Autoreferat

I. Imię i nazwisko

Patryk Urban

II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

2009/11/16, Doktor, Wydz. Elektryczny, Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), Eindhoven, Holandia, praca dypl. „Dynamically Reconfigurable Optical Access Network”[1] [1]

2004/09/27, Międzywydziałowe Studium Kształcenia Pedagogicznego, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin, Studia Podyplomowe w zakresie Pedagogiki

2004/09/13, Magister Inżynier, Wydz. Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny (ZUT)[2], praca dypl. „Solitony Fotorefrakcyjne – Rodzaje, Właściwości i Perspektywy Zastosowań” [2]

III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 2010/02/01, Starszy Inżynier Badań[3], Ericsson Research, Ericsson AB, Sztokholm, Szwecja
2009/11/30-2010/02/01, Prac. Naukowy, Staż podoktorski, Scuola Superiore Sant'Anna[4], Piza, Włochy
2005/05/02-2009/06/30, Prac. Naukowy, Doktorant, TU/e, Holandia
2004/10/01-2005/05/01, Asystent, Doktorant, ZUT, Szczecin
2003/10/01-2004/06/30, Asystent, ZUT, Szczecin

IV. Osiągnięcie naukowe wynikające z *art. 16 ust. 2 ustawy z dn. 2003/03/14 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dziennik Ustaw Nr 65, poz. 595, z późniejszymi zmianami)*

a. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym opracowanym po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, stanowiącym znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej Nauk Technicznych w dziedzinie Telekomunikacja i zgłaszanym jako podstawa wniosku o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, jest monotematyczny zestaw recenzowanych publikacji w czasopismach naukowych oraz udzielone patenty pod zbiorczym tytułem **„Detekcja Usterek Światłowodów w Optycznych Sieciach Dostępowych”**. W dorobku objętym wnioskiem habilitacyjnym znajdują się prace na temat technik monitorowania pasywnych sieci optycznych, w tym przede wszystkim technik, które zostały opracowane w laboratoriach Ericsson Research i technik, których pomysłodawcą był habilitant a ich realizację nadzorował w laboratoriach uczelni współpracujących z Ericsson Research[5].

[1] Tłum. „Dynamicznie Rekonfigurowalna Optyczna Sieć Dostępowa”.
[2] ZUT powstał w wyniku połączenia Politechniki Szczecińskiej oraz Akademii Rolniczej w Szczecinie, 2009/01/01.
[3] 2010/02-2010/12 – Inż. Badań; 2011/01-2013/06 – Doświadczony Inż. Badań; od 2013/06 – Starszy Inż. Badań.
[4] Partner w National Inter-University Consortium for Telecommunications, CNIT.
[5] Praca naukowa obejmująca cały okres po obronionym doktoracie do chwili złożenia wniosku habilitacyjnego dotyczy pasywnych sieci optycznych dla zastosowań w sieciach następnej generacji w tym sieci stałego dostępu oraz części transportowej w sieciach mobilnych.

b. Wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego[6]

Publikacje naukowe:

i. **P. J. Urban**, G. Vall-llosera, E. Medeiros, S. Dahlfort, „Fiber Plant Manager: an Optical Time Domain Reflectometry- and Optical Transceiver Monitoring-based Passive Optical Network Monitoring System", IEEE Communications Magazine, luty 2013, nr 2, tom 51, str. 9-15

ii. G. P. Temporão, G. V. de Faria, J. P. von der Weid, **P. J. Urban**, „Feasibility of Centralized Passive Optical Network Monitoring using Passive Optical Network-tuned Optical Time Domain Reflectometry", Taylor & Francis Group, LLC, Fiber and Integrated Optics, marzec 2013, nr 2, tom 32, str. 117–130

iii. **P. J. Urban**, A. Getaneh, J. P. von der Weid, G. P. Temporão, G. Vall-llosera, J. Chen, „Detection of Fiber Faults in Passive Optical Networks", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, listopad 2013, nr 11, tom 5, str. 1111-1121[7]

iv. G. P. Temporão, G. V. de Faria, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „OTDR Reach Extension for Monitoring of High-Loss Optical Links", Wiley Microwave and Optical Technology Letters, kwiecień 2014, nr 4, tom 56, str. 974-977

v. G. C. Amaral, L. E. Y. Herrera, D. Vitoreti, G. P. Temporão, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „WDM-PON Monitoring with Tuneable Photon Counting OTDR", IEEE Photonics Technology Letters, maj 2014, nr 13, tom 26, str. 1279-1282

vi. D. C. Villafani, R. P. Almeida, **P. J. Urban**, J. C. W. A. Costa, J. P. von der Weid, J. Chen, „SCM/WDM-PON with In-Service Baseband Embedded OTDR Monitoring", Elsevier Optics Communications, grudzień 2015, tom 356, str. 250-255

vii. G. C. Amaral, J. D. Garcia, L. E. Y. Herrera, G. P. Temporão, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „Automatic Fault Detection in WDM-PON with Tunable Photon Counting OTDR", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, grudzień 2015, nr 24, tom 33, str. 5025-5031

viii. **P. J. Urban**, G. C. Amaral, J. P. von der Weid, „Fiber Monitoring using a Subcarrier Band in a Subcarrier Multiplexed Radio-over-Fiber Transmission System for Applications in Analog Mobile Fronthaul", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, lipiec 2016, nr 13, tom 34, str. 3118-3125

ix. G. C. Amaral, L. E. Y. Herrera, M. M. Resende, G. P. Temporão, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „Time-Polarization Multiplexing for Increased Output Power of Semiconductor Optical Amplifiers in Pulsed Regime", OSA Applied Optics, październik 2016, nr 28, tom 55, str. 7878-7884

x. D. C. Villafani, L. E. Y. Herrera, G. C. Amaral, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „Experimental Demonstration of SCM-PON Monitoring with Baseband Embedded OTDR", Taylor & Francis Group, LLC, Fiber and Integrated Optics, styczeń 2017, nr 1-2, tom 36, str. 59-67

xi. G. C. Amaral, A. Baldivieso, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „Single-Ended In-Service Hybrid Monitoring of Fiber-Extended Copper Lines", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, marzec 2017, nr 3, tom 9, str. 198-206

xii. G. C. Amaral, D. C. Villafani, A. Baldivieso, J. D. Garcia, R. G. Leibel, L. E. Y. Herrera, **P. J. Urban**, J. P. von der Weid, „A Low-Frequency Tone Sweep Method for in-Service Fault Location in Sub-Carrier Multiplexed Optical Fiber Networks", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, lipiec 2016, nr 10, tom 35, str. 1558-2213, (DOI 10.1109/JLT.2017.2678984)

[6] Wg. daty publikacji.

[7] Artykuł został umieszczony na liście Top Downloads czasopisma IEEE/OSA JOCN w raporcie z listopada 2013r.

Udzielone patenty[8] [9]:

i. **P. J. Urban**, „Optical Time Domain Reflectometer Trace Analysis in Passive Optical Network Systems", 2014/05/13, US8724102 (pierwszy udzielony patent), GB2656515, NL2656515, DE602010022372.8, EP2656515

ii. **P. J. Urban**, M. Cen, „Supervision of Wavelength Division Multiplexed Optical Networks", 2015/04/14, US9008503 (pierwszy udzielony patent), FR2689543, GB2689543, DE602011021728.3, RU2557557, AU2011363087, EP2689543

iii. **P. J. Urban**, J. Chen, „Arrangement at a Remote Node, a Remote Node, a Central Office and Respective Methods therein for Supervision of a Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network", 2015/04/28, US9020349 (pierwszy udzielony patent), GB2832018, DE602012018564.3, EP2832018

iv. **P. J. Urban**, G. Vall-llosera, „Passive Optical Network Supervision using Optical Time Domain Reflectometer Measurements", 2015/05/27, EP2719094B1 (pierwszy udzielony patent), GB2719094, NL2719094, DE602011016804.5, US9287971

v. G. Vall-llosera, **P. J. Urban**, L. Giorgi, „Optical Transceiver Monitoring Functionality in Semiconductor Optical Amplifier Based Transceivers", 2015/07/21, US9088838B2

vi. **P. J. Urban**, G. Vall-llosera, „Methods and Apparatuses for Supervision of Optical Networks", 2015/11/04, DE602011021245.1 (pierwszy udzielony patent), GB2748949, EP2748949, US9231696

vii. **P. J. Urban**, „Optical Time Domain Reflectometer Trace Analysis in Passive Optical Network Systems", 2016/03/08, US9281892

viii. **P. J. Urban**, J. Chen, „Routing in a Wavevelength Division Multiplexing-based Passive Optical Network", 2017/01/10, US9544669

c. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Jednym z argumentów przemawiających za rozwojem szerokopasmowego dostępu do sieci jest ogrom danych, jakie w łączach tzw. „ostatniej mili" tworzących obszar sieci dostępowych, generuje rosnąca liczba użytkowników internetu [1, 3, 4].

Z danych opublikowanych przez badaczy z Instytutu ACREO w Sztokholmie [5] wynika, że przeciętny szwedzki internauta miesięcznie pobierał przez łącze 1 Mb/s prawie 13 GB danych w 2011r., co w przeliczeniu dało koszt ponad 5 PLN za 1 GB danych. Dla usługi 100 Mb/s wyniki były odpowiednio 183 GB i nieco ponad 1 PLN za 1 GB danych. Statystycznie użytkownicy łączy 1 Mb/s przez 3 % czasu swojej aktywności w sieci wykorzystują całe dostępne pasmo. W takim samym czasie, tj. 3 % czasu swojej aktywności w sieci, użytkownicy łączy 100 Mb/s wykorzystują zaledwie 5 % dostępnego pasma. W Szwecji – kraju od lat obecnym w czołówkach statystyk opisujących rozwój dostępu szerokopasmowego [6] – taki wynik może zniechęcać operatorów telekomunikacyjnych do dalszych inwestycji w sieci światłowodowe. Należy jednak wyjaśnić, że opisane badania dotyczą ówczesnego wykorzystania łączy i nie obejmują stopniowo wkraczających nowych usług sieciowych, które w przyszłości zdominują zapotrzebowanie na pasmo, np. internetowa telewizja o wysokiej rozdzielczości[10]

[8] Kolejne aplikacje patentowe dot. tematu osiągnięcia naukowego zostały zgłoszone w latach 2012-2016; w dniu złożenia wniosku habilitacyjnego ich procedura trwa.

[9] Dla przejrzystości wniosku habilitacyjnego załączone zostały tylko kopie patentów udzielonych w USA jako dokumenty reprezentatywne dla danej rodziny patentów udzielonych w wielu krajach.

[10] Ang. *High Definition TV*, HDTV. Dzisiejsze zapotrzebowanie na SDTV (ang. *Standard Definition Television*) to 2 Mb/s na kanał, podczas gdy jeden kanał HDTV potrzebuje 10 Mb/s, a jeden kanał LSDI (ang. *Large Screen Digital Imagery*, według

dostępna m. in. w ramach kanałów oferujących treści na żądanie[11] [1, 7], Tabela 1. Mechanizm napędzający rozwój szerokopasmowego dostępu do internetu można określić mianem błędnego koła, w którym rozrastanie się dostępnego pasma pozwala na zakup przez konsumenta kolejnych odbiorników usług sieciowych, co w efekcie powoduje wzrost zapotrzebowania na pasmo [1]. Według [8] 20 % operatorów telekomunikacyjnych planuje zaoferować 1 Gb/s swoim prywatnym klientom w 2016r., a do 2018r. taką ofertę przewiduje ponad połowa ankietowanych operatorów. Tym samym przewiduje się, że w 2017r. łącza dostępowe oparte o technologie światłowodowe będą stanowić 43 % (57 % - łącza miedziane) wszystkich łączy stałych, co w porównaniu z 2015r. ustanowi ogromny wzrost z poziomu 26 % (74 % - łącza miedziane).

Za inwestycjami w rozwój szerokopasmowego internetu przemawiają również wnioski z równoległych badań przeprowadzonych przez ten sam instytut, gdzie poddano analizie wpływ penetracji optycznych sieci dostępowych na rozwój społeczeństwa informacyjnego w Szwecji [9]. Okazało się, że dostęp do takich łączy przekłada się na wzrost populacji ludności zamieszkującej dany obszar, lokalny spadek bezrobocia oraz oszczędności w wydatkach związanych z administracją poprzez wirtualizację urzędów i usług. Warunkiem koniecznym do rozwoju takiego społeczeństwa i e-demokracji, tj. demokracji wspieranej przez nowe technologie informacyjne, jest nie tylko rozległa infrastruktura teleinformatyczna oraz szeroki, powszechny i tani dostęp do internetu i zawartych w nim treści, ale również nieskrępowany dostęp do sieci dla wszystkich operatorów i usługodawców[12] [10]. Jest to bezpośrednio związane z wysokim poziomem nakładów finansowych na wdrożenia oraz wieloaspektowe badania i rozwój w telekomunikacji[13]. W celu zapewnienia wyrównanego poziomu gospodarczego wzorem wysoko rozwiniętych krajów skandynawskich i zachodnio-europejskich, kraje Europy Środkowej i Wschodniej powinny starać się zmniejszać lukę teleinformatyczną powstałą w okresie zimnowojennym [10] oraz przeciwdziałać luce wynikającej z aktualnie postępującego ekonomicznego rozwarstwiania się społeczeństwa w skali globalnej[14] [11, 12, 13].

Tabela 1 Zapotrzebowanie na pasmo w przyszłych sieciach stałego dostępu [7]

Usługa	Downstream	Upstream
SDTV	2 Mb/s (1 kanał)	0.2 Mb/s
HDTV	8-12 Mb/s (1 kanał)	0.5 Mb/s
Podstawowy dostęp szerokopasmowy	5 Mb/s (średnio)	2 Mb/s (średnio)
Gry online	2 Mb/s (1 sesja)	2 Mb/s (1 sesja)
Multimedia (np. muzyka online)	8 Mb/s (1 sesja)	2 Mb/s (1 sesja)
Video-konferencje, e-learning	3 Mb/s (1 sesja)	3 Mb/s (1 sesja)
Praca zdalna	4 Mb/s (1 sesja)	1 Mb/s (średnio)
Publikowanie treści indywidualnych (upload)		3 Mb/s (1 sesja)
Zdalne monitorowanie np. domu		0.5 Mb/s (1 sesja)

Z punktu widzenia państwa takie społeczno-ekonomiczne znaczenie wdrażania technologii optycznych jest więc bardzo ważnym argumentem w dyskusjach o dalszym rozwoju telekomunikacji. Jest to też w pełni uzasadnione z punktu widzenia użytkowników końcowych, których wymagania nieustannie ewoluują ku coraz szybszym łączom dostępowym. Spełnienie tych potrzeb jest niemożliwe bez zaangażowania operatorów sieci, dla których teoretycznie najważniejszymi czynnikami decydującymi o wdrożeniach szerokopasmowych sieci optycznych są: dostępność standardowych elementów i produktów sprzętowych, jakość wsparcia świadczonego

standardu ITU-T J.601) już 40-160 Mb/s. Należy dodać, że odbiorników HDTV w jednym domu może być więcej niż jeden, a wówczas liczba kanałów transmitowanych w łączu abonenckim również będzie większa.

