

Prvi poskus izdelave 7-jedrnega optičnega vlakna v podjetju Optacore

Jan Fišer¹, Andraž Lenardič², Matej Mikanec³, Janko Štajner², Luka Perpar²,
Borut Lenardič², Boštjan Batagelj³

¹Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Optacore d.o.o., Trpinčeva ulica 37A, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: jan.fiser.42@gmail.com

First fabrication of a 7-core optical fiber at the company Optacore d.o.o.

Multi-core fibers are serious candidates for extending the optical fiber link capacity into the space-division multiplexing dimension, and for this reason they are being given a lot of attention by the manufacturers of standard telecommunication fibers.

The paper presents a multi-core fiber fabrication process, which was carried out at the company Optacore d.o.o. in Ljubljana, which has innovative and inventive solutions in the field of optical fibers and photonic components. This paper provides a description of the basics for designing multi-core optical fiber, where a conceptual scheme for the fabrication of a seven-core fiber, with single-mode cores, is outlined. In the main part of the paper, a description of the whole process – from the perform-preparation phase to the fiber-drawing process – is described. At the end, general conclusions are drawn as well as the result of a homogeneity test for the first fabricated seven-core optical fiber.

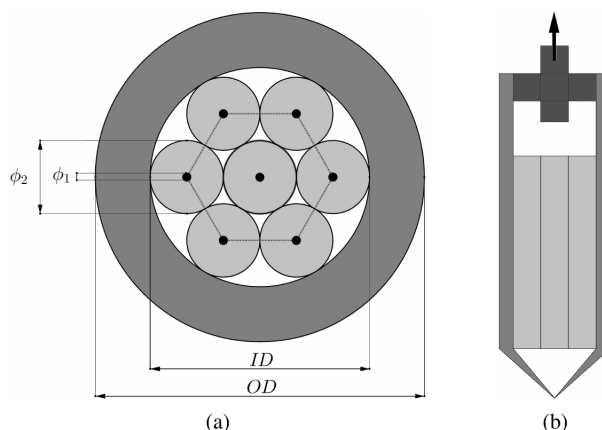
1 Uvod

V zadnjih desetletjih smo priča nenehnemu naraščanju telekomunikacijskega prometa v optičnih povezavah zasnovanih na enorodovnem optičnem vlaknu, kar spodbuja raziskovalce k iskanju novih komunikacijskih tehnologij [1]. Nadaljnje priraščanje prometa bo zahtevalo nadgradnjo optičnih povezav z novimi načini multipleksiranja, kot je prostorsko multipleksiranje [2]. Tehnologijo prostorskega multipleksiranja je mogoče izvesti v malorodovnih optičnih vlaknih ali večjedrnih optičnih vlaknih [3]. Ker so pričakovani presluhi med posameznimi prostorsko razvrščenimi kanali pri večjedrnih vlaknih manjši, se veliko pozornosti namenja razvoju večjedrnih in mnogojedrnih optičnih vlaken s posameznimi enorodovnimi jedri [2, 4].

Pri večjedrnih strukturah se pogosto uporabljajo 7-jedrna vlakna s heksagonalno ureditvijo, ki ima eno centralno jedro in šest zunanjih jeder. Presluh ima največji vpliv na jedro v sredini, ker meji na vseh šest sosednjih jeder. V nekaterih primerih se iz tega razloga za prenos podatkovnih signalov predlaga uporabo le zunanjih jeder.

