

(Niemal) pół wieku polskich światłowodów

Światłowody są kolejnym przykładem niewiarygodnego postępu technologicznego, w którym mają swój skromny udział także polscy uczeni. Po niespełna pół wieku rozwoju technologii udaje się podczas eksperymentów uzyskiwać na niewielkich dystansach oszałamiającą prędkość transmisji przekraczającą 1 Pbit/s.



Robert Kamiński

ekonomista z wykształcenia, od ponad 30 lat związany z branżą IT. Stworzył własny portal internetowy poświęcony nowym technologiom dla biznesu i zagadnieniom cyfrowej transformacji firm. Od lat zajmuje się badaniami rynku, przede wszystkim informatycznego. Angażuje się także w propagowanie w sieci LinkedIn technologii cyfrowych, w tym systemów business intelligence. Brał udział w panelach eksperckich zespołów roboczych Sektorowej Rady ds. Kompetencji – Informatyka.



W polskiej historii światłowodów szczególne miejsce należy się Zakładowi Chemii Fizycznej na Wydziale Chemii lubelskiego Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, w którym w 1975 r. rozpoczęto prace badawcze nad światłowodami, ukierunkowane na stworzenie medium transmisyjnego dla telekomunikacji. Pionierskie prace zaowocowały wyprodukowaniem w warunkach laboratoryjnych w 1978 r. pierwszego polskiego kabla telekomunikacyjnego. W marcu 1979 r. doświadczalny światłowod został zainstalowany w lubelskiej sieci międzycentralowej, między centralami CA Śródmieście i CA Wieniawa. Kabel o przepływności 1,5 Mb/s umożliwiał transmisję 24 dwukierunkowych kanałów głosowych. Było to pierwsze zastosowanie światłowodu telekomunikacyjnego w Polsce i w krajach ówczesnej RWPG. W 1982 r. na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UMCS powstała Pracownia Technologii Światłowodów. Działalność badawczą i wdrożeniową koordynował prof. Andrzej Waksmundzki, kierujący Katedrą Chemii Fizycznej. Zespół współpracował z Okręgowym Laboratorium Poczty i Telekomunikacji w Lublinie¹ oraz z zespołem prof. Zenona Szpiglera z Instytutu Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej. W latach 1986–1990 prof. Waksmundzki koordynował ogólnopolski program „Rozwój technologii światłowodów”. Za osiągnięcia w dziedzinie technologii światłowodów w 1988 r. prowadzony przez niego zespół dostał Nagrodę Państwową,

zaś w 1998 r. zespół dr. J. Wójcika z Pracowni Technologii Światłowodów otrzymał prestiżową Nagrodę Przewodniczącego Komitetu Badań Naukowych. W listopadzie 1983 r. w Lublinie utworzony został Ośrodek Techniki Optotelekomunikacyjnej (OTO Lublin). Jego personel stanowili specjaliści z Pracowni Technologii Światłowodów UMCS oraz pracownicy Okręgowego Laboratorium Poczty i Telekomunikacji w Lublinie. Kolejne pilotażowe instalacje wyprodukowanych tam światłowodów miały miejsce w Łodzi, Poznaniu i Warszawie. Od 1991 r. OTO Lublin współpracował z amerykańską korporacją AT&T, dostarczając m.in. 1400 km kabli do budowy międzymiastowej sieci światłowodowej. Po formalnej likwidacji w grudniu 1991 r. przedsiębiorstwa państwowego Poczta Polska Telegraf Telefon i rozdzieleniu go na Poczta Polska oraz spółkę akcyjną Telekomunikacja Polska (TP SA) zakład OTO Lublin wszedł w skład grupy TP SA. W 1999 r. w szczycie produkcji wytworzono tu ponad 5 tys. km kabli, potem zakład zmniejszał ich produkcję. Uruchomiono w nim akredytowane laboratorium pomiarowe, a od 1996 r. doszła produkcja kart elektronicznych. W toku burzliwych dziejów prywatyzacji TP SA w 2005 r. produkcyjna część „światłowodowa” została sprzedana firmie Corning Cable Systems Polska, a część „kartowa” zlikwidowana, maszyny sprzedano francuskiej firmie Gemplus i ostatecznie w październiku 2005 r. OTO Lublin został formalnie zlikwidowany.



Światłowody w telefonii

W 1880 r. Alexander Graham Bell opracował urządzenie, które nazwał fofonem i które przekazywało dźwięk zamieniany na sygnał optyczny przez system drgających luster. Jednak w porównaniu z przekazywaniem dźwięku przewodami elektrycznymi transmisja optyczna działała słabo, Bell odłożył swój wynalazek na półkę i nigdy do niego nie wrócił.