[11] Ang. *Video on Demand*, VoD.

[12] Jako przykład można podać nowy standard sieciowy ITU 989.1 [29], w którym rozwiązanie pętli lokalnej (ang. *local loop unbundling*, LLU), czyli otwarcie infrastruktury sieciowej dla wielu operatorów, może nastąpić w różnych warstwach sieci, z czego dedykowanie różnych długości fali różnym operatorom wydaje się być najbardziej wydajne kosztowo [78].

[13] „Jednym z podstawowych czynników, które wpływają na kształtowanie nowoczesnego społeczeństwa opartego na wiedzy, korzystającego z najnowocześniejszych technologii informacyjnych i komunikacyjnych zapewniających zatrudnienie oraz wzrost gospodarczy, jest nauka. (...) Komisja Europejska zaproponowała w ramach VII Programu Ramowego dofinansowywanie w wysokości 1.8 bln € oraz w ramach Programu Konkurencyjności i Innowacji kolejnych 0.8 bln €." [10]

[14] „Rozwój społeczeństwa informacyjnego pociągnie za sobą masowe migracje. (...) będziemy mieli do czynienia z przenoszeniem się z miejsc o niskim wskaźniku rozwoju gospodarczego i stosunkowo wysokiej liczbie urodzin do rejonów, gdzie jest odwrotnie. W Ameryce doprowadzi to do masowej migracji z południa na północ, a w Europie – ze wschodu na zachód." [11]

przez usługodawców oraz atrakcyjność oferowanych usług. W rzeczywistości jednak dla operatorów ocena rentowności, która jest kołem napędowym inwestycji, w dużej mierze opiera się na analizie kosztów instalacji sieci i przychodów przewidywanych w pierwszych latach jej użytkowania z uwzględnieniem kosztów utrzymania sieci. Do pewnego stopnia stanowi to przeszkodę w rozwoju całkowicie optycznej sieci dostępowej o architekturze zwanej „światłowód do domu”[15], ponieważ położenie kabla miedzianego na terenie pierwotnym kosztuje niemal tyle, ile instalacja kabla światłowodowego, a na tzw. terenach wtórnych często można wykorzystać jeszcze istniejącą instalację miedzianą. Z tego powodu np. British Telecom skupia się na pośrednim rozwiązaniu, jakim jest „światłowód do posesji/budynku”[16] połączony dalej z instalacją miedzianą [14]. Ponadto, jak wspomniano wcześniej, rzeczywiste wykorzystanie pasma przez użytkowników indywidualnych jest obecnie dużo poniżej potencjału FTTH i w związku z tym tylko część odbiorców jest skłonnych płacić więcej za pasmo, którego przez najbliższe lata nie wykorzystają. W efekcie operatorzy zastanawiają się czy i kiedy inwestować w technologię FTTH, aby osiągnąć cele ekonomiczne.

Ze względu na pojawiające się nowe zastosowania internetu mobilnego, np. Google Glass [15], i związaną z tym intensyfikację ruchu generowanego przez urządzenia mobilne [16] optyczne sieci dostępowe znajdują nowe zastosowanie jako część transportowa sieci mobilnych[17], np. w architekturze „światłowód do anteny”[18] lub architekturze sieci pakietowej dochodzącej do stacji bazowych[19] [17, 18, 19, 20, 21]. Ze względu na duży zasięg RBS, np. stacje makro-RBS, i związaną z tym dużą ilość użytkowników mobilnych podłączonych do jednej stacji, zastosowane łącze światłowodowe musi spełniać znacznie surowsze wymagania związane z niezawodnością i dostępnością niż linie FTTH łączące indywidualnych odbiorców końcowych. Przewiduje się, że podobne, chociaż mniej surowe, wymagania stawiane będą sieciom MBH/MFH dla małych stacji RBS, np. piko-RBS, których densyfikacja ma być odpowiedzią na coraz częstsze występowanie niewielkich obszarów geograficznych o szczególnie wysokim zapotrzebowaniu na pasmo [22, 23]. W końcowej fazie rozwoju dostępu mobilnego przewiduje się bezprzewodowy dostęp do internetu w domach za pośrednictwem tzw. stacji femto-RBS, czyli stacji bazowych o bardzo niskiej mocy i niewielkim zasięgu, które mają potencjał całkowitego wyparcia usług dostępu stałego FTTH i zastąpienie go sieciami MBH/MFH [24].

Kolejnym potencjalnym zastosowaniem optycznych sieci dostępowych jest obszar inteligentnych sieci energetycznych[20]. *Smart grid* ma na celu dostarczanie usług energetycznych zapewniając obniżenie kosztów i zwiększenie efektywności poprzez zintegrowanie rozproszonych źródeł energii. Ponieważ *smart grid* z zasady udostępnia komunikację między odbiorcami energii, istnieje możliwość wykorzystania tej samej infrastruktury dla bardziej zaawansowanych usług telekomunikacyjnych dostępnych przy wykorzystaniu właśnie optycznych sieci dostępowych [25].

Obecnie najpopularniejsze architektury warstwy fizycznej optycznych sieci dostępowych to:

- Architektura punkt-wielopunkt w oparciu o tzw. pasywną sieć optyczną[21], gdzie sygnał prowadzony jest pojedynczym światłowodem do pasywnego dzielnika mocy i dalej wieloma światłowodami do wielu punktów końcowych. W obecnych standardach sieci PON, np. 10 Gigabit PON (10GPON) [26], każdy z odbiorców ma przydzieloną tzw. szczelinę czasową, w ramach której może odbierać i nadawać sygnał, stąd sieci te są nazywane sieciami ze zwielokrotnieniem w dziedzinie czasu[22] [27].
- Architektura punkt-punkt, której podstawowa różnica względem PON polega na tym, że bezpośrednio z rozdzielni biegnie wiele światłowodów do odbiorców, dzięki czemu każdy użytkownik otrzymuje do dyspozycji teoretycznie całe pasmo światłowodu.

[15] Ang. *Fiber to the Home*, FTTH.
[16] Ang. *Fiber to the Premise/Building*, FTTP/FTTB.
[17] Ang. *Mobile Fronthaul*, MFH, oraz ang. *Mobile Backhaul*, MBH. W 2015r. ITU rozpoczęło nowy project standaryzacyjny G.RoF, który ukierunkowany jest na nowy rodzaj sieci dostępowych do których zalicza się właśnie sieci MFH.
[18] Ang. *Fiber to the Antenna*, FTTA.
[19] Ang. *Radio Base Station*, RBS.
[20] Ang. *Smart Grid.*
[21] Ang. *Passive Optical Network*, PON.
[22] Ang. *Time Division Multiplexed* PON, TDM-PON.

Inne rozwiązania stanowią pasywne sieci punkt-wielopunkt o architekturze pierścienia i kaskad dzielników. Najnowsze standardy sieci PON przewidują wykorzystanie technologii zwielokrotnienia w dziedzinie czasu i długości fali z zastosowaniem filtrowania optycznego w zakończeniu linii optycznej po stronie odbiorcy końcowego [28, 29][23]. W dalszej przyszłości przewiduje się możliwość zastąpienia pasywnych dzielników przez multipleksery długości fali i odejście od technologii TDM na rzecz WDM (WDM-PON) [30], a równolegle do tego również bada się możliwość zastosowania zaawansowanych technik modulacji [31, 32].

W konsekwencji ogromnego zainteresowania optycznymi sieciami dostępowymi dużo uwagi poświęca się optymalizacji kosztów operacyjnych szczególnie dla zastosowań w obszarze dostępu stałego oraz MBH/MFH [33] dla obecnych i przyszłych standardów sieci. Ponieważ wydatki na utrzymanie sieci, m. in. diagnostykę i naprawę łączy przez wykwalifikowany personel, stanowią ogromną część całkowitych kosztów operacyjnych (59 % według [34]), jednym z kluczowych zagadnień jest rozwój i wdrożenie efektywnych metod detekcji usterek w liniach światłowodowych dla wszystkich wymienionych wcześniej architektur sieci.

Obecnie[24] monitorowanie optycznej sieci dystrybucyjnej[25], czyli instalacji łączącej zakończenia optyczne po stronie konsumenckiej[26] z zakończeniami po stronie operatora[27], jest przeprowadzane za pomocą ręcznego reflektometru[28]. Taki przyrząd jest operowany przez technika wysłanego do węzła i ONT/ONU, z których wychodzi uszkodzony światłowód. Od momentu wystąpienia awarii, która w praktyce zostaje odnotowana dopiero po zgłoszeniu ze strony konsumenta, do momentu naprawy łącza upływa wiele godzin. W tym czasie przerwa w dostawie usług może wywołać konsekwencje finansowe dla operatora sieci. Usterki linii doprowadzonych do prywatnych odbiorców nie wiążą się z tak znacznymi stratami finansowymi jak w przypadku klientów biznesowych zapewniających np. wspomniane usługi transportowe dla sieci mobilnych MFH/MBH, które łączą wielu użytkowników z siecią za pomocą pojedynczego zakończenia ONT/ONU. Oprócz konsekwencji finansowych wynikających z nagłej tymczasowej przerwy w dostawie usługi operator ponosi koszty związane z detekcją i lokalizacją usterki oraz naprawą łącza. Dla przykładowej rozdzielni doprowadzającej usługi sieciowe do 3072 jednostek ONT/ONU, tj. 96 portów PON każdy ze współczynnikiem podziału 1:32, zastąpienie wykwalifikowanego personelu zajmującego się czasochłonną lokalizacją usterki światłowodu w pełni zautomatyzowanym systemem umożliwiającym szybką i zdalną detekcję i lokalizację może przynieść oszczędności w wydatkach operacyjnych już dla 2 i 8 usterek w skali roku odpowiednio w krajach rozwiniętych (wyższe wynagrodzenie godzinowe) i rozwijających się (niższe wynagrodzenie godzinowe) [33][29].

Obok problemów z przywracaniem łącza fizycznego istnieje problem samej detekcji i lokalizacji usterki w łączach punkt-wielopunkt jakimi są sieci PON. Z jednej strony, o ile w łączach punkt-punkt wykrycie usterki za pomocą OTDR jest technicznie bardzo prostą czynnością, o tyle naprawa kabla telekomunikacyjnego prowadzącego wiele łączy punkt-punkt jest czasochłonna. Z drugiej strony, o ile w sieciach punkt-wielopunkt naprawa łącza wymaga znacznie mniej czasu ze względu na wydajniejsze wykorzystanie włókna światłowodu, o tyle interpretacja reflektogramu OTDR nie jest jednoznaczna i wymaga dodatkowych środków. Należy przypomnieć, że konwencjonalna technika OTDR działa na zasadzie impulsów optycznych wysłanych na dedykowanej długości fali, pomiarze mocy impulsów powracających oraz pomiarze czasu od momentu wysłania do momentu powrotu impulsu do odbiornika w OTDR. Wysłane impulsy optyczne ulegają odbiciu lub rozproszeniu na całej długości światłowodu. W skali mikroskopowej rozproszenie impulsu to odbicie części mocy optycznej od niedoskonałości struktury rdzenia światłowodu powstałych na etapie wytwarzania włókna. Jest to

[23] Ang. *Time and Wavelength Division Multiplexed* PON, TWDM-PON.

[24] Poniższy fragment aż do słów „Cel naukowy badań stanowiących kanwę niniejszej habilitacji..." w części pochodzi z autorskiego artykułu popularno-naukowego [74], a miejscami stanowi jego uzupełnioną wersję.

[25] Ang. *Optical Distribution Network*, ODN.

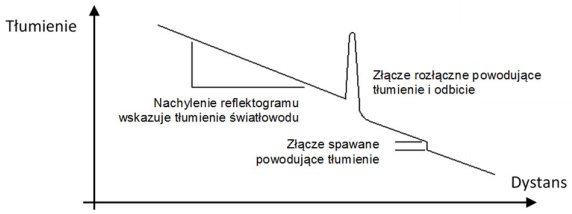
[26] Ang. *Optical Network Unit*, ONU lub ang. *Optical Network Terminal*, ONT.

[27] Ang. *Optical Line Termination*, OLT.

[28] Ang. *Optical Time-Domain Reflectometer*, OTDR.

[29] Dokładniejsze wyniki oszacowań oszczędności z zachowaniem tej samej tendencji wynikających z zastosowania zdalnej i zautomatyzowanej detekcji usterek mogą różnić się od siebie w zależności od modelu biznesowego sieci [77].

tzw. zjawisko wstecznego rozpraszania Rayleigh'a [35][30]. Innym zjawiskiem są odbicia części mocy impulsów optycznych od tzw. zdarzeń w torze optycznym czyli złączy, spawów i właśnie usterek linii optycznych. Schemat ideowy uzyskanego w ten sposób reflektogramu został podany na rys. 1 dla łączy punkt-punkt. W przypadku łączy punkt-wielopunkt impulsy powracające ze wszystkich gałęzi podłączonych do dzielnika mocy nakładają się na siebie co w rezultacie doprowadza do tzw. zjawiska maskowania reflektogramu uniemożliwiającego jednoznaczną interpretację wyników OTDR.



Rysunek 1 Schemat ideowy reflektogramu

Podstawowym mechanizmem kontroli stanu łącza, np. w sieciach GPON określonym w standardzie G.984.2 jako *Optical Layer Supervision* (OLS) [36], jest monitorowanie parametrów nadajników i odbiorników. Dzięki OLS można uzyskać informacje dotyczące np. poziomu mocy wysłanej i odebranej po obu stronach łącza, czyli ONT/ONU i OLT. Standard GPON niestety zezwala na bardzo dużą niedokładność takiego pomiaru (+/- 3dB), co w praktyce uniemożliwia ocenę powagi usterki i w konsekwencji odpowiednie priorytetowanie prac naprawczych. Natomiast sam pomiar mocy według OLS wystarcza jedynie do zidentyfikowania uszkodzonego łącza, Tabela 2. Dopiero połączenie technik OLS i OTDR umożliwia określenie dystansu od węzła do miejsca usterki w łączach punkt-wielopunkt, co jest kluczowe dla wydajnego procesu naprawy i przywracania łącza.

