

Światłowodowe złącza rozłączne

Andrzej Niesterowicz, Andrzej Gajda

Światłowodowe złącza rozłączne są używane wszędzie w systemach światłowodowych, gdzie zachodzi potrzeba okresowego przełączania, badania parametrów transmisji lub rekonfiguracji sieci światłowodowej. Wiele rozmaitych zastosowań złącz rozłącznych oraz rozmaite potrzeby operatorów sieci doprowadziły do powstania ponad 70 typów złączy. Opisujemy ich cechy wspólne oraz najczęściej używane złącza.

Parametry złączy rozłącznych

Ze względu na bardzo dobrą jakość, a także stosunkowo niewygórowaną cenę, złącza tulejowe zrewolucjonizowały rynek optotelekomunikacyjny. Pierwsze złącza tego typu pojawiły się na rynku amerykańskim już na początku lat 80. i od razu zdobyły wielką popularność. Od tego momentu nastąpił ich gwałtowny rozwój techniczny. Pełne złącze tulejowe składa się z trzech części: dwóch tzw. półzłączy, w których mocuje się zakończenia światłowodów oraz elementu łączącego zapewniającego centrowanie powierzchni czolowych włókien, tzw. adaptera. Łączenie następuje przez skręcanie sprzężeniem bagnetowym lub zatraskowym (*push-pull*). Coraz więcej obecnie stosowanych złączy jest łączonych w sposób zatraskowy, gdyż ten sposób gwarantuje zdecydowanie największą gęstość upakowania. Ze względu na charakterystykę systemów telekomunikacyjnych od złączy rozłącznych wymaga się przede wszystkim:

- niskiej tłumienności wprowadzanej do toru światłowodowego,
- powtarzalności parametrów połączenia przy kolejnych łączeniach i rozłączaniach,
- takiej samej sprawności sprzężenia dla połączeń realizowanych między różnymi kompletami złączy tego samego typu,



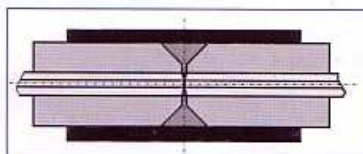
Rys. 1. Ferrule do złączy SC i MU o średnicach odpowiednio 2,5 mm oraz 1,25 mm

- długotrwałego zachowania parametrów złącza,
- wytrzymałości mechanicznej,
- odporności na zmiany warunków klimatycznych.

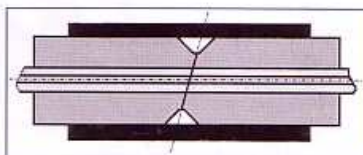
Oczywiste staje się także dążenie do obniżenia ceny złączy rozłącznych.

Kryteria podziału złączy światłowodowych

Dokonując podziału złączy światłowodowych można stosować różne kryteria uwzględniające ich budowę, rodzaj użytej ferruli czy też technologię wykonania. W celu łatwego przedstawienia typów i rodzajów obecnie stosowanych złączy posłużymy się podziałem ze względu na budowę. Dzięki niemu w łatwy sposób zobrazować można obecne tendencje rozwojowe występujące na rynku złączy światłowodowych oraz przedstawić najpowszechniej stosowane typy. Pod względem budowy najbardziej popularne i rozpowszechnione złącza to ST, FC, SC, E-2000. Pozostałe typy złączy, takie jak: F-3000, LC, MT-RJ, MU, DIN, AVIO/AVIM, MFS, MPO, MTP, D4, Mini-BNC, F-SMA, ESCON, FDDI, VFO, EC/RACE, HRL-11 są mniej powszechne. Dodatkowo można dokonać



