification

Autor: dr inż. Rafał Królikowski, Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, ul. Janiszewskiego 7/9, 50-372 Wrocław, E-mail: rafal.krolikowski@pwr.wroc.pl