Ponieważ nie wszystkie komercyjne moduły nadawczo-odbiorcze wspierają OLS, często proponowanym substytutem są tzw. pasywne optyczne reflektory instalowane przy jednostkach ONT/ONU, które z niewielką stratą mocy odbijają sygnał OTDR. W rezultacie na reflektogramie uzyskuje się pik, którego zmiany wskazują na degradację łącza optycznego. Rozwiązania oparte o reflektory, podobnie jak te oparte o OLS, często nie są wystarczające. Przede wszystkim stanowią one dodatkowy znacznie większy wydatek niż zmodernizowanie pojedynczego portu PON w OLT, aby wspierał OLS dla całej sieci PON [37]. Z drugiej strony obecność reflektorów umożliwia monitorowanie łączy bez potrzeby wsparcia ze strony aktywnych zakończeń linii generujących dane OLS, co jest szczególnie przydatne przy monitorowaniu łączy typu *dark fiber*[31].

Przewiduje się, że rynek sprzętu do testowania linii optycznych wzrośnie do ponad 230 milionów dolarów amerykańskich do roku 2021 [38]. Operatorzy telekomunikacyjni oraz producenci sprzętu do testowania linii optycznych zdają sobie sprawę z powagi problemu detekcji usterek światłowodów [39]. W celu poprawy standardów monitorowania łączy optycznych w sieciach dostępowych w 2010 roku powołana została specjalna grupa tematyczna w ramach *Full Service Access Network*[32] (FSAN), która jest podmiotem wspierającym prace standaryzacyjne między innymi *International Telecommunication Union* (ITU). Jednym z podstawowych celów

[30] Zjawisko wstecznego rozpraszania Rayleigh'a w większości przypadków jest zjawiskiem nieporządanym. Mechanizm ten powoduje powstanie fali wstecznej, która spektralnie pokrywa się z tzw. pompą czyli sygnałem indukującym rozpraszanie Rayleigh'a. W przypadku rozpraszania kanału falowego transportującego dane, zjawisko to może przyczynić się do wzrostu szumu w torze optycznym, degradacji czułości odbiornika i pogorszenia pracy nadajnika. Ma to szczególnie krytyczne znaczenie w systemach wykorzystujących jednakową długość fali do komunikacji w przeciwbieżnych kierunkach oraz w systemach ze zdalnym generowaniem sygnału nośnego (ang. *remotely seeded*). Destruktywny wpływ zjawiska wstecznego rozpraszania Rayleigh'a oraz nowatorskie metody redukowania tego wpływu w optycznych sieciach dostępowych stanowią część pracy doktorskiej [1] i związanych z nią znaczących publikacji naukowych m. in. [73, 72]. Dorobek naukowy po doktoracie obejmuje prace nad rozwiązaniami, w których omawiane zjawisko jest porządane i efektywnie wykorzystane.

[31] Ang. *dark fiber*, w dosłownym tłumaczeniu *ciemne włókno światłowodowe*, oznacza światłowód zainstalowany przez dostawcę lub dostawcę-operatora sieci, który może być wydzierżawiony dostawcy usługi sieciowej.

[32] FSAN, będące zrzeszeniem ekspertów, zostało utworzone przez wiodących operatorów telekomunikacyjnych wraz z producentami sprzętu telekomunikacyjnego. Głównym tematem debat w ramach FSAN są przyszłe standardy dla sieci dostępowych następnej generacji (ang. *Next Generation Access*, NGA) [75, 76].

prac grupy jest skompletowanie wymagań dla rozwiązań zapewniających zdalną, wydajną, w pełni zautomatyzowaną, skalowalną i dokładną detekcję usterek w optycznych sieciach dostępowych. Pośrednim efektem prac FSAN, było opublikowanie nowych i uaktualnionych stosownych rekomendacji ITU [40, 41, 42, 43, 44, 45] oraz standardów *International Electrotechnical Commission* (IEC) [46, 47].

Tabela 2 Zgrubne określenie rodzaju i lokalizacji usterki łącza optycznego na podstawie OLS

Usterka	Lokalizacja	Przyczyna	Objaw
Pojedyncze ONT/ONU	Sekcja *Drop* (między ostatnim dzielnikiem a ONT/ONU)	Zanieczyszczone/zepsute złącze	Niska moc odebrana z danego ONT/ONU
		Zagięcie światłowodu w sekcji *Drop*	Niska moc odebrana z danego ONT/ONU
		Przerwanie światłowodu w sekcji *Drop*	Brak sygnału z danego ONT/ONU
Wiele ONT/ONU	Sekcja *Distribution* (między dzielnikami w kaskadowej topologii ODN)	Zanieczyszczone/zepsute złącze	Niska moc odebrana z danej grupy ONT/ONU
		Zagięcie światłowodu w sekcji *Distribution*	Niska moc odebrana z danej grupy ONT/ONU
		Przerwanie światłowodu w sekcji *Distribution*	Brak sygnału z danej grupy ONT/ONU
Wszystkie ONT/ONU	Sekcja *Feeder* (między OLT a pierwszym dzielnikiem)	Zanieczyszczone/zepsute złącze	Niska moc odebrana ze wszystkich ONT/ONU
		Zagięcie światłowodu w sekcji *Feeder*	Niska moc odebrana ze wszystkich ONT/ONU
		Przerwanie światłowodu w sekcji *Feeder*	Brak sygnału ze wszystkich ONT/ONU

Cel naukowy badań stanowiących kanwę niniejszej habilitacji dotyczy opracowania innowacyjnych metod efektywnej, zdalnej i automatycznej detekcji usterek światłowodowych w optycznych sieciach dostępowych w celu zredukowania kosztów operacyjnych sieci. W dalszej perspektywie redukcja kosztów operacyjnych sieci może być jednym z kamieni milowych na drodze do powszechniejszego wdrażania optycznych sieci dostępowych oraz obniżenia cen dostępu do szybkiego internetu.

Główny przedmiot badań habilitanta stanowią ulepszone techniki reflektometryczne, a w tym konceptualne architektury (pod-)systemów i algorytmy służące do interpretacji wyników pomiarów i diagnozowania jakości łącza fizycznego, oraz implementacja wybranych rozwiązań do monitorowania warstwy fizycznej optycznych sieci dostępowych.

Wymiernym rezultatem badań habilitanta są prototypowe układy eksperymentalne udowadniające wybrane autorskie koncepcje oraz weryfikacja ich wpływu na pracę sieci. Osiągnięte rezultaty stanowią ważny innowacyjny wkład w rozwój prac standaryzacyjnych prowadzonych przez FSAN, wzbogacają portfolio patentowe w zakresie technik monitorowania sieci PON oraz uzupełniają studia nad optymalizacją kosztów operacyjnych sieci FTTx. Do najważniejszych osiągnięć badawczych habilitanta zalicza się:

- Projekt oraz realizacja wielu prototypowych rozwiązań służących do zdalnej i automatycznej detekcji usterek światłowodowych o minimalnej stracie wtrąceniowej 1 dB w dowolnej sekcji optycznej sieci dystrybucyjnej dla sieci TDM- i WDM-PON. Prace obejmowały również studia wydajności kosztowej i energetycznej. Opracowane warianty dotyczyły sieci PON o różnych topologiach ODN, sieci wykorzystujących *dark fiber*, sieci dostępowych z opcją lokalnego lub zdalnego zasilania w węzłach optycznych, sieci PON o przedłużonym zasięgu[33] oraz sieci PON z ochroną światłowodu od OLT do węzła[34].
- Opracowanie dwóch koncepcji monitorowania łączy wykorzystujących zwielokrotnienie podnośnych[35] SCM w sieciach optycznych oraz hybrydowych, tj. wykorzystujących technologie światłowodowe i miedziane. Pierwsza metoda wykorzystuje pasmo podstawowe w celu transmisji sygnału testowego o niskim współczynniku modulacji[36]. Druga metoda opiera się na wykorzystaniu pasma podnośnej dla sygnału testowego.

[33] Ang. *Extended-Reach PON*, ER-PON.

[34] Wymiernym rezultatem wysiłków popularyzujących wspomniane rozwiązania do monitorowania sieci optycznych jest ujęcie w dokumencie Broadband Forum TR-287 [79] rekomendacji zgodnych z klauzulami autorskich aplikacji patentowych. Ponadto w grudniu 2016r. Ericsson rozpoczął procedurę zgłoszenia odpowiednich udzielonych patentów i opublikowanych aplikacji patentowych habilitanta jako stosownych do wybranych rekomendacji ITU.

[35] Ang. *Sub-Carier Multiplexing*, SCM.

[36] W grudniu 2016r. Ericsson rozpoczął procedurę zgłoszenia odpowiednich udzielonych patentów i opublikowanych aplikacji patentowych habilitanta jako stosownych do wybranych rekomendacji ITU.

Osiągnięte przez habilitanta wyniki zostały szczegółowo omówione w poniższym zestawieniu wybranych prac zgodnie z Punktem IV.b autoreferatu. Zestaw ten obejmuje prace opublikowane w czasopismach naukowych w tym m. in. IEEE Communications Magazine, IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, IEEE Photonics Technology Letters. Zestaw obejmuje także udzielone patenty, które dotyczą głównych idei zaproponowanych rozwiązań[37]. Autorskie materiały z wystąpień na forum FSAN stanowią zastosowanie wybranych wyników badań w pracach standaryzacyjnych. Jednak wystąpienia te nie są uznane za szeroko dostępne i w związku z tym, poza stosownymi adnotacjami w poniższym opracowaniu, nie są ujęte w zestawie publikacji stanowiącym osiągnięcie naukowe. Ponadto wiele zagadnień ujętych w publikacjach w czasopismach naukowych zostało opublikowanych podczas wystąpień konferencyjnych, także zaproszonych, i udokumentowanych w recenzowanych publikacjach pokonferencyjnych, m. in. Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference, European Conference on Optical Communication, International Conference on Transparent Optical Networks, Asia Communications and Photonics Conference. Publikacje te zostały powiązane z publikacjami w czasopismach naukowych w poniższym zestawieniu. Dla zachowania przejrzystości autoreferatu każde taka publikacja wymieniona jest tylko raz przy okazji czasopisma najlepiej skojarzonego z danym wystąpieniem konferencyjnym.

Publikacje naukowe:

i. **P. J. Urban, G. Vall-llosera, E. Medeiros, S. Dahlfort, „Fiber Plant Manager: an Optical Time Domain Reflectometry- and Optical Transceiver Monitoring-based Passive Optical Network Monitoring System", IEEE Communications Magazine, luty 2013, nr 2, tom 51, str. 9-15**

STRESZCZENIE:

W publikacji zaproponowano innowacyjny system *Access Plant Manager* (APM[38]) do zdalnej i w pełni zautomatyzowanej detekcji usterek światłowodowych w sieciach PON. Publikacja opisuje architekturę oraz zasadę działania prototypu składającego się z czterech głównych komponentów: pomiarów reflektometrycznych wykonywanych za pomocą OTDR, emulacji pomiarów monitorujących działanie optycznych modułów nadawczo-odbiorczych[39] poprzez zastąpienie jednostek ONT/ONU miernikami mocy optycznej, algorytmu służącego do odzyskiwania rzeczywistych parametrów zdarzeń z reflektogramu oraz części sprzętowej rozwiązania. Prototyp ten stanowi ulepszoną wersję podstawowego systemu omówionego w publikacjach konferencyjnych, wymienionych poniżej. Omawiana publikacja zawiera również krótkie wytłumaczenie podstawowego, uproszczonego modelu matematycznego stanowiącego fundament zaproponowanego algorytmu służącego do całkowicie automatycznej detekcji usterek światłowodów. Publikacja zawiera opis eksperymentu laboratoryjnego i jego szczegółowych wyników, podczas którego model ten został potwierdzony w pomiarach przeprowadzonych na referencyjnej optycznej sieci dystrybucyjnej w skali 1:1. Ponadto publikacja w przekrojowy sposób opisuje zagadnienia architektury, skalowalności, oraz aspekty techno-ekonomiczne APM. Do daty publikacji zaprezentowana koncepcja jest jedynym szczegółowo opublikowanym rozwiązaniem, które całkowicie spełnia wymagania dotyczące monitorowania sieci PON.

REZULTATY:

Zamieszczone w publikacji wyniki badań udowadniają możliwość wydajnej detekcji i lokalizacji usterek światłowodów w sieciach PON wykorzystujących optyczny dzielnik mocy za pomocą korelacji wyników OTDR i

[37] Udzielone patenty pogrupowane są w tzw. rodziny patentów, przy czym dana rodzina patentów dotyczy jednego wynalazku chronionego patentami udzielonymi w wielu krajach.

[38] W omawianej publikacji (w treści artykułu i w samym tytule) wykorzystana została nazwa *Fiber Plant Manager*, FPM. Jednak artykuł dotyczy zaawansowanej wersji rozwiązania, która nosi nazwę *Access Plant Manager*, APM. Rozbieżność wynika z faktu wysłania manuskryptu do wydawnictwa IEEE Communications Magazine w IV kwartale 2010 roku i opublikowania artykułu w I kwartale 2013 roku. Przez okres 2 lat do FPM dodano kolejne udoskonalenia i zmieniono nazwę na APM. Tym samym odpowiednie zmiany w manuskrypcie wprowadzono w IV kwartale 2012 roku. Jednak z powodu trudności związanych ze zmianą tytułu już zaakceptowanego artykułu, nazwą obowiązującą w całym artykule pozostał FPM.

[39] Ang. *Optical Transceiver Monitoring*, OTM.

OTM. Rezultaty potwierdzają model matematyczny, w którym przewidziano detekcję i lokalizację usterek w sekcji za dzielnikiem mocy o współczynniku 1:8 z czułością 1 dB i zgodnością z modelem rzędu 0.02 dB. Tym samym rezultaty te udokumentowują, że przy wykorzystaniu tradycyjnego reflektometru OTDR i wymaganej czułości 1 dB, całościowy współczynnik podziału danej sieci PON z punktu widzenia OTDR powinien zostać podzielony na kilka sekcji z indywidualnym współczynnikiem podziału nieprzekraczającym 1:8. Przedstawiona analiza techno-ekonomiczna wskazała na rozwiązania oparte o OTM jako znacznie bardziej wydajne kosztowo względem rozwiązań wykorzystujących refektor po stornie ONT/ONU.