Rys. 2. Złącze stykowe PC



Rys. 3. Złącze kątowo-stykowe APC

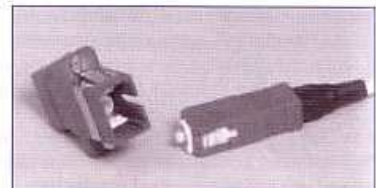
podziału ze względu na średnicę ferruli. Wówczas złącza można podzielić na: złącza z ferrulą o średnicy 2,5; 1,25 i 0,75 mm (eksperymentalne) (rys. 1). Trzeci – istotny podział – ze względu na rodzaj szlifowania czola ferruli dzieli złącza na PC (*Physical Contact*) (rys. 2) i APC (*Angled Physical Contact*) (rys. 3). Złącza światłowodowe typu PC to złącza, w których występuje kontakt szkło-szkło, przez co eliminuje się odbicia Fresnela. W zależności od jakości polerowanej powierzchni ferruli różnią się złącza typu: PC, SPC (*Super Physical Contact*) oraz UPC (*Ultra Physical Contact*) o coraz mniejszej refleksyjności. Dla złączy typu PC standardowy proces polerowania gwarantuje tłumienie sygnału odbitego na poziomie 35 dB. Natomiast dla złączy SPC i UPC tłumienie sygnału odbitego wzrasta nawet powyżej 55 dB. Dalsze zmniejszanie refleksyjności w stosunku do złączy typu PC uzyskuje się tu przez polerowanie powierzchni ferruli pod kątem 8 lub 9° (a niekiedy również 12 i 14°) do płaszczyzny prostopadłej do jej osi. Rozwiązanie to niemal całkowicie eliminuje odbicia



Rys. 4. Adapter i złącza światłowodowa typu ST



Rys. 5. Adapter i złącza światłowodowa typu FC



Rys. 6. Adapter i złącza światłowodowa typu SC



Rys. 7. Adaptory i złączki światłowodowe SC w wersji duplex

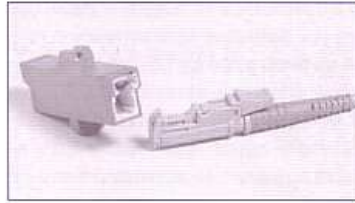
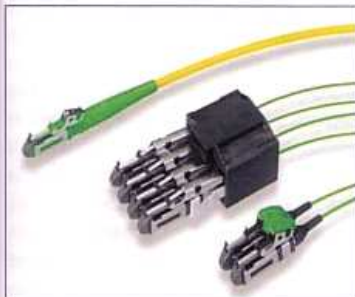
Fresnela i zapewnia tłumienie sygnału odbitego na poziomie 65 dB. Złącza tego typu oznaczone są symbolem APC.

Rodzaje złączy światłowodowych

- **Złączki światłowodowe ST.** Złącze typu ST (rys. 4) jest złączem bagnetowym. Złącza typu ST dostępne są zarówno z ferrulami ceramicznymi, metalowymi, jak i polimerowymi. Mają bagnetowy sposób łączenia, a zastosowanie wewnętrznej blokady mechanicznej zabezpiecza ferrulę przed obrotem. Wadą tego typu złączy jest niski stopień upakowania w panelach krosowych lub szafach dystrybucyjnych oraz brak zabezpieczenia przed utratą ciągłości styku ferrul w przypadku pociągnięcia za kabel. Złącza światłowodowe typu ST najszerze zastosowanie znajdują w telekomunikacji, przede wszystkim w sieciach wielomodowych (np. LAN). Ponadto stosuje się je także w przemyśle i medycynie oraz w systemach sterowania sygnalizacją. Obecnie złączki tego typu są już wypierane przez złącza typu *push-pull* (np. SC i E-2000).

- **Złączki światłowodowe FC.** Złącze typu FC (rys. 5) było jednym z pierwszych skonstruowanych na bazie ferruli 2,5 mm. Gwarantowało najwyższą precyzję i okazało się najlepszym dla zastosowań telekomunikacyjnych oraz telewizji kablowych na wielu światowych rynkach. Złącza standardu FC mają obudowę wykonaną z metalu, rzadziej z tworzywa sztucznego. Mają one nagwintowane