Po zapomnianym fofonie Bella powrót włókien szklanych do telekomunikacji nastąpił dopiero w latach 70. XX w. Według częściowo tylko odtajnionych informacji, w marcu 1973 r. światłowod został wykorzystany w instalacji łącznościowej na krążowniku USS Little Rock, flagowej jednostce amerykańskiej Szóstej Floty operującej na Morzu Śródziemnym. Natomiast we wrześniu 1975 r., po zerwaniu przez burzę kabli napowietrznych, telefony policji w brytyjskim hrabstwie Dorset zostały podłączone z wykorzystaniem światłowodu. Pod koniec lat 70., kiedy

wyprodukowano szkło kwarcowe o niskim współczynniku tłumienia, światłowody zaczęli szeroko stosować w swoich sieciach operatorzy telefonii. W tej dziedzinie pionierskim wdrożeniem chwala się Włochy – we wrześniu 1977 r. ośmiowłóknowym światłowodem długości 9 km połączono dwie centrale telefoniczne w Turynie. Kabel wyprodukowany został przez włoski koncern Pirelli, włókna dostarczył amerykański „szklany potentat” – Corning. Zastosowana technologia transmisyjna umożliwiała działanie 8 tys. dwukierunkowych kanałów głosowych, prędkość cyfrowej transmisji wynosiła 140 Mb/s. Kolejny przełom przyniosło na początku lat 80. opracowanie przez General Electric szkła krzemionkowego, dzięki czemu ze sztab szkła można było wyciągać włókna o długości do 40 km. Drugim przełomem technologicznym było wdrożenie przez firmę Corning technologii produkcji włókien światłowodowych w tempie do 50 m/s, co sprawiło, że światłowody telekomunikacyjne stały się tańsze od kabli miedzianych.

¹ W. Łaskiewicz, Ośrodek Techniki Optotelekomunikacyjnej w Lublinie 1983–2005, Lublin, 2008 (<https://bc.pollub.pl/dlibra/publication/323/edition/290/content?ref=desc>, dostęp 10.05.2023).

Ewolucja rozwiązań dostępowych

Stan łączności w Polsce w latach pierwszych krajowych prac nad światłowodami był mizerny, wg danych z opracowania F. Kamińskiego pt. „Rola państwa w rozwoju telekomunikacji – doświadczenie historyczne”² w 1975 r. gęstość telefonii stacjonarnej (czyli liczba abonentów/linii na 100 mieszkańców) w Polsce wynosiła 4,29 (porównanie z wybranymi krajami w tabeli 1).

Tabela 1. Gęstość telefonii stacjonarnej w wybranych krajach w latach 1969–2000

Kraj	1969	1975	1987	1990	1997	2000
Turcja	0,96	1,64	7,66	12,15	24,63	27,8
Korea Płd.	1,39	3,03	21,13	31,58	45,10	45,5
Polska	3,10	4,29	7,37	8,62	18,88	29,1
Francja	7,61	13,40	43,97	48,73	58,36	58,60
Hiszpania	7,78	13,10	26,45	32,35	40,10	47,2
Włochy	11,13	17,24	33,32	38,77	45,14	46,2
RFN	12,33	20,76	45,10	39,98*	56,16	62,2
Japonia	13,56	28,19	40,34	44,82	50,23	58,5
Wielka Brytania	14,77	23,79	40,91	45,24	53,65	58,4

* Dane dla RFN po zjednoczeniu Niemiec: na koniec 1989 r. RFN – 47,43, NRD – 10,98
Źródło: Telekomunikacja i techniki informacyjne, nr 3-4/2003