ZASTOSOWANIE:

Omawiana praca jest pierwszą obszerną publikacją na temat APM i służy jako główne źródło informacji na temat m. in. zasad działania APM. Tym samym stanowi główne odwołanie dla kolejnych badań i publikacji w tym temacie. Manuskrypt wielokrotnie służył jako materiał edukacyjny dla potencjalnych odbiorców rozwiązania. Część materiału dotyczącego porównania różnych technik monitorowania sieci oraz część dotycząca maskowania usterek światłowodów na odcinku od dzielnika do ONT/ONU zostały wykorzystane podczas wystąpień na forum wspierającym prace standaryzacyjne FSAN [48, 49]. Model matematyczny jest przedmiotem udzielonego autorskiego patentu habilitanta [50] i tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Autorstwo patentu stanowiącego podstawę rozwiązania; opracowanie zagadnień teoretycznych w tym przede wszystkim: koncepcja korelacji wyników pomiarów reflektometrycznych z wynikami pomiarów parametrów modułów nadawczo-odbiorczych, podstawowy model matematyczny i algorytm służący do analizy reflektogramu w obszarze za węzłem optycznym w sieciach PON, gdzie dochodzi do maskowania zdarzeń w torze optycznym i przekłamania wartości strat wtrąceniowych; opracowanie nowatorskich architektur wszystkich niezbędnych komponentów zaproponowanego systemu (skalowalne węzły dla sieci TDM-PON i WDM-PON w tym dobór testowych długości fali wykorzystujący cykliczną odpowiedź spektralną demultipleksera długości fali); realizacja zadań praktycznych służących do udowodnienia zaproponowanych koncepcji w tym m. in. konstrukcja prototypu, pomiary weryfikacyjne i optymalizacja elementów systemu; analiza, ocena i opiniowanie wyników pomiarowych; przygotowywanie dokumentacji pomiarowej oraz raportów a także prowadzenie wewnętrznego projektu badawczego dotyczącego konstrukcji i rozwoju w pełni funkcjonalnego systemu demonstracyjnego. Udział procentowy: 70 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

P. J. Urban, S. Dahlfort, „Optical Transceiver Monitoring- and Optical Time Domain Reflectometry-based Cost-Efficient Fiber Fault Identification and Localization in Passive Optical Network", Proceedings of Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference, Los Angeles, USA, marzec 2011, nr JWA064; oraz **P. J. Urban, S. Dahlfort, „Cost-efficient Remote Passive Optical Network Monitoring Based on Optical Time Domain Reflectometry and Optical Transceiver Monitoring functionality", Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks, Sztokholm, Szwecja, lipiec 2011, nr TuC61**: Publikacje opisują architekturę, zasadę działania oraz podstawowe eksperymenty przeprowadzone na pierwszym prototypie systemu *Fiber Plant Manager* (FPM), w skład którego wchodził między innymi aktywny optyczny przełącznik w węźle optycznym sieci. Omawiana publikacja zawiera również krótkie wytłumaczenie rezultatów podstawowego, uproszczonego modelu matematycznego stanowiącego fundament algorytmu służącego do całkowicie automatycznej detekcji usterek światłowodów.

P. J. Urban, „Drop-Link Monitoring in Passive Optical Networks", Proceedings of International Conference on Transparent Optical Network, nr MoB33, Coventry, Wielka Brytania, 2012: Nierecenzowana publikacja zaproszona, zawiera usystematyzowany zbiór informacji nt. metod monitorowania optycznej sieci dystrybucyjnej z wykorzystaniem OTDR oraz ich implementacji tj. stopnia zintegrowania na poziomie warstwy fizycznej sieci z systemem transmisji danych. Publikacja zawiera dyskusję porównawczą nt. obecnie najpopularniejszej metody wykorzystującej reflektor w ONT/ONU względem rozwiązania APM. Zamieszczone w

publikacji wyniki badań i analiz wskazują słabości metod wykorzystujących elementy odbiciowe zainstalowane po stronie ONT/ONU względem rozwiązania APM. Natomiast analiza zużycia energii wskazuje, że rozwiązania o niskim stopniu zintegrowania z systemem transmisji danych stają się bardziej wydajne energetycznie dla systemów PON wraz ze wzrostem liczby modułów OLT. Analiza wyników oszacowań przesłuchów wskazuje na możliwość zwiększenia mocy sygnału OTDR w łączu wychodzącym z zdalnego węzła. Szczegółowa analiza metody wykorzystującej elementy odbiciowe przy ONT/ONU oraz kwestie zużycia energii przez rozwiązania o różnym stopniu zintegrowania pochodzą z autorskiego wystąpienia na forum FSAN [51] – wystąpienie to było znaczącym głosem w dyskusji o przyszłości metody jako potencjalnej rekomendacji w przyszłych standardach.

ii. **G. P. Temporao, G. V. de Faria, J. P. von der Weid, P. J. Urban, „Feasibility of Centralized Passive Optical Network Monitoring using Passive Optical Network-tuned Optical Time Domain Reflectometry", Taylor & Francis Group, LLC, Fiber and Integrated Optics, marzec 2013, nr 2, tom 32, str. 117–130**

STRESZCZENIE:

W publikacji po raz pierwszy zaproponowano i eksperymentalnie zweryfikowano poszerzony model matematyczny do interperetacji reflektogramu sieci PON uwzględniający takie parametry jak niejednorodność strat w dzielnikach mocy oraz niejednakowe wartości współczynnika rozpraszania Rayleigh'a. Publikacja zawiera analizę reflektogramu uzyskanego metodą wykorzystującą reflektometr OTDR oraz element odbiciowy zainstalowany po stronie ONT/ONU, np. reflektor lub złącze typu PC.

REZULTATY:

Doświadczenia opisane w publikacji szczegółowo udowadniają podstawowy model matematyczny ujęty w Publikacji (i), w którym pomiary OTDR z czułością 0.1 dB były ograniczone do dzielników o maksymalnym współczynniku pomiaru 1:8. W dodatku opisane badania udowadniają możliwość odczytu wartości strat wtrąconych przez usterkę na podstawie zmian w sygnaturze elementu odbiciowego zainstalowanego przy ONT/ONU. Optymalna wartość odbicia od takiego elementu powinna wynosić około 24 dB względem mocy padającej na element odbiciowy. Akceptowane są jedynie niewielkie odchyłki od tej wartości: z jednej strony ze względu na ograniczony zakres dynamiczny reflektometru niskie moce odbite nie zostaną wykryte, a z drugiej strony wysokie moce odbite mogą doprowadzić do artefaktów w reflektometrze. To, w połączeniu z dodatkowymi kosztami i utrudnieniami związanymi z instalacją dodatkowych elementów odbiciowych po stronie ONT/ONU, sprawia, że tego typu rozwiązania są niepraktyczne.

ZASTOSOWANIE:

Opisana publikacja wraz z powiązanymi publikacjami konferencyjnymi były pierwszymi powszechnie znanymi i niezależnymi opracowaniami, które podały szczegółowej analizie zastosowanie komercyjnego przyrządu OTDR i elementów odbiciowych zainstalowanych przy ONT/ONU do monitorowania sieci PON. Część materiału została wykorzystana podczas autorskich wystąpienia habilitanta na forum FSAN [49].

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo opracowania poszerzonego modelu matematycznego służącego do analizy reflektogramu w obszarze za węzłem optycznym w sieciach PON z uwzględnieniem niejednorodności współczynnika rozpraszania Rayleigh'a i nierówności strat w optycznym dzielniku mocy; opracowanie architektury systemu badawczego oraz analiza, ocena i opiniowanie wyników pomiarowych oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 20 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

G. P. Temporão, G. V. de Faria, J. P. von der Weid, P. J. Urban, „Feasibility of Centralized Passive Optical Network Monitoring using Passive Optical Network-tuned Optical Time Domain Reflectometer", Proceedings

of International Conference on Ultra-Modern Telecommunication and Control Systems, Petersburg, Rosja, listopad 2012, str. 545-551: Publikacja stanowi zarys tematu dla obszerniejszej publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

G. P. Temporão, G. V. de Faria, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „ Fault Location in Passive Optical Networks Using Tuneable Optical Time Domain Reflectometer and Wavelength-Selective Isolators", Proceedings of Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference, Anaheim, Kalifornia, USA, marzec 2013, nr NM2I4: Alternatywnie względem omawianej publikacji w czasopiśmie, metoda zawarta w tej publikacji konferencyjnej jest oparta o elementy odbiciowe zainstalowane w węźle optycznym, które izolują wybraną długość fali dzięki czemu w rezultacie operacji odejmowania reflektogramów otrzymuje się reflektogram dla indywidulanych linii w sieci PON.

iii. **P. J. Urban, A. Getaneh, J. P. von der Weid, G. P. Temporão, G. Vall-llosera, J. Chen, „Detection of Fiber Faults in Passive Optical Networks", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, listopad 2013, nr 11, tom 5, str. 1111-1121**

STRESZCZENIE:

Publikacja opisuje architekturę oraz zasadę działania drugiego prototypu systemu FPM, zw. APM, rozszerzonego względem podstawowego FPM o zewnętrzny konwerter długości fali[40] podłączony bezpośrednio do OTDR. W publikacji przedstawiono aspekty techniczne rozwiązania APM: optymalizacja EWAM, dobór długości fali sygnału OTDR oraz propagacja sygnału OTDR w węzłach optycznych, architektura węzłów optycznych oraz maski filtra optycznego blokującego sygnał OTDR po stronie ONT/ONU. Szczegółowo omówiono podstawowy model matematyczny służący jako rdzeń algorytmu do interpretacji wyników OTDR i OTM. Publikacja opisuje potencjał FPM/APM jako czynnika powodującego spadek kosztów operacyjnych sieci (ograniczenie wydatków na personel techniczny, skrócenie czasu przywracania łącza) dzięki w pełni zautomatyzowanemu systemowi monitorowania sieci. W publikacji po raz pierwszy szczegółowo omówiono eksperymenty weryfikujące koncepcję systemu FPM/APM w rzeczywistym systemie GPON i prototypowym układzie WDM-PON. Eksperymenty dotyczyły wykrywalności błędów światłowodowych przez APM w pracującej sieci i ewentualny wpływ FPM/APM na transmisję danych w tych sieciach. APM wspiera sieci WDM-PON wykorzystujące cykliczny demultiplekser długości fali[41], a zadaniem EWAM jest konwersja nominalnej długości fali emitowanej przez standardowy OTDR w oknie transmisyjnym U do innej długości fali w tym samym oknie tak, aby dopasować długość fali sygnału OTDR do periodycznej odpowiedzi spektralnej AWG. W konsekwencji umożliwia to pomiary punkt-punkt, ponieważ każde łącze dochodzące do ONT/ONU w omawianej sieci ma ściśle określone indywidualne długości fali przeznaczone do odbioru i nadawania. Wadą takiego rozwiązania jest konieczność zapewnienia wielu długości fali w oknie transmisyjnym U, co stawia kosztowne wymagania dla nadajnika sygnału testowego. Ponadto znacząco wydłuża się czas potrzebny do pomiaru całej sieci WDM-PON, ponieważ pomiary OTDR na indywidualnych długościach fali nie mogą odbywać się w tym samym momencie bez dodatkowych kosztownych środków (np. wiele dedykowanych modułów OTDR). W związku z tym APM wykorzystuje podstawową zaletę FPM, tj. pomiary dzielników 1:8, poprzez zastosowanie specjalnej architektury zdalnego pasywnego węzła opartego o AWG z wieloma portami wejściowym oraz dzielnikiem 1:8 dla sygnału OTDR. Zaprezentowany w publikacji reflektogram oraz wskazania usterek światłowodów na wirtulanej mapie sieci, zostały uzyskane w pełni zautomatyzowanym prototypie klienta APM.

REZULTATY:

W publikacji wykazano, że potencjalne oszczędności wynikające z ograniczenia wydatków operacyjnych dzięki zastosowaniu FPM/APM zaczynają się już dla 2 do 8 uszkodzonych linii na 3072 wszystkich linii współdzielonych przez jeden system FPM/APM. Zamieszczone wyniki testów udowodniły możliwość wykrycia usterek

[40] Ang. *External Wavelength Adaptation Module*, EWAM.
[41] Ang. *Arrayed Waveguide Grating*, AWG.

powodujących około 1 dB strat powyżej umownie ustalonego akceptowanego progu 3 dB dla sieci GPON i usterek powodujących około 0.01 % spadku przepustowości łącza dla sieci WDM-PON. Publikacja wnosi również nowe spojrzenie na maskę filtra optycznego jaki powinien być zastosowany w ONT/ONU w celu uniknięcia przesłuchu sygnału OTDR.

ZASTOSOWANIE:

Oprócz wykorzystania większości omówionych aspektów technicznych w prototypach FPM i APM, część materiału dotycząca sposobu doboru długości fali dla OTDR została wykorzystana podczas autorskiego wystąpienia na forum FSAN przy współpracy z wiodącym chińskim operatorem telekomunikacyjnym, China Unicom [52]. Część materiału dotyczącego maski filtra ONT/ONU została wykorzystana również podczas kolejnego autorskiego wystąpienia habilitanta na forum FSAN [53]. Materiał zawarty w artykule jest przedmiotem udzielonych patentów autorskich habilitanta [50, 54, 55, 56, 57]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Autorstwo i współautorstwo patentów tworzących podstawę rozwiązania; opracowanie całości zagadnień teoretycznych i wykonanie większości zadań praktycznych, w tym przede wszystkim: szczegółowe opracowanie modelu matematycznego służącego do odzyskiwania właściwych wartości strat wtrąceniowych na podstawie wartości zamaskowanych na reflektogramie za węzłem optycznym sieci PON, przeprowadzenie analizy techno-ekonomicznej zaproponowanego rozwiązania z uwzględnieniem różnego poziomu usterkowości sieci, opracowanie schematu pracy zautomatyzowanego systemu monitorowania i przywracania łącza oraz opracowanie maski filtra optycznego po stronie ONT/ONU w celu redukcji potencjalnego przesłuchu sygnału OTDR do kanałów falowych systemów PON różnej generacji; nadzorowanie wykonania zadań związanych z realizacją klienta FPM/APM oraz wykonania pomiarów elementowej stopy błędów dla testowej sieci WDM-PON; analiza, ocena i opiniowanie wyników pomiarowych; przygotowywanie dokumentacji pomiarowej oraz raportów a także prowadzenie wewnętrznego projektu badawczego dotyczącego konstrukcji i rozwoju w pełni funkcjonalnego systemu demonstracyjnego; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z dwoma partnerami zewnętrznymi, których efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 70 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

P. J. Urban, E. Medeiros, G. Vall-llosera, „Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network Fiber-Fault Automatic Detection and Localization with 1 dB Event Sensitivity in Drop Links", Proceedings of Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference, Los Angeles, Kalifornia, USA, marzec 2012, nr NM2K4: Publikacja zawiera również pierwsze rezultaty pomiarów OTDR-EWAM przeprowadzone na łączach punkt-punkt w prototypie sieci WDM-PON w skali 1:1 z aktywnymi elementami OLT i ONT/ONU. Publikacja stanowi zarys tematu dla obszerniejszej publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

J. Chen, P. J. Urban, L. Wosinska, „Fast Fault Monitoring Technique for Reliable Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network: Achieving Significant Operational Saving", Proceedings of Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference, Anaheim, Kalifornia, USA, marzec 2013, nr JTh2A: Publikacja opisuje podstawowe warianty architektury APM dla sieci WDM-PON dostosowane do wymaganego stopnia odporności sieci na awarie tj. ochrona światłowodu od zakończenia po stronie operatora do węzła optycznego poprzez zastosowanie dodatkowego równoległego światłowodu bez lub z dodatkowym portem OLT. Obydwa warianty wymagają stosownych zmian w architekturze zdalnego węzła optycznego. Analiza kosztów operacyjnych sieci dla dwóch różnych scenariuszy wdrożenia tj. obszary gęsto i rzadko zaludnione, wskazała oszczędności nawet 90% uzyskane poprzez ograniczenie średniego czasu naprawy[42] dzięki zastosowaniu różnych wariantów ochrony sieci w połączeniu z wydajnym rozwiązaniem do zdalnego monitorowania sieci. Część materiału zawartego w artykule jest przedmiotem udzielonego patentu [58].