Rys. 10. Złącze F-3000 w wersji simplex, backplain i duplex

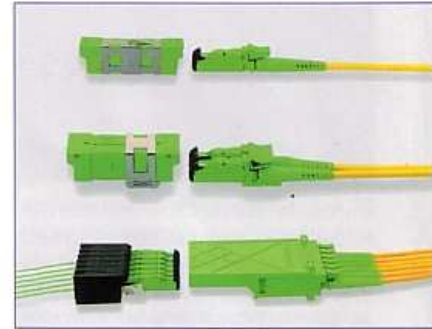


Rys. 8. Adapter i złączka światłowodowa typu E-2000

waną końcówką do połączenia, co jest korzystne ze względu na bezpieczeństwo i pewność działania nawet w warunkach dużych wibracji. Klucz przeciwwrotacyjny zabezpiecza przed uszkodzeniem czoła ferruli oraz eliminuje wrażliwość na skręcanie. Wewnętrzna, sprężająca tulejka, odporna na wibracje i naprężenia termiczne zapewnia dobrą stabilizację optyczną. Każdy proces łączenia wymaga kilku obrotów złącza w celu połączenia lub rozłączenia, co uniemożliwia gęste upakowanie złączy i jest czasochłonne. Obecnie, podobnie jak w przypadku złączy typu ST, można zaobserwować stopniowe wypieranie złączy typu FC i przechodzenie rynku telekomunikacyjnego na złącza zatrzaskowe takie jak np. SC czy E-2000. Wynika to z możliwości gęstszego upakowania tych złączy w przełącznicach. Jednakże pozostaje jeszcze wiele dziedzin, w których ze względu na swoje zalety złącza typu FC są niezastąpione (np. w wojsku).

- **Złączki światłowodowe SC.** Dzięki połączeniu doskonałych parametrów i atrakcyjnej ceny złącza typu SC (rys. 6) dominują obecnie w sieciach telekomunikacyjnych. Potocznie nazywane są złączkami o wysokiej stracie sygnału odbitego (*high return loss connector*). Złącza SC jako pierwsze zostały wykonane w technice APC. Złącza SC oparte są na prostej zasadzie łączenia typu *push-pull*, co pozwala na gęste upakowanie złączy w panelach przełącznic. Równocześnie są one odporne na utratę kontaktu fizycznego ferrul przy ciągnięciu kabla, gdyż sprężyna dociskowa jest umieszczona wewnątrz złącza. Dzięki odpowiedniemu ustawieniu zewnętrznej obudowy czoła ferruli zabezpieczone jest przed zetknięciem z gniazdem łączącym w trakcie łączenia. Złącza

Rys. 11. Złączki światłowodowe typu LC



Rys. 9. Złącza światłowodowe typu E-2000 w wersji simplex, duplex i backplain

SC mają znormalizowany sposób kodowania kolorami obudów złączy oraz gniazd (kolor beżowy: złącza wielomodowe, niebieski: jednomodowe PC, zielony: jednomodowe APC), co umożliwia projektowanie przełącznic hybrydowych dla różnych rodzajów aplikacji. Dostępne są również w wersji duplex (rys. 7) z ferrulami PC oraz APC.

W drugiej generacji złączy SC nazywanej też SC typ II, zewnętrzna obudowa została usunięta, co uniemożliwia rozłączenie bez odpowiednich narzędzi. Złącze SC jest obecnie najlepszym połączeniem doskonałych parametrów i atrakcyjnej ceny. Z tych też powodów dzisiaj jest ono dominującym złączem dla wszystkich nowych instalacji, gdzie aplikacje wymagają styku PC lub APC. Ten rodzaj złączy jest w USA, Japonii, a także w krajach Unii Europejskiej standardem dla telekomunikacji oraz telewizji kablowych.