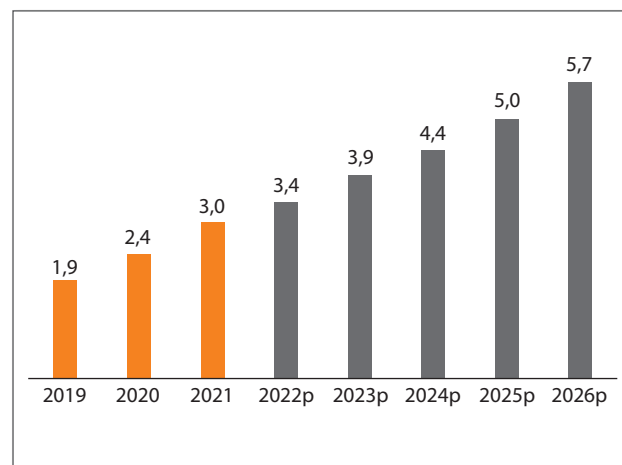
Jak widać jeszcze w 1975 r., pozostając daleko w tyle za Europą Zachodnią, wyprzedziliśmy Turcję i Koreę Południową. W 1987 r. gęstość naszej sieci była zbliżona do Turcji, ale Korea już uciekła nam bardzo daleko. W roku 2000 udało nam się przegonić Turcję, ale na krótko, bo już w 2002 r. gęstość komórkowa (tak jak w wielu innych krajach) dogoniła i przegoniła stacjonarną, a od 2004 r. tradycyjnych linii stacjonarnych zaczęło w Polsce ubywać. W miastach abonentów tradycyjnej telefonii odbierali operatorzy telewizji kablowej (CATV), oferujący obok kanałów TV i dostępu do Internetu także telefony stacjonarne – ale korzystające w technologii VoIP (*Voice-over-IP*) na łączach internetowych. Na wsiach i na dalszych przedmieściach rozwijającym się coraz szerzej miast podstawowym środkiem

łączności stały się telefony komórkowe i łącza internetowe w technologiach radiowych (FWA – *Fixed Wireless Access*), w tym także dostarczane przez operatorów komórkowych.

W miarę wzrostu popytu na coraz wyższe przepływności rosło zarówno zapotrzebowanie na światłowody bezpośrednio do domów i mieszkań (FTTH/FTTP *Fibre-to-the-Home/Fibre-to-the-Premises*), jak i na coraz wydajniejsze połączenia instalacji budynkowych sieci CATV oraz stacji bazowych sieci komórkowych z Internetem (łącza *backhaul*). W sieciach telewizji kablowych światłowód dochodzi do węzła optycznego umieszczonego jak najbliżej budynku wielorodzinnego (FTTB – *Fibre-to-the-Building*) i dopiero od niego do mieszkań abonentów idą telewizyjne kable koncentryczne (architektura HFC – *Hybrid Fiber Coax*).

Według danych z corocznego raportu UKE³ w 2021 r. liczba użytkowników dostępow FTTH wzrosła o 32%, a w ciągu dwóch lat 2020–2021 – o 79% (rys. 1). Natomiast w 2021 r. użytkowników dostępow xDSL (na łączach miedzianych) było o prawie 13% mniej niż w 2020 r., a ich udział spadł do ok. 17%. Dostępy FTTH stanowiły wtedy już niemal 33% wszystkich dostępow szerokopasmowych.

Rysunek 1. Liczba łączy światłowodowych FTTP/FTTB (w mln linii)



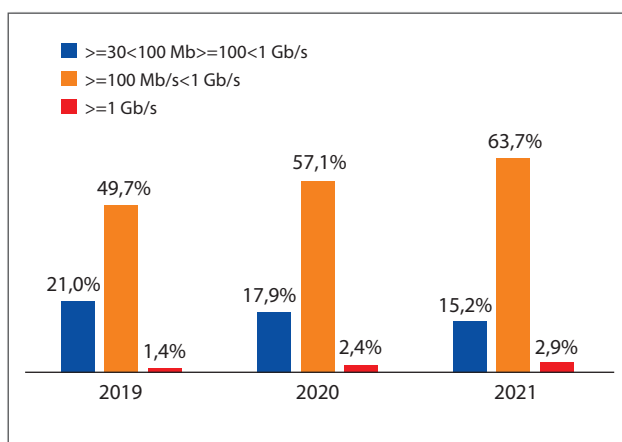
Źródło: Raporty o stanie rynku telekomunikacyjnego UKE za lata 2020 i 2021 (od 2022 r. prognozy, dane za 2022 r. będą dostępne w połowie 2023 r.)

Dzięki wzrostowi udziału dostępow światłowodowych (a także modernizacji sieci TV kablowych polegającej na przechodzeniu na technologię DOCSIS 3.0/3.1) bardzo wzrosły średnie prędkości łączy dostępowych, w naszych sieciach pojawiły się prędkości sięgające 1 Gb/s (rys. 2).

² Telekomunikacja i techniki informacyjne, nr 3-4/2003, Instytut Łączności – PIB, Warszawa.