[42] Ang. *Mean Time To Repair*, MTTR.

D. C. Villafani, J. P. von der Weid, P. J. Urban, „Tuneable Optical Time Domain Reflectometer Measurements for Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network Monitoring", Proceedings of International Microwave and Optoelectronics Conference, Rio De Janeiro, Brazylia, sierpień 2013, nr 106046: W tej publikacji wskazano na możliwość zastosowania półprzewodnikowego wzmacniacza optycznego jako modulatora amplitudy w układzie realizującym przestrajalne źródło światła dla OTDR. Publikacja szczegółowo omawia zmodyfikowaną architekturę zewnętrznego modułu konwertującego długość fali OTDR oraz przedstawia wyniki pomiarów OTDR według zaproponowanej metody.

P. J. Urban, „Fiber Fault Magnitude Recognition in Passive Optical Network", Proceedings of Asia Communications and Photonics Conference, Pekin, Chiny, listopad 2013, nr AF2F7: W tej nierecenzowanej publikacji zaproszonej wskazano na problem maskowania sygnatur usterek światłowodowych z powodu nakładania się sygnału odbitego (wstecznie rozproszonego) w sieci PON. Z tego powodu dochodzi do przekłamania właściwych wartości strat wtrąceniowych spowodowanych przez usterki światłowodowe. Publikacja szczegółowo omawia podstawowy model matematyczny służący do obliczania prawdziwych wartości strat wtrąceniowych na podstawie wartości przekłamanych.

J. Chen, S. Poudel, P. J. Urban, „Fault Monitoring for Multi-Operator and Multi-Service Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network", Proceedings of Asia Communications and Photonics Conference, Pekin, Chiny, listopad 2013, nr AF1I2: W publikacji wskazano na możliwość efektywnego monitorowania sieci WDM-PON wspierającej model *open access* przez wykorzystanie architektury węzła optycznego rozszerzonej względem architektury przedstawionej w artykule w czasopiśmie. Omówiono tutaj zmodyfikowaną architekturę węzła i przedstawia podstawowe wyniki symulacji dotyczących wpływu sygnału testowego na sygnał danych.

J. Chen, P. J. Urban, J. Montalvo Garcia, „Cost-Efficient Fault Supervision Schemes for Next Generation Optical Access Networks", Proceedings of Asia Communications and Photonics Conference, Shanghai, Chiny, listopad 2014, nr ATh1H4: Ta nierecenzowana publikacja zaproszona omawia monitorowanie usterek światłowodowych z użyciem światłowodu niewykorzystanego do transmisji danych, *dark fiber*. W artykule porównano cztery podstawowe implementacje OTDR m. in. pod względem wymaganych nakładów sprzętowych oraz wpływu na sygnał danych. Rezultatem dyskusji zamieszczonej w artykule jest wskazanie na zewnetrzną implementację OTDR wykorzystującą *dark fiber* jako najbardziej wydajną do monitorowania sieci wdrażanych w modelu otwartego dostępu. Artykuł ten jest jednym z nielicznych głosów w dyskusji nad problemami operacyjnymi, w szczególności dotyczącymi usterek światłowodowych, w sieciach opartych o model otwartego dostępu.

iv. **G. P. Temporao, G. V. de Faria, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „OTDR Reach Extension for Monitoring of High-Loss Optical Links", Wiley, Microwave and Optical Technology Letters, kwiecień 2014, nr 4, tom 56, str. 974-977**

STRESZCZENIE:

W publikacji zaproponowano pionierski pod-system wspierający detekcję usterek światłowodowych w całej optycznej sieci dystrybucyjnej w architekturze ER-PON. W tym celu został zastosowany dodatkowy wzmacniacz optyczny równolegle do wzmacniacza sygnału transportującego dane. Dodatkowy wzmacniacz wzmacnia sygnał wysłany z OTDR, a jego praca wyzwalana jest nadchodzącym impulsem OTDR przez dedykowany sterownik, dzięki czemu następuje wyeliminowanie szumu wzmacniacza w interwałach między impulsami OTDR. W konsekwencji umożliwia to otrzymanie wysokiej jakości reflektogramu dotyczącego odcinka za układem wzmacniającym. Obok ulepszonej architektury układu wzmacniającego sygnały koncepcja sterowania wzmacniacza OTDR nadchodzącym sygnałem stanowi kluczową innowację w zaproponowanym rozwiązaniu.

REZULTATY:

W publikacji wykazano możliwość detekcji usterek światłowodów w sieciach PON o przedłużonym zasięgu. Opisana metoda zwiększa zakres dynamiczny OTDR o 2 do 6 dB, co przekłada się na zwiększenie zasięgu nawet o 30 km światłowodu jednomodowego lub czterokrotny wzrost współczynnika podziału w sieci PON.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie jest przedmiotem udzielonego patentu [59]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo opracowania architektury głównego komponentu rozwiązania tj. układu wzmacniającego sygnał OTDR, którego punkt pracy jest tak dobrany, aby nie dochodziło do generowania szumu optycznego między kolejnymi impulsami sygnału testowego (dobór poziomu prądu zasilania) oraz dobór opóźnienia optycznego w celu synchronizacji wyzwalania impulsu elektrycznego podawanego jako sygnał sterujący wzmocnieniem wzmacniacza optycznego; ocena i opiniowanie wyników pomiarowych oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 20 %.

v. G. C. Amaral, L. E. Y. Herrera, D. Vitoreti, G. P. Temporão, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „WDM-PON Monitoring with Tuneable Photon Counting OTDR", IEEE Photonics Technology Letters, maj 2014, nr 13, tom 26, str. 1279-1282

STRESZCZENIE:

W publikacji omówiono detekcję usterek światłowodowych w sieci WDM-PON wykorzystujących demultiplekser długości fali w węźle optycznym sieci. Innowację stanowi wykorzystanie w środowisku sieci WDM-PON sprzętu OTDR z odbiornikiem zliczającym fotony[43], przestrajalnego źródła laserowego oraz wzmacniacza optycznego wyzwalanego w sposób zsynchronizowany z odbiornikiem zliczającym fotony. Zastosowanie takiego odbiornika zwiększa czułość układu odbiorczego i potencjalnie również zakres dynamiczny OTDR.

REZULTATY:

W omawianej publikacji wskazano na osiągalny zakres dynamiczny sięgający 32 dB, co stanowi osiągnięcie lepsze niż aktualnie stosowane przyrządy OTDR z przestrajalnym źródłem przy zachowaniu porównywalnych czasów pomiaru. Wykazano również brak wpływu sygnału PC-OTDR na sygnał danych.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć potencjalne zastosowanie w optycznych sieciach dostępowych WDM-PON.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo opracowania koncepcji monitorowania sieci WDM-PON z przestrajalnym źródłem światła o ograniczonej mocy i detektorem zliczającym fotony w celu utrzymania zasięgu pomiaru porównywalnego z tradycyjnym sprzętem OTDR wykorzystującym źródło światła o większej mocy całkowitej, ale ze względu na szerokopasmość źródła nienadające się do zastosowań w sieci opartej o multiplekser długości fali w węźle optycznym; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 15 %.

vi. D. C. Villafani, R. P. Almeida, P. J. Urban, J. C. W. A. Costa, J. P. von der Weid, J. Chen, „SCM/WDM-PON with In-Service Baseband Embedded OTDR Monitoring", Elsevier Optics Communications, grudzień 2015, tom 356, str. 250-255

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia temat monitorowania usterek światłowodowych w sieci ze zwielokrotnieniem podnośnej oraz zwielokrotnieniem w dziedzinie długości fali SCM/WDM-PON. Zaproponowane pionierskie rozwiązanie

[43] Ang. *Photon Counting OTDR*, PC-OTDR.

wykorzystuje pojedyncze źródło światła, jako nadajnik sygnału danych (częstotliwości podnośne dedykowane transmisji np. sygnału radiowego[44]) oraz nadajnik sygnału testowego (w paśmie podstawowym) do pomiarów reflektometrycznych linii w środowisku transmisji analogowej. Publikacja zawiera opis architektury nadajnika, szczegóły układu testowego oraz jego optymalizacji.

REZULTATY:

W omawianej pracy na podstawie wirtualnego modelu układu pomiarowego wykazano, że przy odpowiednim doborze współczynnika modulacji dla sygnału danych SCM i sygnału testowego pojedynczny nadajnik można wykorzystać do równoczesnej transmisji obu rodzajów sygnału z pomijalnym wpływem na sygnał danych.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w łączach MFH. Jest ono przedmiotem zgłoszenia patentowego habilitanta [60]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo zgłoszenia patentowego stanowiącego podstawę rozwiązania; opracowanie koncepcji monitorowania łączy wykorzystujących transmisję SCM, gdzie sygnał testowy o niskiej amplitudzie znajduje się w wolnym paśmie podstawowym nadajnika sygnału SCM; analiza wpływu sygnału testowego na sygnał danych oraz optymalizacja sygnału testowego poprzez odpowiednią dystrybucję indeksu modulacji na sygnały danych i sygnał testowy; ocena i opiniowanie wyników symulacji oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 30 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

P. J. Urban, „Fiber Monitoring in Analog Mobile Fronthaul", Proceedings of International Conference on Transparent Optical Network, nr WeB22, Trento, Italy, 2016: Nierecenzowana publikacja zaproszona podsumowuje i porównuje różne metody monitorowania łączy światłowodych wykorzystujące pojedyncze źródło jako nadajnik sygnału danych i sygnału testowego.

vii. **G. C. Amaral, J. D. Garcia, L. E. Y. Herrera, G. P. Temporão, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Automatic Fault Detection in WDM-PON with Tunable Photon Counting OTDR", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, grudzień 2015, nr 24, tom 33, str. 5025-5031**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia temat monitorowania usterek światłowodowych w sieci WDM-PON wykorzystujących demultiplekser długości fali w węźle optycznym sieci. Metoda wykorzystuje ulepszony przestrajalny OTDR z odbiornikiem zliczającym fotony, który jest przedmiotem wcześniejszej publikacji w zestawie, Publikacja (v).

REZULTATY:

W publikacji wskazano, że ulepszone, względem rozwiązania zaprezentowanego w Publikacji (v), cyfrowe przetwarzanie sygnału umożliwia monitorowanie wybranej sekcji łącza i skrócenie czasu pomiaru do 1 minuty przy utrzymaniu dynamicznego zasięgu OTDR na poziomie 32 dB. Wykazano brak wpływu sygnału PC-OTDR na sygnał danych. Stanowi to spełnienie kluczowych wymagań stawianych rozwiązaniom do monitorowania sieci.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć potencjalne zastosowanie w optycznych sieciach dostępowych następnej generacji (WDM-PON).

[44] Ang. *Radio over Fiber*, RoF.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo opracowania koncepcji monitorowania sieci WDM-PON z przestrajalnym źródłem światła o ograniczonej mocy i detektorem zliczającym fotony (tożsame z Publikacją (v)); pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 15 %.

viii. **P. J. Urban, G. C. Amaral, J. P. von der Weid, „Fiber Monitoring using a Subcarrier Band in a Subcarrier Multiplexed Radio-over-Fiber Transmission System for applications in Analog Mobile Fronthaul", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, lipiec 2016, nr 13, tom 34, str. 3118-3125**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia temat monitorowania usterek światłowodowych w sieci SCM/WDM-PON. Omówione rozwiązanie, podobnie jak w Publikacji (vi), wykorzystuje pojedyncze źródło światła jako nadajnik sygnału oraz nadajnik sygnału testowego do pomiarów reflektometrycznych linii światłowodowej. Fundamentalną różnicą i tym samym innowacją względem Publikacji (vi) jest umieszczenie sygnału testowego w obszarze wyższych częstotliwości tj. w paśmie wybranej częstotliwości podnośnej. Dzięki temu osiągnięto upraszczoną architekturę nadajnika i możliwość wykorzystania dowolnego kanału danych do transmisji sygnału testowego. Publikacja zawiera opis przykładowej architektury sieci pierścieniowej MFH, gdzie omawiana metoda może być zastosowana. Publikacja zawiera model analityczny rozwiązania oraz opis układu testowego.

REZULTATY:

W omawianej pracy na podstawie rzeczywistego układu testowego udowodniono możliwość wykorzystania pasma częstotliwości podnośnej w celu detekcji usterek linii światłowodowej z rozdzielczością 10 m oraz czułością 1 dB bez wpływu na sygnały danych transmitowanych na sąsiednich częstotliwościach podnośnych.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w łączach analogowych MFH o niewielkim budżecie strat ze względu na budżet mocy ograniczony do 7 dB. Jest ono przedmiotem zgłoszenia patentowego habilitanta [61]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo zgłoszenia patentowego stanawiącego podstawę rozwiązania; opracowanie koncepcji monitorowania łączy wykorzystujących transmisję SCM, gdzie sygnał testowy wykorzystuje pasmo jednej z częstotliwości podnośnych nadajnika sygnału SCM; opracowanie architektury wydajnej sieci dystrybucyjnej dla łączy MFH oraz dwukierunkowego węzła optycznego wspierającego pasywną sieć pierścieniową; analiza zaproponowanego modelu analitycznego; analiza potencjalnego wpływu sygnału testowego na sygnał danych; ocena i opiniowanie wyników pomiarów oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerami zewnętrznymi, których efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 30 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

G. C. Amaral, A. Baldivieso, J. D. Garcia, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Single-Ended In-Service Hybrid Monitoring of Fibre-Extended Copper Lines", Proceedings of European Conference on Optical Communication, nr Th2P2SC436, Dusseldorf, Niemcy, 2016: W tej publikacji udowodniono możliwość wykorzystania metody, omówionej w czasopiśmie, do monitorowania analogowych łączy hybrydowych tj. łączy miedzianych połączonych kaskadowo z łączem światłowodowym.

ix. **G. C. Amaral, L. E. Y. Herrera, M. M. Resende, G. P. Temporão, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Time-Polarization Multiplexing for Increased Output Power of Semiconductor Optical Amplifiers in Pulsed Regime", OSA Applied Optics, październik 2016, nr 28, tom 55, str. 7878-7884**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia innowacyjną metodę zwiększenia mocy nasycenia półprzewodnikowego wzmacniacza optycznego poprzez zastosowanie multipleksacji w dziedzinie czasu dla prostopadłych polaryzacji składowych sygnału wejściowego. Zaproponowany układ składa się z elementów kontrolujących polaryzację sygnału wejściowego i linię opóźniającą sygnał, który odpowiedzialny jest za podział sygnału wejściowego na dwie prostopadłe polaryzacje oraz przesunięcie ich w czasie względem siebie. Na wyjściu wzmacniacza, w układzie analogicznym do układu na wejściu, zregenerowany w procesie opartym o multipleksację polaryzacji.