- **Złączki światłowodowe E-2000.** E-2000 to złącze światłowodowe o właściwościach, jednoznacznie adresowanych do użytkowników w środowisku wielozadaniowym (rys. 8). Są to złączki konstrukcji wysuwanej (typu *push-pull*) w obudowie z tworzywa sztucznego. Ich zaletą są m.in. stosunkowo małe wymiary, łatwość połączenia – czoła ferrul stykają się bezbłędnie. Prosty i funkcjonalny, zatrzaskowy mechanizm łączenia zabezpiecza złącza przed samoistnym rozłączeniem, a czoła ferrul przed obrotem względem siebie. Ostrona czoła ferruli otwiera się dopiero po wprowadzeniu

Rys. 12. Interfejs MT-RJ (gniazdo i złączka)



złączy do adaptera i w ten sposób zabezpiecza ją przed uszkodzeniami i osadzaniem się zanieczyszczeń. W trakcie wyjmowania złączy osłony zamknięte są automatycznie mechanizmami sprężynowymi chroniąc wzrok osoby obsługującej przed uszkodzeniem wzroku wiązką laserową. Kolory osłon złączy są analogiczne jak w przypadku złączy SC. E-2000 dostępne są w wersjach wielomodowych, jednomodowych z polerowaniem soczewkowym (PC, SPC, UPC) oraz polerowaniem kątowym 8 i 9° (APC). Złącza światłowodowe tego typu występują również w wersji duplex i backplane (rys. 9). Złącza światłowodowe typu E-2000 stosuje się w telekomunikacji, sieciach telewizji kablowych, sieciach przesyłania danych, sieciach sterowania i sygnalizacji oraz w przemyśle i medycynie.

● **Złącza światłowodowe F-3000.** Złącza F-3000 (rys. 10) SFF (*Small Form Factor*) stanowią rodzinę miniaturowych złączy światłowodowych z ferrulą o średnicy 1,25 mm. Konstrukcja złączy F-3000 zapewnia utrzymywanie wysokich parametrów transmisyjnych przez długi czas eksploatacji. Zastosowanie zintegrowanych osłon czoła ferruli i tulei centrującej w łączniku, otwierających się dopiero w momencie łączenia zapewnia bezpieczeństwo obsługi i zabezpiecza użytkownika przed uszkodzeniem wzroku promieniowaniem laserowym. Stanowi także element chroniący przed osadzaniem się zanieczyszczeń i eliminujący zarysowania czoła ferruli. Przy gęstym upakowaniu złączy F-3000 niezbędne jest użycie specjalnego narzędzia, co spełnia wymagania normy EN 60825-2 w zakresie bezpieczeństwa użytkownika złączy, utrudniając ich wyjęcie przez osoby niepowołane. Modułarna konstrukcja komponentów pozwala na łączenie pojedynczych złączy przy użyciu różnego typu klipsów mocujących, co czyni złącza F-3000 odpowiednimi zarówno dla połączeń simplex, duplex jak i backplane (rys. 10). Złącze F-3000 jest kompatybilne ze standardem złączy LC i może być stosowane w szerokim zakresie w istniejących zastosowaniach.

● **Złącza światłowodowe LC.** Złącza światłowodowe standardu LC (rys. 11) są w pełni kompatybilne ze złączkami F-3000 i z powodzeniem mo-



gą być stosowane w ich zastępstwie. Złącza tego typu są to miniaturowe złącza zatraskowe z ceramiczną ferrulą o średnicy 1,25 mm. Są one dwukrotnie mniejsze niż popularne złącza SC, a co za tym idzie ich gęstość upakowania jest nieporównywalnie większa. System łączenia oparty został na popularnych do zastosowań miedzianych złączach RJ45. Złącza te dostępne są jako złącza jednomodowe i wielomodowe, zarówno w wersji simplex, duplex jak i backplane. Ich zastosowanie, podobnie jak złączy F-3000 jest w obecnym czasie bardzo ograniczone.