2 Načrtovanje izdelave 7-jedrnega vlakna

Od vseh večjedrnih struktur smo se odločili za 7-jedro vlakno, saj ima najbolj simetrično strukturo (med posameznimi jedri je povsem enaka razdalja). Pred pričetkom izdelave, je bil narejen sledeč načrt. V cev z notranjim premerom ID ter zunanjsim premerom OD zložimo 7 enakih enorodovnih surovcev z zunanjsim premerom $\phi_2 = ID/3$ (slika 1a). Vmesni prostor med surovci zapolnimo z manjšimi paličicami (le-te zaradi preglednosti niso prikazane na slikah). Spodnji konec cevi zatalimo, da surovci in paličice ne padejo iz cevi, ko jo pri vpetju na vlečni stolp postavimo v navpični položaj (slika 1b). Za lažje vlečenje vlakna, se zataljeni konec oblikuje v solzo. Drugi konec cevi zatesnimo in skozi cevko izčrpavamo zrak z namenom, da bi se v peči zmeščano steklo lepo zlilo ter ohranilo simetrijo.



Slika 1: (a) Prečni ter (b) vzdolžni prerez surovca za 7-jedro optično vlakno. Cev je obarvana sivo, enorodovni surovci svetlo sivo, jedra črna, tesnilo ter cevka za izčrpavanje zraka pa temno sivo.

3 Preizkus načrta izdelave

Pred pripravo surovca za 7-jedro vlakno, smo naredili test, katerega namen je bil preizkusiti, ali je naša zamisel o zlaganju surovcev v cev tudi v praksi tako preprosta kot na papirju. Namesto enorodovnih surovcev in cevi visoke kvalitete (F300), smo vzeli cev nizke kvalitete (MK 209 GE) in 7 steklenih palic. Le-te so bile homogene — niso

imele materiala, iz katerega nastane jedro vlakna (območje s premerom ϕ_1 s slike 1a).

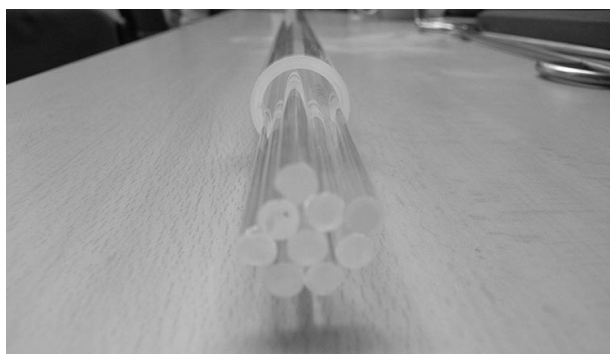
Zaradi odstopanja palic od idealno ravnih, se je izkazalo, da mora biti notranji premer cevi vsaj za $\epsilon = 0.5$ mm širši kot v idealnem primeru: $ID \gtrsim 3\phi_2 + \epsilon$. V nasprotnem primeru palic nismo mogli do konca potisniti v cev, saj so se nekje zagostile. Na sliki 2 je prikazana cev z $ID = 24.5$ mm ter $OD = 30$ mm, v katero smo zložili palice s $\phi = 8$ mm.



Slika 2: Test zlaganja palic v cev.

Po načrtu naj bi vmesni prostor med palicami zapolnili z manjšimi paličicami. V ta namen smo na stolpu iz 22 mm debele palice (nizke kvalitete) izvlekli veliko tanjših paličic s premerom $\phi = 1.0, 1.5, 2.0$ in 2.5 mm.

Izkazalo se je, da smo bili nepazljivi — pripravili smo testni surovec z $ID = 24.5$ mm, medtem ko je bil premer tesnila zgolj 19 mm! Prisiljeni smo bili vzeti novo cev z $ID = 19$ mm, ter ponoviti postopek zlaganja. Palice s $\phi = 8$ mm za tako ozko cev niso bile primerne, saj smo lahko v cev vstavili zgolj 3 izmed njih, medtem ko je bilo okoli palic veliko praznega prostora. Za cev z $ID = 19$ mm bi potrebovali palice s $\phi \approx 6.1$ mm, vendar takih palic ni bilo v skladišču, zato smo vzeli palice s $\phi = 5$ mm. Le-teh je šlo v cev 9, vendar zaradi veliko praznega prostora pri zlaganju nismo uspeli doseči simetrije pravičnega osemkotnika (slika 3).