REZULTATY:

Doświadczalnie osiągnięto 2 dB dodatkowego wzmocnienia, tzn. poziom sygnału wyjściowego był 2 dB wyższy od poziomu zadeklarowanej wyjściowej mocy saturacji wzmacniacza. Publikacja opisuje również możliwość kaskadowania wyżej opisanego układu wzmacniacza dzięki czemu można uzyskać jeszcze wyższą moc wyjściową.

ZASTOSOWANIE:

Omówione rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w systemach monitorowania linii optycznych wykorzystujących OTDR, w których pożądanym parametrem jest wysoki zakres dynamiczny OTDR. Poprawę tego parametru może przynieść wzmocnienie sygnału testowego za pomocą wzmacniaczy półprzewodnikowych.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo koncepcji układu zwiększającego efektywne wzmocnienie układu opartego o wzmacniacz półprzewodnikowy poprzez osobne wzmocnienie modów polaryzacyjnych oraz analiza możliwości kaskadowania takich układów w celu dalszego zwiększania mocy wyjściowej; ocena i opiniowanie wyników pomiarów oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerami zewnętrznymi, których efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 10 %.

x. **D. C. Villafani, L. E. Y. Herrera, G. C. Amaral, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Experimental Demonstration of SCM-PON Monitoring with Baseband Embedded OTDR", Taylor & Francis Group, LLC, Fiber and Integrated Optics, styczeń 2017, nr 1-2, tom 36, str. 59-67**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia metodę multipleksacji sygnału testowego w paśmie podstawowym z sygnałami danych na częstotliwościach podnośnych – koncepcja tożsama z Publikacją (vi). Innowacyjnością, wokół której skupia się omawiana publikacja, jest multipleksacja tych sygnałów po stronie optycznej. Sygnały nałożone są na nośne pochodzące z tego samego źródła, lecz o prostopadłych polaryzacjach, co umożliwia zwiększenie współczynnika modulacji dla obu sygnałów względem wariantu, w którym multipleksacja odbywa się po stronie elektrycznej. W konsekwencji umożliwia to zwiększenie zasięgu dynamicznego dla wszystkich sygnałów.

REZULTATY:

Doświadczalnie osiągnięto rozdzielczość pomiaru 10 m oraz 12 dB zakresu dynamicznego dla sygnału OTDR z pomijalnym wpływem na sygnał danych.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w łączach analogowych MFH o umiarkowanym budżecie strat ze względu na budżet mocy ograniczony do 12 dB. Jest ono przedmiotem zgłoszeń patentowych habilitanta [60, 62]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo zgłoszeń patentowych stanowiących podstawę rozwiązania; współautorstwo koncepcji monitorowania łączy wykorzystujących transmisję SCM, gdzie sygnał testowy znajduje się w wolnym paśmie podstawowym nadajnika sygnału SCM, ale jego multipleksacja z sygnałem SCM odbywa się po stronie optycznej; analiza wpływu sygnału testowego na sygnał danych spowodowanego nieoptymalną względną orientacją polaryzacji sygnałów składowych; ocena i opiniowanie wyników symulacji oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 15 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

D. C. Villafani, L. E. Y. Herrera, G. C. Amaral, J. P. von der Weid, P. J. Urban, „Experimental Demonstration of Sub-Carrier Multiplexed/Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network Monitoring with Baseband Embedded Optical Time Domain Reflectometer", Proceedings of International Conference on Ultra-Modern Telecommunication and Control Systems, Lizbona, Portugalia, październik 2016: Publikacja stanowi zarys tematu dla obszerniejszej publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

xi. **G. C. Amaral, A. Baldivieso, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Single-Ended In-Service Hybrid Monitoring of Fiber-Extended Copper Lines", IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, marzec 2017, nr 3, tom 9, str. 198-206**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia ponierskie rozwiązanie monitorowania analogowych łączy hybrydowych tj. łączy miedzianych połączonych kaskadowo z łączem światłowodowym wykorzystującym multipleksację SCM. Zaproponowane rozwiązanie bazuje na metodzie służącej do monitorowania łączy światłowodowych wykorzystujących transmisję SCM omówionej w Publikacji (viii). W celu adaptacji wspomnianej metody do łączy hybrydowych zaproponowano media-konwerter konwertujący analogowy sygnał optyczny na analogowy sygnał elektryczny z funkcją przekazu sygnału testowego do linii miedzianej oraz sygnału zwrotnego, tj. echa, przy równoczesnym utrzymaniu transmisji danych w innych kanałach SCM. Analiza odebranego sygnału testowego zarówno z linii światłowodowej jak i linii miedzianej odbywa się w jednostce centralnej tj. na początku linii światłowodowej.

REZULTATY:

Doświadczalnie wykazano możliwość monitorowania łączy w czasie pracy sieci z rozdzielczością 10 m i zakresem dynamicznym 7 dB po stronie światłowodu oraz możliwość monitorowania łączy miedzianych o zasięgu 100 m i błędem pomiaru lokalizacji usterki mniejszej niż 1 m.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może być zastosowane w łączach MFH, gdzie z jednej strony ze względu ekonomicznego należy wykorzystać istniejącą infrastrukturę miedzianą, a z drugiej strony konieczne jest przedłużenie zasięgu łącza przez zastosowanie światłowodu. Rozwiązanie jest przedmiotem zgłoszenia patentowego habilitanta [61]. Tym samym pomysł ten stanowi potencjalne rozwiązanie w produktach firmy Ericsson AB.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo zgłoszenia patentowego stanowiącego podstawę rozwiązania; współautorstwo koncepcji monitowania łączy hybrydowych, architektury media-konwertera, hybrydowej sieci odniesienia; ocena i opiniowanie wyników symulacji oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 20 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

G. C. Amaral, A. Baldivieso, J. D. Garcia, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Single-Ended In-Service Hybrid Monitoring of Fibre-Extended Copper Lines", Proceedings of European Conference on Optical Communication, nr Th2P2SC436, Dusseldorf, Niemcy, 2016: Publikacja stanowi zarys tematu dla obszerniejszej publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

xii. **G. C. Amaral, D. C. Villafani, A. Baldivieso, J. D. Garcia, R. G. Leibel, L. E. Y. Herrera, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „A Low-Frequency Tone Sweep Method for in-Service Fault Location in Sub-Carrier Multiplexed Optical Fiber Networks", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, lipiec 2016, nr 10, tom 35, str. 1558-2213, (DOI 10.1109/JLT.2017.2678984)**

STRESZCZENIE:

Publikacja omawia metodę służącą do monitorowania łączy optycznych z multipleksacją SCM. Zaproponowane rozwiązanie jednoczy w sobie zalety wcześniej omawianych metod wykorzystujących sygnał testowy umieszczony w paśmie podstawowym nadajnika SCM (Publikacja (x)) oraz oraz w paśmie wybranego kanału SCM (Publikacja (viii) i Publikacja (xi)). Innowacyjność tutaj omawianego rozwiązania polega na wykorzystaniu pasma niskich częstotliwość dla sygnału testowego, dzięki czemu następuje jednoczesne obniżenie kosztów rozwiązania poprzez wykorzystanie tańszych komponentów oraz zwiększenie czułości pomiaru i urzeczywistnienie idei monitorowania sieci w czasie normalnej pracy wszystkich jej łączy. Jest to szczególnie ważne przy występowaniu błędów o niewielkiej magnitudzie strat wtrąceniowych, które niezakłócają normalnego stanu pracy łącza, ale jednocześnie stanowią wczesne wskazanie przyszłej poważniejszej degradacji łącza.

REZULTATY:

Doświadczalnie wskazano na możliwość detekcji usterek z rozdzielczością 10 m, magnitudzie strat wtrąceniowych 0.5 dB i całkowitym zakresie dynamicznym do 7 dB oraz pomijalnym wpływem na sygnał danych. W zaprezentowanym układzie wczesno-prototypowym wymagany czas pomiaru wynosił 2 minuty.

ZASTOSOWANIE:

Opisane rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w łączach analogowych MFH o niewielkim budżecie strat ze względu na ograniczony zakres dynamiczny zaproponowanej metody. Rozwiązanie to może być szczególnie przydatne w krytycznych instalacjach, gdzie monitorowanie łączy musi odbywać na bieżąco z dużą czułością oraz pomijalnym wpływem na sygnał danych np. w łączach MFH dla stacji radiowych o dużym zasięgu.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Analiza pomiarów wpływu na sygnał danych, metoda optymalizacji prototypu poprzez odpowiednią dystrybucję całkowitego współczynnika modulacji na sygnały danych i sygnał testowy; ocena i opiniowanie wyników pomiarów oraz raportów; pomysłodawca, inicjator i kierownik oraz odbiorca wyników projektu współpracy z partnerem zewnętrznym, którego efektem są rezultaty zawarte w publikacji. Udział procentowy: 10 %.

POWIĄZANE PUBLIKACJE KONFERENCYJNE:

G. C. Amaral, J. D. Garcia, B. F. Santos, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „In-Service Location of Multiple Fiber Faults in WDM/SCM-PONs with Low-Frequency Stepwise Sweep and l1 Regularization", Proceedings of Optical Networking and Communication Conference, Los Angeles, Kalifornia, USA, marzec 2017, nr Tu2K3: Publikacja stanowi zarys tematu dla obszerniejszej publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

R. G. Leibel, P. J. Urban, J. P. von der Weid, „Fault Localization and Estimation Method using Sub-Carrier Multiplexed Low Frequency Tone Sweep", Proceedings of International Conference and Exhibition on Optics and Electro-Optics, Tel Aviv, Izrael, luty 2017, str. 167: Publikacja stanowi streszczenie publikacji w czasopiśmie omówionej powyżej.

Udzielone patenty:

i. **P. J. Urban, „Optical Time Domain Reflectometer Trace Analysis in Passive Optical Network Systems", 2014/05/13, US8724102B2 (pierwszy udzielony patent), GB2656515, NL2656515, DE602010022372.8, EP2656515**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy podstawowego modelu matematycznego do analizy wyników pomiarów OTDR i OTM w sieci PON. Wyniki te można powiązać zależnościami matematycznymi, które następnie służą do wyliczenia rzeczywistych wartości strat wtrąceniowych wykrytych usterek. Jest to przydatne w przypadku wystąpienia skomplikowanych scenariuszy usterek tj. wiele usterek w wielu liniach na odcinku od węzła do ONT/ONU.

ZASTOSOWANIE:

Model matematyczny będący przedmiotem udzielonego patentu stanowi podstawę algorytmu służącego do interpretacji reflektogramu OTDR zastosowanego w każdym prototypie FPM i APM.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Całość. Udział procentowy: 100 %.

ii. **P. J. Urban, M. Cen, „Supervision of Wavelength Division Multiplexed Optical Networks", 2015/04/14, US9008503B2 (pierwszy udzielony patent), FR2689543, GB2689543, DE602011021728.3, RU2557557, AU2011363087, EP2689543**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy ponierskiej koncepcji rozwiązania do monitorowania sieci WDM-PON wykorzystującej AWG z wieloma portami wejściowymi i wyjściowymi w węźle sieci (NxN) wraz z aktywnym przełącznikiem, który przekierowuje sygnał OTDR do odpowiednich grup portów wejściowych za pośrednictwem pasywnych dzielników mocy. Wykorzystanie periodycznej odpowiedzi spektralnej AWG pozwala sprzężyć sygnał danych z sygnałem testowym na portach wyjściowych z AWG. Natomiast wykorzystanie wielu portów wejściowych AWG pozwala na zastosowanie jednej długości fali dla sygnału testowego. Równoczesne wysłanie sygnału testowego do wielu portów wejściowych, z jednej strony wymaga zaawansowanej interpretacji reflektogramu (np. Patent (i)), ale z drugiej strony skraca cykl pomiaru całej sieci.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi podstawę do projektowania zdalnych węzłów optycznych wspierających szczegółowe monitorowanie ODN aż do ONT/ONU w sieciach opartych o AWG.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Opracowanie architektury węzła sieci WDM-PON. Udział procentowy: 60 %.

iii. **P. J. Urban, J. Chen, „Arrangement at a Remote Node, a Remote Node, a Central Office and Respective Methods therein for Supervision of a Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network", 2015/04/28, US9020349B2 (pierwszy udzielony patent), GB2832018, DE602012018564.3, EP2832018**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy innowacyjnej koncepcji architektury zdalnego węzła w sieci WDM-PON w oparciu o demultiplekser AWG ze zredukowaną ilością portów wejściowych (MxN, gdzie M<N) wspierający funkcję monitorowania sieci dystrubycyjnej. Monitorowanie odbywa się w oparciu o OTDR z zewnętrznym modułem do przestrajania długości fali. Koncepcja wykorzystuje cykliczną odpowiedź spektralną AWG do ulokowania kanałów

falowych OTDR. Zaproponowane tutaj koncepcje dotyczą wariantów sieci z ochroną światłowodu od OLT do węzła optycznego poprzez zastosowanie dodatkowego równoległego przewodu światłowodowego.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi podstawę do projektowania zdalnych węzłów optycznych wspierających szczegółowe monitorowanie optycznej sieci dystrybucyjnej aż do zakończenia linii optycznej po stronie odbiorcy.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Opracowanie podstawowej architektury węzła z wykorzystaniem MxN AWG, na bazie której opracowane zostały koncepcje węzłów dla sieci z ochroną światłowodu od OLT do węzła. Udział procentowy: 50 %.

iv. **P. J. Urban, G. Vall-llosera, „Passive Optical Network Supervision using Optical Time Domain Reflectometer Measurements", 2015/05/27, EP2719094B1 (pierwszy udzielony patent), GB2719094, NL2719094, DE602011016804.5, US9287971**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy innowacyjnej koncepcji architektury rozwiązania do monitorowania sieci PON w oparciu o OTDR z zewnętrznym modułem do przestrajania długości fali. Zaproponowany konwerter długości fali wykorzystuje przestrajane źródło laserowe z zewnętrzną modulacją amplitudy w kierunku transmisji do sieci ODN oraz by-pass w kierunku do odbiornika OTDR. Zaproponowana koncepcja została opracowana dla wielu różnych architektur optycznej sieci dystrybucyjnej różniących się m. in. całkowitym współczynnikiem podziału oraz architekturą kaskady. Zaletą rozwiązania jest możliwość wykorzystania istniejącego sprzętu OTDR.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi podstawę do projektowania zdalnych węzłów optycznych wspierających szczegółowe monitorwanie optycznej sieci dystrybucyjnej aż do zakończenia linii optycznej po stronie odbiorcy.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Opracowanie architektury zewnętrznego modułu do konwersji długości fali oraz architektury zdalnych węzłów optycznych. Udział procentowy: 60 %.

v. **G. Vall-llosera, P. J. Urban, L. Giorgi, „Optical Transceiver Monitoring Functionality in Semiconductor Optical Amplifier Based Transceivers", 2015/07/21, US9088838B2**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy koncepcji monitorowania sieci WDM-PON wykorzystującej odbiciowy wzmacniacz półprzewodnikowy[45]. Polega ona na wprowadzeniu RSOA w stan nasycenia poprzez dostarczenie prądu DC oraz stałej mocy optycznej na wejściu wzmacniacza. W przypadku zmian optycznej mocy wyjściowej, np. wywołanej przez usterkę światłowodu, poziom prądu DC zostanie dostosowany tak, aby utrzymać RSOA w stanie nasycenia. Wymagane zmiany prądu DC stanowią źródło informacji na temat stanu linii światłowodowej dochodzącej do RSOA i mogą zostać wykorzystane jako dane w rozwiązaniach do monitorowania sieci PON. Wprowadzenie RSOA w stan nasycenia można wywołać zaplanowaną serią impulsów optycznych o wysokiej mocy wysłanych z OLT. Wykorzystanie zmian prądu DC w RSOA do diagnozy linii optycznej jest główną innowacją zawartą w patencie.