³ <https://uke.gov.pl/akt/raport-o-stanie-rynku-telekomunikacyjnego-w-2021-r-,431.html> (dostęp: 5.05.2023)

Rysunek 2. Udziały średnich prędkości łączy w latach 2019–2021



Źródło: Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego w Polsce w 2021 r., UKE

Dostawcy w Polsce

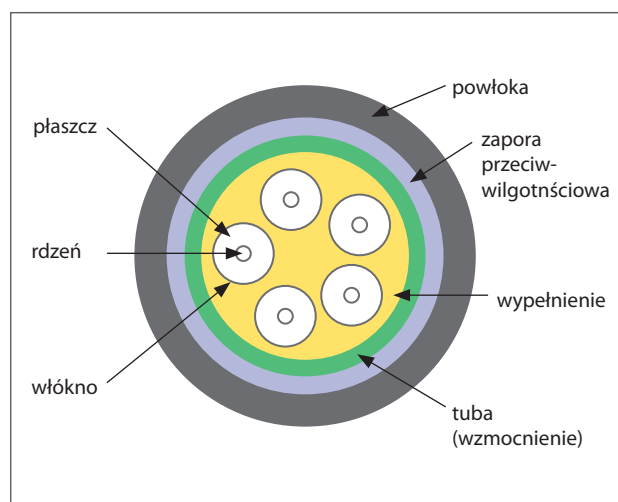
Według danych zaprezentowanych w raporcie „Rynek sieci światłowodowych w Polsce” serwisu TELKO.in (bazujących na danych z systemów UKE), na przełomie 2021 i 2022 r. dostęp światłowodowy oferowało ponad 1,7 tys. dużych i małych operatorów oraz dostawców usług dostępowych. Czołówka pod względem zasięgu sieci (a ściślej: gospodarstw domowych w zasięgu sieci, czyli takich, które mogą być podłączone FTTH) to: Orange Polska, T-Mobile Polska, Netia, Światłowód Inwestycje (operator hurtowy – j.v. Orange i funduszu inwestycyjnego Acari Investments), Inea, wydzielony z Inei operator hurtowy Fiberhost, Polkomtel, Multimedia Polska, Nexera (operator hurtowy – j.v. funduszu Infracapital i Nokii), Toya, Vectra, Koba, UPC Polska. Według oszacowań TELKO.in, na koniec 2021 r. w zasięgu co najmniej jednej dostępowej sieci optycznej znajdowało się 9,6 mln gospodarstw domowych, co oznaczało przyrost o 1,1 mln w stosunku do liczby gospodarstw w zasięgu w końcu 2020 r. Według oszacowań operatorów oraz firm analitycznych, wolumen ruchu w sieci podwaja się obecnie mniej więcej co trzy lata. Dlatego forsownie rozbudowywane są nie tylko sieci dostępowe FTTH/FTTB, lecz także sieci dystrybucyjne oraz szkieletowe. W poprzedniej perspektywie finansowej UE, w latach 2007–2013 w Polsce powstało prawie 30 tys. km sieci szkieletowo-dystrybucyjnych, w tym ponad 23 tys. km zupełnie nowych, a prawie 6 tys. km – z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury. Sieci te współfinansowane były z regionalnych programów operacyjnych oraz Programu Operacyjnego Rozwój Polski

Wschodniej – łącznie beneficjenci tych programów zainvestowali w budowę ponad 3 mld złotych. Natomiast główny nacisk programu PO PC realizowanego w latach 2014–2023 (formalnie w perspektywie 2014–2020) położony był na sieci dostępowe.

Nieco techniki światłowodowej

Zarówno w światłowodach telekomunikacyjnych, jak i w medycznych endoskopach czy modnych kiedyś lampkach z kolorowymi włóknami światłowodowymi światło i kodowana w strumieniu światła informacja przesyłane są dzięki całkowitemu odbiciu wewnętrznemu na styku między rdzeniem światłowodu a wewnętrznym płaszczem (okładziną) o współczynniku załamania mniejszym od współczynnika załamania rdzenia (rys. 3).