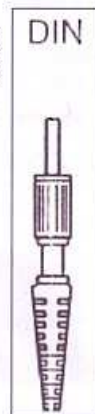
● **Złącza światłowodowe MT-RJ.** MT-RJ (rys. 12) to duplexowe złącze o małych wymiarach przeznaczone przede wszystkim do systemów okablowania strukturalnego sieci LAN. Projekt złączy pochodzi od wtyku RJ45 i bazuje na sprawdzonej technologii opracowanej przez firmę NTT dla aplikacji wykorzystujących dużą ilość włókien. System oparty na interfejsie MT-RJ jest rozwiązaniem całościowym. Osiągnięto tu cel stworzenia systemu światłowodowego, który oferuje taką samą gęstość upakowania jak systemy miedziane oparte na RJ45. Dodatkowo czas zarobienia gniazda MT-RJ jest nie dłuższy niż 2 min. na dwa włókna. System pozwala na dwukrotnie większą gęstość upakowania niż złącza SC Duplex. Gniazdo MT-RJ nie wymaga stosowania żadnych specjalnych włókien ani kabli. Konstrukcja MT-RJ zapewnia niską tłumienność wtrąceniową, pewność dobrego działania i powtarzalność przełączeń. Ten rodzaj interfejsu jest coraz mocniej propagowany przez wszystkich ważnych producentów stacji nadawczo-odbiorczych. Uważa się, że MT-RJ stanowi w systemach okablowania strukturalnego alternatywę dla złączy SC.

● **Złącza światłowodowe MU.** Złącza MU (rys. 13) mają ceramiczną lub plastikową ferrulę o średnicy 1,25 mm oraz zatraskowy mechanizm

Rys. 14. Złącze światłowodowe DIN oraz jej wymiary

Rys. 13. Złącze MU

Rys. 15. Złącze światłowodowe AVIM

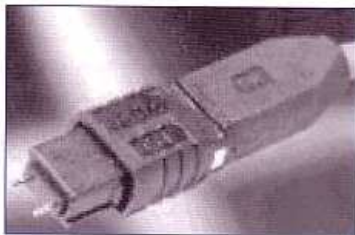


łączenia (typu *push-pull*). Ich gęstość upakowania jest czterokrotnie większa niż standardowych złączy SC. Obecnie już ponad milion złączy tego typu zostało zainstalowanych (głównie w USA i Kanadzie) w różnych systemach telekomunikacyjnych, takich jak SONET/SDH (*Synchronous Optical Network/Synchronous Optical Hierarchy*), ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) oraz przede wszystkim WDM (*Wavelength Division Multiplexing*).

● **Złącza światłowodowe DIN, AVIO, AVIM.** Złącze DIN (rys. 14) jest złączem wykorzystywanym w telekomunikacji, w systemach telewizji kablowej CATV, sieciach komputerowych (LAN, MAN, WAN), w technice pomiarowej i medycynie. Złącza te dostępne są zarówno w wersji wielomodowej jak i jednomodowej (PC oraz APC). Złącza światłowodowe AVIO/AVIM z rodziny DIN są uniwersalnymi złączkami optycznymi, oferującymi dobre parametry optyczne, oraz możliwość zastosowania ich do łączenia wielu rodzajów światłowodów. Najważniejszą jednak cechą tych złączy jest odporność na trudne warunki eksploatacyjne pozwalająca na stosowanie w technice wojskowej, transporcie lądowym, morskim, w elektronice lotniczej, w urządzeniach wiertniczych, wojskowych systemach bojowych, tj. wyrzutnie pocisków i rakiet. Złącza AVIM-2 (rys. 15) stosuje się w „czarnych skrzynkach” w lotnictwie.

● **Złącza światłowodowe MFS.** Coraz bardziej rozbudowane systemy wykorzystujące tysiące włókien światłowodowych wymagają nowych rozwiązań umożliwiających łatwiejsze, a przez to szybsze połączenia. Złącza typu MFS (*Multiple Fiber System*) umożliwiają jednoczesne łączenie wielu włókien światłowodowych. MFS jest systemem modułowym, co czyni go przejrzystym, łatwym w montażu, eksploatacji jak również konserwacji. Wtyczki są dostępne dla tasemek o 4, 8 lub 12 włókienach światłowodowych. Moduły pozwalają na połączenie do czterech wtyczek, czyli do 48 włókien. Złącza MFS dostępne są zarówno dla światłowodów jednomodowych (w wersji PC i APC) jak i wielomodowych (w wersji PC).