[45] Ang. *Reflective Semiconductor Optical Amplifier*, RSOA.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi kluczową zintegrowaną funkcję monitorowania sieci ODN w przyszłych standardach sieci dostępowych wykorzystujących WDM i RSOA.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Opracowanie idei monitorowania zmian prądu DC w celu pomiaru zmian mocy optycznej na wejściu odbiciowego wzmacniacza półprzewodnikowego pracującego w stanie nasycenia. Udział procentowy: 34 %.

vi. **P. J. Urban, G. Vall-llosera, „Methods and Apparatuses for Supervision of Optical Networks", 2015/11/04, DE602011021245.1 (pierwszy udzielony patent), GB2748949, EP2748949, US9231696**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy innowacyjnej koncepcji architektury zdalnego węzła w sieci WDM-PON w oparciu o demultiplekser AWG ze zredukowaną ilością portów wejściowych (MxN, gdzie M<N) wspierający funkcję monitorowania sieci. Monitorowanie odbywa się w oparciu o OTDR z zewnętrznym konwerterem długości fali. Koncepcja wykorzystuje cykliczną odpowiedź spektralną AWG do ulokowania kanałów falowych OTDR.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi podstawę do projektowania zdalnych węzłów optycznych wspierających szczegółowe monitorowanie optycznej sieci dystrybucyjnej aż do zakończenia linii optycznej po stronie odbiorcy.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Opracowanie architektury węzła sieci WDM-PON. Udział procentowy: 75 %.

vii. **P. J. Urban, „Optical Time Domain Reflectometer Trace Analysis in Passive Optical Network Systems", 2016/03/08, US9281892**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy zaawansowanego modelu matematycznego do analizy wyników pomiarów OTDR i OTM w sieciach PON o architekturze kaskady. Wyniki te można powiązać zależnościami matematycznymi, które następnie mogą służyć do wyliczenia rzeczywistych wartości strat wtrąceniowych wykrytych usterek w sieciach o skomplikowanych architekturach np. kaskady dzielników mocy. Jest to przydatne w przypadku wystąpienia skomplikowanych scenariuszy usterek tj. wiele usterek w wielu liniach na odcinku od węzła do ONT/ONU. W odróżnieniu od Patentu (i), algorytm będący przedmiotem tego patentu wykorzystuje pomysł zagnieżdżonych macierzy, gdzie każda kolejna zagnieżdżona macierz odpowiada łączu dystrybucyjnemu podłączonemu z jednej strony do dzielnika wyższego rzędu a na przeciwległym końcu obejmuje dzielnik niższego rzędu wraz z jego podsiecią.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi kluczową funkcję monitorowania sieci ODN w potencjalnym produkcie.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Całość. Udział procentowy: 100 %.

viii. **P. J. Urban, J. Chen „Routing in a Wavelength Division Multiplexing-based Passive Optical Network", 2017/01/10, US9544669**

STRESZCZENIE:

Udzielony patent dotyczy innowacyjnej koncepcji architektury zdalnego węzła w sieci WDM-PON w oparciu o demultiplekser AWG z wieloma portami wejściowymi i wyjściowymi (MxN) wspierający funkcję monitorowania sieci dystrubycyjnej. Zaproponowane tutaj koncepcje dotyczą wariantów sieci, gdzie dostęp do węzła może mieć wielu operatorów poprzez dedykowane łącza z OLT do węzła (model *open access*) a sygnał testowy jest przesyłany dedykowanym włóknem z OLT do węzła lub włóknem współdzielonym z sygnałem danych. Patent zawiera również metodę doboru długości fali dla sygnału testowego w zależności do architektury węzła.

ZASTOSOWANIE:

Zaproponowane rozwiązanie stanowi podstawę do projektowania zdalnych węzłów optycznych sieci WDM-PON wykorzystujących AWG w węźle zasilanym przez więcej niż jeden światłowód z OLT.

WKŁAD I ROLA HABILITANTA:

Współautorstwo architektury węzłów oraz metody doboru długości fali dla sygnału testowego. Udział procentowy: 50 %.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

a. Okres przed doktoratem (2004-2009) [1]:

- Projekt i realizacja modelu wirtualnego i rzeczywistego oraz praktyczne udowodnienie koncepcji dynamicznie rekonfigurowanej optycznej sieci dostępowej wykorzystującej zwielokrotnienie w dziedzinie czasu i dziedzinie długości fali oraz łączącej 64 jednostki optyczne wspierające odbiór i transmisję 1-10 Gb/s.
- Opracowanie trzech wariantów koncepcji bezźródłowego i niezależnego od długości fali modułu nadawczo-odbiorczego dla jednostek optycznych w sieci PON w oparciu o RSOA, odbiciowy modulator elektroabsorpcyjny oraz interferometr Michelson'a.
- Opracowanie i realizacja wydajnej metody redukcji wpływu przesłuchu interferometrycznego na transmisję w łączach sieci WDM-PON wykorzystującej odbiciowe jednostki optyczne.
- Ewaluacja router'a optycznego skonstruowanego na bazie zintegrowanych mikro-rezonatorów pierścieniowych do zastosowań jako elementu przełączającego długości fali w optycznej sieci dostępowej.
- Badania maksymalnego pasma transmisji oraz fizycznego zasięgu łącza wykorzystującego moduł nadawczy oparty o odbiciowy modulator elektro-absorpcyjny.

b. Okres po doktoracie (2009-2016):

- Opracowanie architektury światłowodowej sieci pierścieniowej dla zastosowań w łączach typu „światłowód do stacji czołowej"[46] tj. sekcji transportowej dla sieci łączących jednostki radiowe/antenowe ze stacjami bazowymi, wraz z metodą monitorowania optycznej sieci dystrybucyjnej [63, 64, 65].
- Opracowanie jednej koncepcji oraz współautorstwo opracowania drugiej koncepcji architektury modułów nadawczo-odbiorczych poprawiających wartość współczynnika sygnału do szumu w transmisji SCM [66, 67].

[46] Ang. *Fiber to the Radio-head*, FTTRh.

- Współautorstwo opracowania koncepcji implementacji pomiaru opóźnienia sygnału w systemie wykorzystującym transmisję SCM [68].
- Współautorstwo opracowania modelu oraz uczestnictwo w testach łącza *Radio-over-Fiber* transmitującego sygnał Wi-Fi na dystans 17 km [22][47].
- Współautorstwo opracowania koncepcji oraz uczestnictwo w testach hybrydowego łącza światłowodowo-miedzianego transmitującego sygnał LTE na dystans do 40 km[48].
- Studium techno-ekonomiczne sekcji transportowej sieci łączącej jednostki radiowe o niskiej mocy[49] [69] ze stacjami bazowymi wykorzystującymi analogowe przesyłanie sygnału radiowego za pomocą SCM i WDM[50].
- Uczestnictwo w testach optycznego układu formującego wiązkę radiową[51] przy wykorzystaniu optycznych światłowodów mikrostrukturalnych[52] [70][53].
- Opracowanie przypadków potencjalnego zastosowania przesyłu sygnału LTE z wykorzystaniem optyki wolnej przestrzeni[54] w ramach współpracy z Instytutem ACREO w Sztokholmie[55].
- Opracowanie architektury światłowodowej sieci dostępowej w technologii WDM-PON z wykorzystaniem odbiciowych wzmacniaczy półprzewodnikowych w OLT i ONU/ONT [71].
- Podczas stażu podoktorskiego kontynuacja badań z okresu przed doktoratem nt. redukcji wpływu przesłuchu wewnątrz-kanałowego w sieciach WDM-PON [72].

[47] Szczegółowe rezultaty zostały ujęte w raporcie wewnętrznym Ericsson AB.
[48] Szczegółowe rezultaty zostały ujęte w raporcie wewnętrznym Ericsson AB.
[49] Ang. *Small Cell*.
[50] Szczegółowe rezultaty zostały ujęte w raporcie wewnętrznym Ericsson AB.
[51] Ang. *Optical Beam Forming*, OBF.
[52] Ang. *Microstructural Optical Fiber*, MOF.
[53] Szczegółowe rezultaty zostały ujęte w raporcie wewnętrznym Ericsson AB.
[54] Ang. *Free Space Optics*, FSO.
[55] Szczegółowe rezultaty zostały ujęte w raporcie wewnętrznym Ericsson AB.

Wykaz skrótów

10GPON	- 10 Gigabit PON
APM	- Access Plant Manager
AWG	- Arrayed Waveguide Grating
CNIT	- Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Telecomunicazioni
ER-PON	- Extended-Reach PON
EWAM	- External Wavelength Adaptation Module
FPM	- Fiber Plant Manager
FSAN	- Full Service Access Network
FSO	- Free Space Optics
FTTA/B/H/N/P/Rh/x	- Fiber To The Antenna/Building/Home/Node/Premise/Radio-head/x
HDTV	- High Definition Television
IEC	- International Electrotechnical Commission
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU-T	- International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization
LSDI	- Large Screen Digital Imagery
MBH	- Mobile Backhaul
MFH	- Mobile Fronthaul
MOF	- Microstructural Optical Fiber
MTTR	- Mean Time to Repair
NGA	- Next Generation Access
OBF	- Optical Beam Forming
ODN	- Optical Distribution Network
OFDR	- Optical Frequency Domain and Reflectometry
OLS	- Optical Line Supervision
OLT	- Optical Line Termination
ONT	- Optical Network Terminal
ONU	- Optical Network Unit
OSA	- Optical Society of America
OTDR	- Optical Time Domain Reflectometry
OTM	- Optical Transceiver Monitoring
PC-OTDR	- Photon Counting OTDR
PON	- Passive Optical Network
RBS	- Radio Base Station
REAM	- Reflective Electro-Absorption Modulator
RoF	- Radio over Fiber
RSOA	- Reflective Semiconductor Optical Amplifier
SCM	- Sub-Carrier Multiplexing
SDTV	- Standard Definition Television
TDM	- Time Division Multiplexing
TU/e	- Technische Universiteit Eindhoven
TWDM	- Time/Wavelength Division Multiplexing
WDM	- Wavelength Division Multiplexing
WiFi	- Wireless Fidelity
VoD	- Video on Demand
ZUT	- Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny (West Pomeranian University of Technology)

Odwołania

[1] P. J. Urban, „Praca dyplomowa (dr): Dynamically Reconfigurable Optical Access Network", Eindhoven, Holandia: Eindhoven University of Technology, 2009.

[2] P. J. Urban, „Praca dyplomowa (mgr inż.): Solitony Fotorefrakcyjne - Rodzaje, Właściwości i Perspektywy Zastosowań", Szczecin, Polska: Politechnika Szczecińska, 2004.

[3] „Five Year Broadband Subscriber Forecasts - to end 2018," 31 maj 2013. [Online]. Available: http://point-topic.com/free-analysis/five-year-broadband-subscriber-forecasts-to-end-2018/.

[4] „Fibre Systems: The Rise of Gigabit Broadband in Europe," 31 marzec 2015. [Online]. Available: http://www.fibre-systems.com/feature/rise-gigabit-broadband-europe.

[5] A. Aurelius, Å. Arvidsson, P. Heegard, B. Villa, M. Kihl i Y. Zhang, „How Much of the Bandwidth Do We Actually Use? An Investigation of Residential Access Traffic Load," w *Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks*, nr MoB31, Coventry, Wielka Brytania, lipiec 2012.

[6] FTTH Council Europe, „Raport FTTH Council Europe," w *Proceedings of FTTH Conference*, Warszawa, Polska, 2015.

[7] P. J. Urban, „Optyczna Rewolucja," *IDG Computerworld Polska,* nr 47, pp. 14-15, 2007.

[8] J. Kendall, „VDSL, G.Fast, and Next-Gen FTTH Strategies and Vendor Leadership - Global Service Provider Survey," Infonetics Research, 2015.

[9] M. Forzati, „Socio-Economic Effects of FTTH/FTTX in Sweden," w *Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks*, nr ThA25, Coventry, Wielka Brytania, czerwiec 2012.

[10] T. Białobłocki, J. Moroz, M. N. Konopka i L. W. Zacher, „Społeczeństwo Informacyjne. Istota, Rozwój, Wyzwania", Warszawa: Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, 2006.

[11] A. Bard i J. Söderqvist, „Netokracja. Nowa Elita Władzy i Życie po Kapitalizmie", Warszawa: Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, 2006.

[12] G. Chua, „Wires vs Wireless: The Case for Wireless Broadband Technology in Emerging Markets," *White Paper,* wrzesień 2008.

[13] Komisja Europejska, „Commission and European Investment Bank announce a fund for broadband infrastructure open to participation of National Promotional Banks and Institutions and of private investors," 12 grudzień 2016. [Online]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4351_en.htm.

[14] R. L. Maistre, „Light Reading: BT Preps 'Landmark' FTTC Investment," UBM Tech, 26 czerwiec 2013. [Online]. Available: http://www.lightreading.com/fttx/bt-preps-landmark-fttc-investment/240124849.