Rysunek 3. Przekrój przykładowego światłowodu pięciowłóknowego



Źródło: <https://esezam.okno.pw.edu.pl/mod/book/view.php?id=74&chapterid=1591>

Dzięki całkowitemu odbiciu wewnętrznemu fala odbita od granicy ośrodków ma te same parametry, co fala padająca, bez względu na to, ile razy odbije się po drodze między oboma końcami światłowodu. Nie ma jednak materiałów idealnych – w produkcji (a także w trakcie układania) pojawiają się pewne zaburzenia struktury, gęstości i średnicy rdzenia. Powodują one tłumienie światła, ale i tak tłumienie w światłowodach jednomodowych rzędu 0,33–0,42 dB/km dla długości fali 1310 nm⁴ jest dużo niższe niż w innych mediach transmisyjnych, np. w transmi-

⁴ https://www.dipol.com.pl/bilans_mocy_linii_swiatlowodowej_bib320.htm (dostęp 5.05.2023)

sji radiowej wynosi ok. 1 dB/km, a w kablach miedzianych 10–20 dB/km. Nawet bez żadnych wzmacniaczy światłowody działają praktycznie na odległość kilkudziesięciu kilometrów, dzięki zaś wzmacniaczom optycznym zasięgi łączności światłowodowej to nawet tysiące kilometrów.

Charakter medium transmisyjnego przesądza o zaletach światłowodów w porównaniu z kablami miedzianymi. Światłowody są lżejsze i cieńsze, zużywają dużo mniej energii – także w sieciach ze wzmacniaczami optycznymi. Dużo mniejsze tłumienia i większe zasięgi przekładają się nie tylko na dużo niższe zużycie energii, lecz także na niższe koszty budowy sieci: dużo rzadziej rozmieszczone są w nich urządzenia aktywne, a więc na danym obszarze takich urządzeń potrzeba dużo mniej. Kable światłowodowe są też dużo odporniejsze na czynniki atmosferyczne. Istotną zaletą jest również większa odporność na ewentualne podsłuchy – nie są one niemożliwe, ale dużo trudniejsze do realizacji.



Produkcja

Światłowody są produkowane masowo na całym świecie, w Polsce m.in. w zakładach polskiej firmy Fibrain i w nowej fabryce Corninga w Mszczonowie. Surowcem do produkcji włókien są specjalnie przygotowane i wytrawiane kwasem fluorowodorowym rury szklane, podgrzewane do temperatury ok. 1600°C. Szkło nasycane jest gazowo domieszkami (krzem, german) aż do utworzenia tzw. preformy. W kilkumetrowej wysokości wieży-wyciągarce preforma jest podgrzewana do ok. 2000°C, rura zapada się do formy szklanego pręta z rdzeniem, w którym osadzone zostały domieszki. Z jednej preformy wyciąga się (w zasadzie grawitacyjnie – preforma mocowana jest w wieży pionowo) kilkanaście kilometrów szklanego włókna, nawijanego na bęben odbiorczy.



Architektura i rekordy

W najprostszych, najtańszych i najczęściej budowanych sieciach światłowodowych stosowana jest architektura GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) zbudowana w topologii punkt-wielopunkt. Przy wykorzystaniu multipleksowania z podziałem długości fal WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) przesyła się sygnały na jednym

światłowodzie, ale na różnych długościach fal nośnych (1490 nm do użytkownika i 1310 nm od użytkownika). Dodatkowo na fali 1550 nm można jeszcze po tym samym kablu przesyłać sygnał telewizyjny. Maksymalne prędkości transmisji w sieci GPON to 2,4 Gb/s. do użytkownika i 1,25 Gb/s. od użytkownika. Wielką zaletą pasywnej architektury GPON jest możliwość transmisji z jednego koncentratora (jednostki centralowej) OLT (*Optical Line Terminal*) poprzez sieć pasywną ODN (*Optical Distribution Network*) aż do 128 końcówek abonenckich (jednostek wyniesionych) ONT (*Optical Network Terminal*). Sygnał wychodzący z OLT jest dzielony na poszczególne segmenty sieci oraz do abonenckich ONT przez tzw. splitters (rozgałęźniki) optyczne – niewymagające zasilania bierne urządzenia optyczne, rozdzielające sygnał optyczny z jednego włókna wejściowego na dwa lub więcej włókien wyjściowych. Najczęściej są stosowane splitters 1/2, 1/8 i 1/16 umieszczane w kaskadzie aż do podłączenia maksymalnie 128 ONT.

W zastosowaniach profesjonalnych stosowana jest topologia P2P (Point-to-Point – punkt-punkt), w której każdy z abonentów/użytkowników połączony jest z jednostką centralową oddzielną parą włókien. W rezultacie każdy ma indywidualną linię o niemal nielimitowanej przepływności. Architektura taka wymaga jednak położenia oddzielnych par kabli łączących centralę oddzielnie z każdym abonentem – np. dla zapewnienia łączności dla 16 budynków konieczne jest ułożenie kabla o pojemności minimum 32 włókien jednomodowych, po jednej parze dla każdego abonenta. Nie jest to sieć pasywna – architekturę Point-to-Point buduje się jako sieć aktywną, z zasilanymi wzmacniaczami. Pozwala to na zasięgi sięgające niemal 100 km (od jednostki centralowej do abonenta), podczas gdy w sieciach pasywnych (PON) zwyczajowe dystanse są rzędu 20 km. Jednak coś za coś: aktywna sieć w topologii P2P jest jednak droższa w budowie, bo choć różnice w cenie kabli wielowłóknowych są dziś znikome, to dochodzi koszt urządzeń aktywnych (wzmacniaczy), a w eksploatacji także ich zasilania.