Slika 3: Test zlaganja palic v cev — zaradi prevelikega praznega prostora ni bilo mogoče doseči lepe simetrije.

Kljub neidealno pripravljenemu surovcu smo se odločili, da povlečemo vlakno iz njega. Če ne drugega, bomo preizkusili sistem za izčrpanje zraka in določili opti-

malni podtlak. Vlečenje se je res izkazalo za zelo poučno, saj se je tesnilo kmalu tako segrelo, da se je stopila teflonska cevka in guma (slika 4a). Vse skupaj je nato padlo v cev na izjemno vroče palice ter se vnelo (slika 4b). Vlečenje smo prekinili in izčrpali nastale pline.

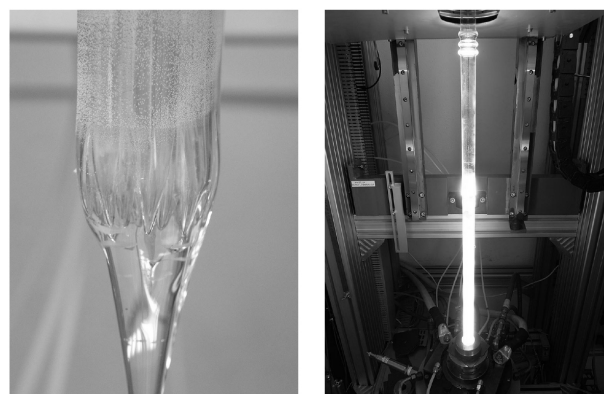


(a)

(b)

Slika 4: (a) Vroč tesnilo je stalilo teflonsko cevko in gumo. (b) Staljena teflonska cevka in guma sta padli na vrh vročih palic ter se vneli. Zaradi nastalih plinov smo prekinili vlečenje vlakna.

Vlečenje smo morali prekiniti ravno, ko smo prišli do “zanimivega dela” (slika 5a). Začetni del surovca je bil namreč neuporaben. Težave s pregrevanjem smo ugnali tako, da smo na cev navarili steklene obročke (slika 5b). Le-ti povzročijo, da velik del svetlobe uide ven iz cevi, zato pride do tesnila manj svetlobe in pregrevanja ni več. Ponovno vlečenje je potekalo brez težav. Med vlečenjem smo vlakno sproti analizirali ter s spreminjanjem podtlaka določili optimalne delovne pogoje.



(a)

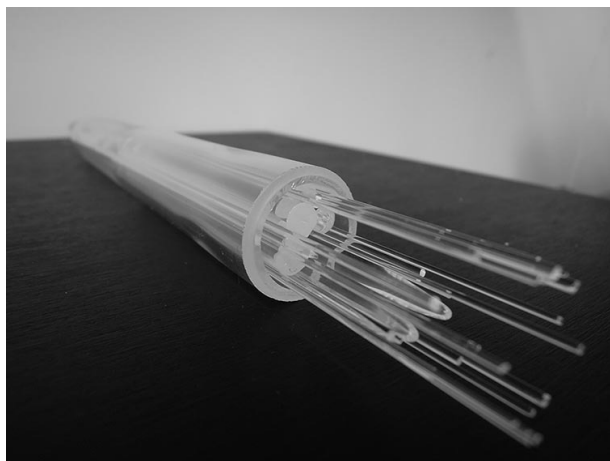
(b)

Slika 5: (a) Prehod med zmečanim in nezmečanim delom surovca, kjer se lepo vidi zlivanje palic. (b) Steklene obročke, navarjeni na zgornji del cevi, rešijo težave s pregrevanjem tesnila, saj preusmerijo svetlobo.