● **Złącza światłowodowe MPO.** Złącze MPO (rys. 16) jest także przykładem złączy służącego do zakończeń wstążki światłowodowej z 4, 8, 12 włókna. Typowe zastosowania dla tego rodzaju złączy to fabryczne zakończenie kabli wykorzystywanych do budowy szkieletu sieci. W ten sposób zakończone kable mogą być wkładane do kanałów łącznic ze złączkami, ponieważ mają zwartą budowę. W związku z tym redukuje się czas instalacji. Złącze MPO dostępne jest zarówno w wersjach jednomodowej i wielomodowej (z polerowaniem PC i APC). Gwarant-

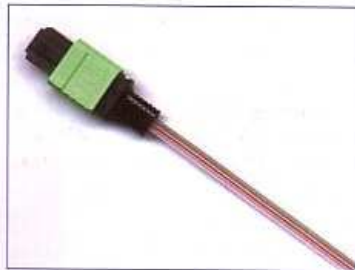


← Rys. 16. Złącze typu MPO

tuje ono wysokie parametry zapewniając równocześnie wysoką gęstość upakowania.

● **Złącza światłowodowe MTP.** Złącza MTP (rys. 17) przeznaczone są specjalnie do łączenia dwunastowłóknowych, wstęgowych kabli światłowodowych (*multi-fiber ribbon cable*). Aby zminimalizować odbicia wsteczne, jednomodowe złącza MTP występują w wersji APC. Wstążka, która zawiera 12 włókien, jedno przy drugim, ma wyjątkowo niewielkie wymiary; szerokość zaledwie 5 mm. Złącza wielowłóknowe mają szereg zalet w porównaniu do standardowych złączek światłowodowych. Po pierwsze takie dwunastowłóknowe złącze zastępuje aż dwanaście zwykłych złączek, a co za tym idzie możliwości upakowania są nieporównywalnie większe. Także cena oraz czas montażu złącza wielowłóknowego przemawiają na jego korzyść. Można się spodziewać dalszego rozwoju połączeń wielowłóknowych.

● **Złącze VF-45™.** Złącze VF-45™ (rys. 18) jest nowatorskim rozwiązaniem opierającym się na technologii V-rowków, bez konieczności użycia ferruli. Złącze VF-45™ zaprojektowane zostało tak, aby maksymalnie uprościć technologię montażu i obniżyć koszt. Unikalność tej technologii polega na całkowitej nowej konstrukcji złącza i wtyku światłowodowego. Gniazdo światłowodowe zaprojektowane zostało tak, aby stanowiło kompletny tor transmisyjny dla dowolnej aplikacji. W przeciwieństwie do wcześniejszych rozwiązań złącze VF-45™ terminuje jednocześnie dwa włókna światłowodowe, zapewniając zarówno tor transmisyjny jak i odbiorczy. Przy konstrukcji złącza VF-45™ zminimalizowano ilość komponentów składowych, co uprościło sposób montażu i uczyniło całą technologię bardzo ekonomiczną. Gniazdo do typu VF-45™ składa się z niewielkiej ilości elementów montażowych, w większości instalowanych zatraskowo. Do przyłączenia urządzeń końcowych używa się wykonanych fabrycznie kabli krosowych i przyłączeniowych, zakończonych wtykiem VF-45™. Aby umożliwić podłączenie do systemu urządzeń wyposażonych w standardowe wyjścia światłowodowe (ST, SC, SC duplex), dostępne są różne rodzaje kabli połączeniowych zakończonych z jednej strony złączem



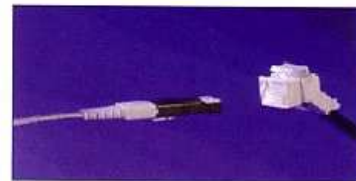
↓ Rys. 17. Złącze światłowodowe MTP (bez osłony kabla)