Prędkości dużo większe niż wspomniane 2,4 Gb/s potrzebne są w sieciach szkieletowych, zbierających ruch generowany przez miliony użytkowników. Sieć szkieletowa Orange Polska docelowo ma osiągać prędkości transmisji do 1,2 Tb/s, w sierpniu 2021 r. przeprowadzono już testy transmisji 800 Gb/s. Netia w lutym 2023 r. przeprowadziła testy nowych urządzeń Nokii w swojej sieci szkieletowej, uzyskując w technologii DWDM/ASON (*Automatically Switched Optical Network*) transmisję z prędkością 600 Gb/s bez regeneracji na dystansie 523 km, 500 Gb/s na dystansie 1088 km, 400 Gb/s na 1768 km i 300 Gb/s na dystansie 2870 km⁵.

⁵ <https://my.netia.pl/aktualnosci-i-opinie/790126/600-gbps-w-jednym-prazku-po-raz-pierwszy> (dostęp: 6.05.2023)

W październiku 2022 r. wspólny zespół dwóch uczelni – duńskiego DTU (Danmarks Tekniske Universitet) oraz szwedzkiego Uniwersytetu Technicznego Chalmersa w Göteborgu uzyskał na dystansie 7,9 km prędkość transmisji 1,84 Pbit/s na kablu z 37 rdzeniami. Źródłem światła był rezonator z grzebieniem częstotliwości, który wygenerował 223 kanały transmisyjne o różnych długościach fal⁶. W relacjach prasowych pojawiły się obrazowe porównania: cały światowy ruch internetowy to ok. 1 Pbit/s, a osiągnięta prędkość transmisji pozwoliłaby przesłać 329 tysięcy filmów w ciągu sekundy.



Niezawodność

Jeszcze w latach 70 XX w. wyrażano obawy dotyczące długotrwałości życia światłowodów, podobnie zresztą jak układów półprzewodnikowych. Niezawodność i jednych, i drugich miała podążać po „krzywej wannowej” – na początku miały się pojawiać usterki produkcyjne (okres „chorób wieku dziecięcego”), w normalnej eksploatacji miała się utrzymywać niska stopa błędów, aż do pojawienia się szybkiej degradacji: w układach półprzewodnikowych miały się mnożyć przebicia na złączach p-n-p (a w tranzystorach polowych typu MOSFET – uszkodzenia cieniutkiej warstwy izolatora), a światłowody miały dramatycznie żółknąć. Oczywiście kwestią istotną była długotrwałość odcinka płaskiego. Zakładano, że „dno wanny” powinno wytrzymać od kilku do kilkunastu lat.

W okresie normalnej eksploatacji zdecydowana większość awarii układów półprzewodnikowych (nawet 95–98%) to uszkodzenia przypadkowe, np. zwarcia czy przepięcia spowodowane przez użytkowników, czy burzowe wyładowania elektromagnetyczne, a ściślej: ich nieodfiltrowane następstwa w sieciach zasilających. Jeszcze bardziej prozaiczne są przyczyny awarii światłowodów: zrywają je łyżki koparek, bo linie nie były dobrze oznaczone na mapie albo operator koparki czy kierownik budowy nieodkładnie sprawdził przebiegi kabli. Nasi operatorzy musieli dodatkowo walczyć ze zjawiskiem kradzieży kabli przez złomiarzy, którzy dawniej wyciągali z kanalizacji teletechnicznej kable miedziane (na szlakach kolejowych nawet kable trakcyjne pod napięciem). Przez pewien czas umieszczano w studzienkach kablowych światłowodów kartki z wiadomością: „to nie jest kabel miedziany, tego

nie da się sprzedać na złomie” – co zresztą nie zawsze pomagało: złodzieje najpierw światłowody wyciągali, a potem porzucali je obok studzienki. W przypadku światłowodów napowietrznych, podwieszonych na słupach oświetleniowych lub energetycznych częstą przyczyną awarii są przewrótka słupów przez pojazdy w wyniku wypadków drogowych, a także zerwania kabli przez nieostrożnych operatorów maszyn roboczych.