4 Priprava surovca za 7-jedrno vlakno

Test se je izkazal za uspešnega, zato smo se osredotočili na izdelavo surovca za 7-jedrno vlakno. Postopek je ostal enak, zamenjale so se zgolj surovine — namesto cevi nizke kvalitete, smo vzeli cev visoke kvalitete (F300, $ID = 19$ mm, $OD = 25$ mm) ter namesto homogenih palic, 7 enorodovnih surovcev s $\phi_2 \approx 6.1$ mm, $\phi_1 \approx 0.9$

mm in dolžino $L \approx 10$ cm. Le-te smo na steklopihaški stružnici izvlekli iz večjega enorodovnega surovca, ki smo ga izdelali s postopkom MCVD v podjetju Optacore ($\phi_2 \approx 16.2$ mm, $\phi_1 \approx 2.45$ mm, Ge jedro, razlika lomnih količnikov jedra in plašča $\Delta n \approx 0.0044$, numerična apertura $NA \approx 0.115$). Cev smo na enem koncu zatalili ter notranjo steno očistili z jedkanjem na MCVD stružnici. Izkazalo se je, da smo imeli med jedkanjem prenizek tlak v cevi, zato se je notranji premer cevi rahlo spreminjal po dolžini. Posledično nam je komaj uspelo potisniti vse surovce v cev. Kljub temu smo dobili lepo šestkotno simetrijo (slika 6). Vsakega izmed surovcev, pa tudi vsako izmed paličic, smo očistili z acetonom.



Slika 6: Surovec za 7-jedrno optično vlakno. Ven iz cevi segajo paličice, s katerimi zapolnimo prostor med enorodovnimi surovci.

5 Vlečenje 7-jedrnega vlakna

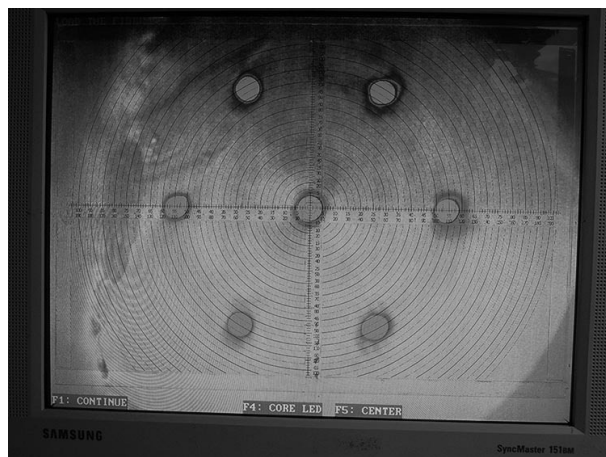
Cilj je bil izvleči 7-jedrno vlakno z enorodovnimi jedri. Pri standardnih enojedrnih optičnih vlaknih je tipična velikost jedra $a \approx 9 \mu\text{m}$, zato smo preračunali, kako debelo vlakno moramo izvleči iz pripravljenega surovca, da bodo jedra po vlečenju velika $\approx 9 \mu\text{m}$. Račun je veled, da moramo izvleči vlakno s premerom plašča $b \approx 250 \mu\text{m}$.

Surovec smo vpeli v podajalni mehanizem na vlečnem stolpu. Izkazalo se je, da je bila cev s steklenimi obročki navarjena na surovec postrani, zato le-ta med samim procesom vlečenja vlakna ni bil venomer na istem položaju znotraj peči. Kljub temu z vlečenjem nismo imeli težav. Med procesom vlečenja smo vlakno zaščitili s standardno akrilatno zaščito (debelina zaščite $\approx 85 \mu\text{m}$). Iz ≈ 10 cm uporabnega surovca, smo izvlekli ≈ 430 m 7-jedrnega vlakna z $b = (250 \pm 2) \mu\text{m}$ ter ga navili na kolut.