[15] E. Ackerman, „IEEE Spectrum: Google gets into Your Face," 31 grudzień 2012. [Online]. Available: http://spectrum.ieee.org/consumer-electronics/gadgets/google-gets-in-your-face.

[16] Ericsson, „Ericsson Mobility Report," Ericsson AB, Stockholm, 2013.

[17] „Lightwave: PON Becoming More Attractive for Mobile Backhaul Says Ovum Analyst," 29 maj 2013. [Online]. Available: http://www.lightwaveonline.com/articles/2013/05/pon-becoming-more-attractive-for-mobile-backhaul-says-ovum-analy.html?cmpid=EnlDirectMay292013.

[18] P. Rigby, „Mobile Fronthaul: a New Optical Opportunity," *Fibre Systems,* nr 6, pp. 22-25, 2015.

[19] T. Pfeiffer, „Next Generation Mobile Fronthaul Architectures," w *Proceedings of Optical Fiber Communications Conference and Exposition/National Fiber Optic Engineers Conference*, nr M2J7, Anaheim, USA, 2015.

[20] A. Pizzinat, P. Chanclou, F. Saliou i T. Diallo, „Things You Should Know About Fronthaul," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology,* tom 33, nr 5, pp. 1077-1083, 2015.

[21] Nokia, „Nokia next generation fiber technology delivers high capacity, low latency mobile transport solution for 5G era," 17 luty 2017. [Online]. Available: http://www.nokia.com/en_int/news/releases/2017/02/14/nokia-next-generation-fiber-technology-delivers-high-capacity-low-latency-mobile-transport-solution-for-5g-era.

[22] G. Vall-llosera, B. Dortschy i P. J. Urban, „Small Cell Strategy: Meeting the Indoor Challenge," w *Proceedings of International Conference on Communications*, pp. 392-396, Sydney, Australia, 2014.

[23] R. Baldemair, E. Dahlman, G. Fodor, G. Mildh, S. Parkvall, Y. Selen, H. Tullberg i K. Balachandran, „Evolving Wireless Communications: Addressing the Challenges and Expectations of the Future," *IEEE Vehicular Technology Magazine,* tom 8, nr 1, pp. 24-30, 2013.

[24] „Wikipedia: Femtocell," 23 czerwiec 2013. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell.

[25] „Lightwave: Smart Grids in China a Big Opportunity for PON Technology, says Ovum," 09 styczeń 2013. [Online]. Available: http://www.lightwaveonline.com/articles/2013/01/smart-grids-in-china-a-big-opportunity-for-pon-technology-says-ovum.html?cmpid=EnlDirectJanuary92013.

[26] International Telecommunication Union, „G.987.1: 10-Gigabit-capable Passive Optical Networks (XG-PON): General Requirements," styczeń 2010. [Online]. Available: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.987.1-201001-I!!PDF-E&type=items.

[27] J. Kunstler, „Wireline Access Back in Favour," *Optical Connections,* nr 4, pp. 22-23, 2015.

[28] D. Nesset, „NGPON2 Technology and Standards," w *Proceedings of European Conference on Optical Communications*, nr Mo411, Cannes, Francja, 2014.

[29] International Telecommunication Union, „G.989.1: 40-Gigabit-capable Passive Optical Networks (NG-PON2): General Requirements," marzec 2013. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.989.1-201303-I!!PDF-E&type=items.

[30] P. J. Urban, „Optyczne Sieci Dostępowe: Perspektywy Rozwoju," *IDG Networld Polska,* nr 2, pp. 42-43, luty 2013.

[31] P. Iannone, D. van Veen, A. Ganuck i V. Houtsma, „Extending Capacity in Access Beyond NG-PON2: WDM vs. TDM," w *Proceedings of European Conference on Optical Communication*, nr Mo445, Valencia, Spain, wrzesień 2015.

[32] F. J. Effenberger, „Industrial Trends and Roadmap of Access," w *Proceedings of European Conference on Optical Communications*, pp. 541-543, Dusseldorf, Germany, 2016.

[33] P. J. Urban, A. Getaneh, J. P. von der Weid, G. P. Temporão, G. Vall-llosera i J. Chen, „Detection of Fiber Faults in Passive Optical Networks," *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking,* tom 5, nr 11, pp. 1111-1121, listopad 2013.

[34] K. Casier, S. Verbrugge, R. Meersman, D. Colle, M. Pickavet i P. Demeester, „A Clear and Balanced View on FTTH Deployment Costs," *Journal of the Institute of Telecommunications Professionals,* tom 2, nr 3, pp. 27-30, 2008.

[35] D. R. Anderson, L. Johnson i F. G. Bell, „Troubleshooting Optical-fiber Networks", London: Elsevier Academic Press, 2004.

[36] International Telecommunication Union, "G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification, Amendment 2," marzec 2008. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.984.2-200803-I!Amd2!PDF-E&type=items.

[37] P. J. Urban, „Drop-Link Monitoring in Passive Optical Networks," w *Proceedings of International Conference on Transparent Optical Network*, nr MoB33, Coventry, Wielka Brytania, lipiec 2012.

[38] „Lightwave: OTDRs for remote fiber testing and monitoring valued at $230.6 million by 2021: ElectroniCast," 5 styczeń 2017. [Online]. Available: http://www.lightwaveonline.com/articles/2017/01/otdrs-for-remote-fiber-testing-and-monitoring-valued-at-230-6-million-by-2021-electronicast.html.

[39] C. Shen, "Experiences and Future Perspectives of China Telecom on Optical Access Networks," in *Proceedings of Optical Networking and Communication Conference & Exhibition*, nr M2I4, San Diego, USA, 2017.

[40] International Telecommunication Union, „L.25/L.300: Optical Fibre Cable Network Maintenance," styczeń 2015. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.300-201501-I/en.

[41] International Telecommunication Union, „L.41/L.301: Maintenance wavelength on fibres carrying signals," luty 2016. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.301-200005-I/en.

[42] International Telecommunication Union, „L.40/L.302: Optical fibre outside plant maintenance support, monitoring and testing system," luty 2016. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.302-200010-I/en.

[43] International Telecommunication Union, „L.310: Optical fibre maintenance depending on topologies of access networks," sierpień 2016. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-L.310-201604-I!!PDF-E&type=items.

[44] International Telecommunication Union, „L.66/L.313: Optical fibre cable maintenance criteria for in-service fibre testing in access networks," luty 2016. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.313-200705-I/en.

[45] International Telecommunication Union, „L.85/L.314: Optical fibre identification for the maintenance of optical access networks," luty 2016. [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/T-REC-L.314-201007-I/en.

[46] International Electrotechnical Commission, „61753-041-2:2014: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Performance standard - Part 041-2: Non-connectorized single-mode OTDR reflecting device for category C - Controlled environment," maj 2014. [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/publication/5780.

[47] International Electrotechnical Commission, „61753-042-2:2014: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Performance standard - Part 042-2: Plug-pigtail-style and plug-receptacle-style of OTDR reflecting devices for category C - Controlled environments," sierpień 2014. [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/publication/5781.

[48] S. Dahlfort, P. J. Urban i D. Hood, „PON Supervision Concepts," w *FSAN Standardization Meeting Repository*, San Diego, USA, listopad 2011.

[49] P. J. Urban, G. Vall-llosera i E. Medeiros, „Attenuation Events, OLM Parameters," w *FSAN Standardization Meeting Repository*, Santa Clara, USA, czerwiec 2012.

[50] P. J. Urban, „Optical Time Domain Reflectometry Trace Analysis in Passive Optical Network Systems". Patent US8724102B2, 13 maj 2014.

[51] P. J. Urban i S. Dahlfort, „Drop-Fiber Fault Detection and Energy-Efficiency of PON Supervision," w *FSAN Standardization Meeting Repository*, Huntsville, USA, luty 2012.

[52] P. J. Urban, G. Vall-llosera, E. Medeiros, D. Hood, L. Lu, Z. Xiaoxia i L. Ying, „OTDR Wavelength Study," w *FSAN Standardization Meeting Repository*, Santa Clara, USA, czerwiec 2012.

[53] F. Cavaliere, S. Dahlfort, P. J. Urban i D. Hood, „X/S Analysis for OTDR Interferer on XG-PON1," w *FSAN Standardization Meeting Repository*, Tokyo, Japonia, styczeń 2011.

[54] P. J. Urban i G. Vall-llosera, „Passive Optical Network Supervision based on Externally Tuneable Optical Time Domain Reflectometer". Patent GB2719094 (pierwszy udzielony patent), NL2719094, DE602011016804.5, US9287971, EP2719094, 27 maj 2015.

[55] P. J. Urban i M. Cen, „Supervision of Wavelength Division Multiplexed Optical Networks". Patent US9008503 (pierwszy udzielony patent), FR2689543, GB2689543, DE602011021728.3, RU2557557, AU2011363087, EP2689543, 14 kwiecień 2015.

[56] P. J. Urban i G. Vall-llosera, „Methods and Apparatuses for Supervision of Optical Networks". Patent DE602011021245.1 (pierwszy udzielony patent), GB2748949, US9231696, EP2748949, 04 listopad 2015.

[57] P. J. Urban, „Optical Time Domain Reflectometer Trace Analysis in Passive Optical Network Systems". Patent US9281892, 08 marzec 2016.

[58] J. Chen i P. J. Urban, „Routing in a Wavelength Division Multiplexing-based Passive Optical Network". Patent US9544669, 10 styczeń 2017.

[59] J. P. von der Weid i G. V. de Faria, „Device for Monitoring an Optical Fibre". Patent US9410866B2, 09 sierpień 2016.

[60] P. J. Urban, R. Almeida i J. Chen, „Transceiver and Method for Monitoring of Sub-Carrier Multiplexed Transmission on Fibre Cable". Patent (aplikacja) PCT/SE2014/050254, 03 marzec 2014.

[61] P. J. Urban i B. Dortschy, „Arrangement, System and Methods therein for Monitoring a Transmission Line". Patent (aplikacja) PCT/SE2013/051007, 28 sierpień 2013.

[62] P. J. Urban, J. P. v. d. Weid i D. C. Villafani, „Apparatus and Method for Monitoring Optical Links". Patent (aplikacja) US62446005, 13 styczeń 2017.

[63] P. J. Urban, „Optical Device, Optical Distribution Network and Respective Methods Performed thereby". Patent (aplikacja) PCT/SE2013/050598, 24 maj 2013.

[64] P. J. Urban, B. Dortschy i G. Vall-llosera, „Transceiver for Use in Fibre Network". Patent US9124368, 01 wrzesień 2013.

[65] G. Vall-llosera, P. J. Urban i B. Dortschy, „Network Unit, Method and Computer Program Product for a Monitoring a Fiber Line". Patent (aplikacja) PCT/SE2013/051109, 24 wrzesień 2013.

[66] P. J. Urban, B. Dortschy, L. Giorgi i F. Ponzini, „An Optical Device, and Optical Transceiver and a Network Node". Patent (aplikacja) PCT/SE2014/050763, 19 czerwiec 2014.

[67] L. Giorgi, F. Ponzini, P. J. Urban i B. Dortschy, „Optical Receiver and Method of Receiving an Optical Communications Signal". Patent (aplikacja) PCT/EP2015/059574, 30 kwiecień 2015.

[68] B. Dortschy i P. J. Urban, „A First Network Node, a Second Network Node and Methods therein". Patent (aplikacja) PCT/SE2014/050469, 15 kwiecień 2014.

[69] C. Lu, M. Berg, E. Trojer, P.-E. Eriksson, K. Laraqui, O. V. Tidblad i H. Almeida, „Connecting the Dots: Small Cells Shape up for High-Performance Indoor Radio," *Ericsson Review,* nr 12, pp. 1-10, 2014.

[70] P. Ghelfi, A. Bogoni, A. D'Errico, M. Puleri i P. J. Urban, „Photonic Beamforming exploiting Scaled Chromatic Dispersion". Patent (aplikacja) PCT/EP2016/050141, 06 styczeń 2016.

[71] P. J. Urban, „Method and Arrangement for Receiving an Optical Input Signal and Transmitting an Optical Output Signal". Patent US8364041 (pierwszy udzielony patent), GB2656520, DE602010029624.5, NZ612254, RU2563801, EP2656520, 09 styczeń 2013.

[72] P. J. Urban, H. de Waardt, E. Ciaramella i A. M. J. Koonen, „Reduction of the Influence of Optical Interferometric Crosstalk Noise in a WDM-PON System with a Reflective Semiconductor Optical Amplifier: an Overview," w *Proceedings of International Conference on Transparent Optical Networks*, nr TuB14, Monachium, Niemcy, czerwiec 2010.

[73] P. J. Urban, G. D. Khoe i A. M. J. Koonen, „Interferometric Crosstalk Reduction in an RSOA-based Passive Optical Network," *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology,* tom 27, nr 22, pp. 4943-4953, listopad 2009.

[74] P. J. Urban, „Monitorowanie Optycznej Sieci Dystrybucyjnej," *IDG Networld Polska,* nr 12, pp. 62-64, 2012.

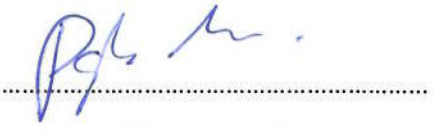
[75] P. J. Urban, „O FSAN na OFC 2013," 27 marzec 2013. [Online]. Available: http://fttxpl.blogspot.se/2013/03/o-fsan-na-ofc-2013.html.

[76] R. Roe, „Stacking the Odds in Favour of PON," *Fibre Systems,* nr 6, pp. 26-29, 2015.

[77] P. J. Urban, „Fiber To The x (PL)," 05 luty 2013. [Online]. Available: http://fttxpl.blogspot.se/2013/02/sieci-dostepowe-nastepnej-generacji.html.

[78] „Lightwave: The Bright Future of TWDM-PON and Wavelength Unbundling," luty 2016. [Online]. Available: http://www.lightwaveonline.com/articles/2016/02/the-bright-future-of-twdm-pon-and-wavelength-unbundling.html.

[79] S. Chengbin, R. Gabe i L. D. Lamb, „TR-287 PON Optical-Layer Management," Broadband Forum, czerwiec 2014.



podpis wnioskodawcy

„Talking about scientific endeavor in terms of the quest for recognition may make it sound as if scientists were simply fame hounds (…). But recognition is not, at least in theory, about celebrity or fashion. Scientists want to be recognized (…) because recognition is what allows new ideas to be incorporated into the general body of scientific knowledge. What's intriguing about science (…) is that it is the community as a whole that decides whether or not a scientific hypothesis is true and whether it's original. This doesn't mean that scientific truth is in the eye of the beholder."

James Surowiecki, „The Wisdom of Crowds"