Światłowody napowietrzne i idące w kanalizacji kablowej narażone są też na ataki ze strony... gryzoni. Operatorzy małych wiejskich sieci FTTH spotykają się ze zjawiskiem przegryzania światłowodów prowadzonych obok gałęzi drzew przez wiewiórki. Jest to problem podobny do przegryzania kabli elektrycznych w piwnicach i kanałach przez szczury albo niszczenia samochodowych instalacji elektrycznych przez norki i kuny⁷.

Zjawiskiem kiedyś zupełnie niebranym pod uwagę jest tzw. śmierć moralna urządzeń i systemów transmisji. Spektakularnym przykładem z dziedziny sprzętu informatycznego są stacje dyskiekietek 8-calowych. W przypadku nośników magnetycznych można co prawda obawiać się w zasadzie liniowej degradacji własności magnetycznych, ale stacje/napędy do ich czytania i zapisu „wypychane” były na złom przez nowsze urządzenia – aż do dzisiejszych dysków SSD i zasobów chmurowych. Działo się to dużo szybciej, niż rozmagnesowywały się dyskiekietki, nie mówiąc już o jakimś lawinowym występowaniu przebić w elektronice napędów.

Światłowody także ulegają śmierci moralnej, zastępowane nowszymi, mającymi więcej włókien. Od pewnego czasu nawet nie wyciąga się z dna mórz i oceanów tych starszych (bo szkoda na to pieniędzy), tylko kładzie się nowe. Natomiast stare światłowody „podziemne” wyciąga się z kanalizacji kablowej tylko wtedy, kiedy nie ma już miejsca w kanale na nowe, choć czasem taniej jest zbudować nową kanalizację kablową, niż męczyć się z wyciąganiem starych kabli (co bywa bardzo pracochłonne w przypadku kabli miedzianych) z kanałów teletechnicznych, co do których bywają duże wątpliwości dotyczące ich stanu, przebiegu, a nawet praw własności – bo kiedyś nie były prawidłowo paszportyzowane albo nikt już nie wie, gdzie jest dokumentacja dawnych kabli.



Kable mają wrogów

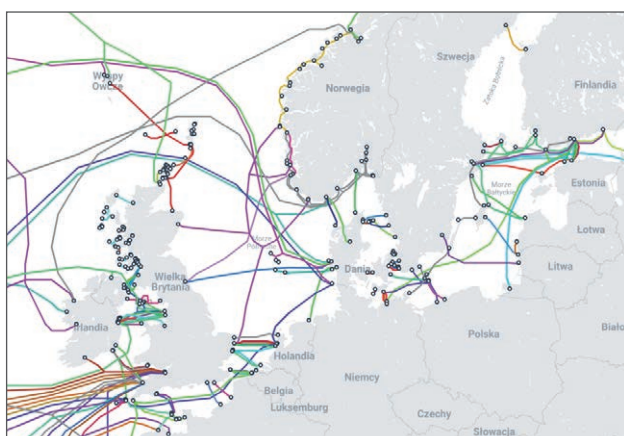
Liczne i bardzo ważne kable łączące ze sobą kontynenty – głównie kable podmorskie – przerywane są zarówno przez

⁶ https://newatlas.com/telecommunications/optical-chip-fastest-data-transmission-record-entire-internet-traffic/?itm_source=newatlas&itm_medium=article-body (dostęp: 6.05.2023)

⁷ Przegryzanie kabli w samochodach przez gryzienie nasiliło się... po wprowadzeniu kabli ekologicznych, w których do produkcji osłon izolacyjnych zaczęto stosować oleje roślinne zamiast olejów mineralnych, ropopochodnych.