6 Test homogenosti

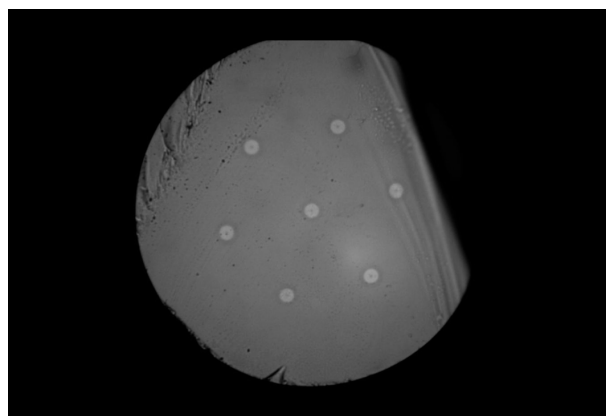
Nekaj kosov vlakna smo analizirali med samim vlečenjem. Sneli smo akrilatno zaščito ter na enem koncu sklopili svetlobo v vlakno, na drugem koncu pa gledali, koliko svetlobe pride iz vlakna. S tem smo na hitro preverili homogenost (ali se surovci lepo zlivajo). Vlakno je izgledalo dobro (slika 7) — okroglo ter homogeno, jedra

pa ustrezne velikosti —, zato vlečnih parametrov nismo spreminjali.



Slika 7: Hiter test homogenosti vlakna — na enem koncu sklopimo svetlobo v vlakno ter na drugem koncu gledamo, koliko svetlobe pride skozi vlakno.

Na koncu smo vlakno pogledali še pod optičnim mikroskopom (slika 8), pri čemer smo imeli precej težav z rezanjem vlakna, saj nismo imeli ustrezne opreme.



Slika 8: Slika 7-jedrnega vlakna pod optičnim mikroskopom. "Severovzhodni" del vlakna je odkrušen zaradi slabe tehnike rezanja.

7 Zaključek

V članku je predstavljen proces izdelave 7-jedrnega optičnega vlakna v podjetju Optacore. Prednost 7-jedrnega vlakna pred ostalimi večjedrnimi vlakni je v visoki stopnji simetrije — jedra so razporejena v oglišča in težišče pravilnega šestkotnika, zato je med njimi enaka razdalja, kar poenostavi proces izdelave. Le-ta sestoji iz dveh delov: priprave surovca in vlečenja vlakna. V prvem delu zložimo v cev enorodovne surovce, raztegnjene na ustrezen premer, vmesni prostor pa zapolnimo s tanjšimi paličicami. Na cev moramo navariti steklene obročke, ki med procesom vlečenja preusmerijo svetlobo iz cevi, sicer pride do pregrevanja tesnila. V drugem delu iz surovca izvlečemo vlakno, pri čemer iz surovca izčrpavamo zrak, da se steklo lepo zlije, položaji jeder pa ohranijo

šestkotno simetrijo. Tovrsten proces izdelave je relativno preprost, vendar je priprava surovca precej zamudna.

8 Zahvala

Delo je delno financirala Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Projekt "Večjedrna optična vlakna" se izvaja v okviru programa "Po kreativni poti do praktičnega znanja", Operativni program razvoja človeških virov za obdobje 2007-2013, 1. razvojna prioriteta: "Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti" ter prednostne usmeritve 1.3 "Štipendijske sheme", v okviru potrjene operacije "Po kreativni poti do praktičnega znanja".

Literatura

- [1] B. Batagelj, V. Janyani, S. Tomažič, "Research challenges in optical communications towards 2020 and beyond", Informacije MIDEM, ISSN 0352-9045, 2014, letn. 44, št. 3, str. 177-184.
- [2] J. Sušin, et al., "Prostorsko multipleksiranje v vlakenskih optičnih komunikacijah", Elektrotehniški vestnik, Volume 82 (2015).
- [3] R.-J. Essiambre, R. Ryf, N. K. Fontaine, S. Randel, "Breakthroughs in Photonics 2012: Space-Division Multiplexing in Multimode and Multicore Fibers for High-Capacity Optical Communication", IEEE Photonics Journal, vol. 5, no. 2, April 2013.
- [4] M. Koshiba, K. Saitoh in Y. Kokubun, "Heterogeneous multi-core fibers: proposal and design principle", IEICE Electronics Express, vol.6, no.2, pp.98-103, 2009.