VF-45™ i dowolnym wtykiem światłowodowym z drugiej. Gniazdo logiczne VF-45™ może być zakończone na miejscu. V-rowki powodują, że włókno światłowodowe jest prowadzone bardzo precyzyjnie, a uchwyty zatraskowe utrzymują cały światłowód na miejscu. Mechaniczne zakończenia włókien światłowodowych są łatwiejsze do wykonania niż tradycyjne złącza ferrulowe, wymagające procesu klejenia i wygrzewania wtyku. Technologia ta nie wymaga żmudnych procesów przygotowywania włókna do instalacji, co diametralnie skraca proces wykonywania złącza. W złączu VF-45™ wykorzystuje się prostą metodę centrowania i dociskania włókien. Gniazda VF-45™ chronią najwrażliwszy element sieci światłowodowej czyli wtyk. Mają osłony chroniące zakończenia włókien przed zabrudzeniami, a co za tym idzie, pogorszeniem parametrów transmisyjnych. Złącza VF-45™ służą do budowy gniazd końcowych przy stanowiskach roboczych, oraz paneli krosowych w szafach dystrybucyjnych.

Podsumowanie

W ostatnich latach rynek złączek światłowodowych przeżywa gwałtowny rozkwit. Już na pierwszy rzut oka można zauważyć, iż obecne złączki już tylko w niewielkim stopniu przypominają pierwsze, sprzed kilkudziesięciu a nawet kilkunastu lat.

Dzisiejsi konstruktorzy złączek dążą przede wszystkim do zmniejszenia rozmiarów złączki, a co za tym idzie do zwiększenia gęstości upakowania. Minimalizacja jest jedną z głównych tendencji rozwojowych dzisiejszego rynku telekomunikacyjnego. Znaczna populacja złącz produkowana jest z ferrulami o średnicy nie 2,5 mm, a 1,25 mm i dąży się do stosowania ferrul do



→ Rys. 18. Złącze VF-45™

0,75 mm. Także sposób łączenia typu *push-pull* został już jednoznacznie zaakceptowany zarówno przez producentów jak i użytkowników na całym świecie i obecnie nowo konstruowane złączki łączone są już tylko w ten sposób. Oczywiście zdarzają się wyjątki takie jak specjalistyczne zastosowania np. wojskowe, gdzie najważniejsza jest pewność połączenia i wymagają stosowania złączki typu FC – o skręcanym sposobie połączenia.

Oprócz pojedynczych (simplex) i podwójnych (duplex) złączek światłowodowych przyszłość złączki rozłączalnych należy do złączki MFS. Złącza takie pozwalają na zakończenie tasiemki światłowodowej z wieloma włóknami. Trudno jednoznacznie określić jakiego typu złączki zrewolucjonizują rynek optotelekomunikacyjny w najbliższym czasie, ale można się spodziewać, że w dalszym ciągu konstruktorzy złączek dążyć będą do jak największej ich minimalizacji. Rozwój produktów tego typu przyczynia się również do spadku cen, z czego na pewno zadowoleni mogą być użytkownicy.

Andrzej Niesterowicz, Andrzej Gajda
Politechnika Szczecińska

Literatura:

1. <http://www.lanster.com>
2. Karty katalogowe firmy Optomer.
3. <http://www.senko.com>
4. <http://tycoelectronics.com>
5. <http://www.fotec.com>
6. <http://www.bci.pl>
7. <http://www.optomer.com.pl>
8. <http://www.diamond-fo.com>
9. Miesięcznik „Infotel” nr 11/99 wydawca MSG – Media S.C. str. 54-55.
10. <http://www.molex.com>
11. <http://www.siemon.com>
12. <http://www.global-fiber-optic.com>
13. Gajda J., Niesterowicz A., Żegliński G.: Telekomunikacja optyczna. Teoria i badania 2001 r.
14. Gajda J., Niesterowicz A., Żegliński G.: Telekomunikacja światłowodowa. Materiały szkoleniowe 2001 r.
15. Materiały i opracowania – Laboratorium badań jakości osprzętu i urządzeń telekomunikacyjnych. Wydział Elektryczny, Politechnika Szczecińska.