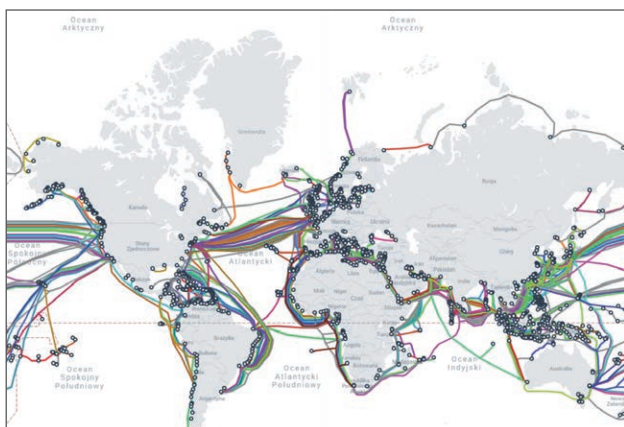
różne katastrofy naturalne, np. trzęsienia ziemi i tsunami, jak i przez ludzi. Kable podmorskie nie są bowiem zakopywane w dnie morza, ale po prostu leżą na dnie. Oczywiście nikt nie nurkuje tam z łopatą, rzadko też pracują na dnie mórz koparki, choć zdarzają się zerwania przez pogłębiarki. Na podejściach do portów kable zrywane są przez kotwice statków, a dalej od brzegów – przez głębokie trały dużych jednostek rybackich.

Rysunek 4. Kable podmorskie na Bałtyku i północnym zachodzie Europy



Źródło: <https://www.submarinecablemap.com/>

Rysunek 5. Kable podmorskie między Europą i Afryką a Ameryką Północną i Południową



Źródło: <https://www.submarinecablemap.com/>

Od końca lat 80. XX w. notowano też – co prawda dość rzadkie, ale zaskakujące – ataki rekinów. Są różne teorie na ten temat. Według jednych rekiny wyczuwają pole elektromagnetyczne w kablach specjalnymi, niezwykle czułymi organami, które mają na pysku, tzw. ampułkami Lorenziniego,

dzięki którym potrafią wyczuwać bardzo słabe pola elektromagnetyczne generowane przez ryby czy przez człowieka – ale to wyjaśnienie tłumaczyłoby tylko ataki na tradycyjne kable miedziane. W światłowodach mamy tylko światło laserowe, w zasadzie światłowody nie generują pola elektromagnetycznego o wyczuwalnych wartościach. Według innych teorii rekiny są po prostu ciekawskie i interesują je podwodne kable leżące na dnie lub tuż przy dnie morskim. Na wszelki wypadek kable podmorskie ostatnio chroni się przed przegrzaniem specjalnymi osłonami kewlarowymi, jak to było z kablami kładzionymi przez Google’a w 2014 r.⁸

Z naszego wybrzeża wychodzą dwa podmorskie kable: Denmark-Poland 2, od 1991 r. łączący na dystansie 110 km Mielno z Gedebak Odde na Bornholmie. Właścicielami są Arelion, TDC Group oraz Telenor. Drugi kabel to Baltica, łączący od 1997 r. Kołobrzeg poprzez Pedersker na Bornholmie z Gedser w Danii oraz z Ystad w Szwecji (łącznie 437 km). Właścicielami są Arelion, Orange Polska, Slovak Telekom, TDC Group, Telenor i Ukrtelecom. Z europejskimi operatorami będącymi współwłaścicielami obu kabli spotykamy się w Europie często, niespecjalistom może być mniej znany Arelion (d. Telia Carrier), globalna firma dysponująca siecią ponad 70 tys. km kabli łączących Europę, Amerykę Płn. i Azję.

Pierwsze zastosowania światłowodów w historii nowożytnej dotyczyły oświetlenia i przekazywania obrazu – w 1854 r. irlandzki fizyk John Tyndall (znany także jako pionier alpinizmu oraz glaciologii) wykazał doświadczalnie, że światło w strumieniu wody może się rozchodzić po liniach krzywych. W 1880 r. William Wheeler skonstruował system rur, które oświetlały pomieszczenia światłem lampy łukowej umieszczonej w piwnicy, w końcu lat 80. XIX w. w Wiedniu Reuss i Roth użyli zaginanych prętów szklanych do oświetlenia wewnętrznych narządów ciała ludzkiego. W 1895 r. H. Saint-Rene prowadził eksperymenty z przekazywaniem obrazów w pionierskich urządzeniach telewizyjnych, a w 1889 r. D. Smith zarejestrował patent dotyczący oświetlenia prętami szklanymi zębów w stomatologii.

Prawdziwego przełomu w dziedzinie przesyłania światła w cienkich włóknach szklanych (m.in. w endoskopii medycznej) dokonano jednak dopiero dzięki zastosowaniu jako źródła światła lasera, w teorii zaproponowanego w 1958 r. przez Arthura L. Schawlowa i Charlesa Townesa, a zbudowanego w wersji z emisją ciągłą w 1960 r.

⁸ <https://www.forbes.com/sites/amitchowdhry/2014/08/15/hw-google-stops-sharks-from-eating-undersea-cables/?sh=969fc1d1f2b5> (dostęp: 10.05.2023)