

# Uvajanje tehnologije večjedrnih optičnih vlaken v telekomunikacijska omrežja: argumenti, priložnosti in zadržki

Aljaž Bešter Cerar<sup>1</sup>, Matej Švigelj<sup>1</sup>, Boštjan Batagelj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ekonomski fakulteta, Kardeljeva ploščad 17, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: aljazbestercerar@gmail.com, bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

## The introduction of multicore technology in fiber-optic telecommunications networks: arguments, opportunities and concerns

**Abstract.** Single-core fibers are the most important building blocks in today's global telecommunication infrastructure. Due to several factors, including the Shannon limit, fiber non-linearities, optical amplifier bandwidth and the fiber fuse effect it is now known that there is a fundamental limit to a single core fiber of approximately 100 Tbit/s [1].

Given the fact that the global IP traffic continues to rise at the rate of 30 % per year, it has been postulated that certain highly developed countries might be approaching the so-called »fiber wall«. The concept of the fiber wall is essentially a forecast, predicting that telecommunication networks might be approaching the point where their capacities are fully utilised and therefore in need of new ways to ensure uninterrupted movement of data.

Multi-core fiber is one of the more promising »new« technologies that should delay the upcoming capacity crunch and at the same time offer new ways to cut operational costs. Much like the transition from copper cables to fiber optics, it is expected that multi-core fibers will face enormous challenges in order to make the new technology commercially viable.

## 1 Uvod

Optična tehnologija je ob svojem rojstvu predstavljala neomejeno kapaciteto prenosa podatkov. Prehod iz bakrenega na optično omrežje je pomenilo zadovoljitev potreb informacijske družbe prihodnosti. V zadnjih nekaj letih je postalo jasno, da obstaja omejitev prenosa podatkov preko enojedrnega optičnega vlakna, ki nastopa kot glavni gradnik sodobnih telekomunikacijskih omrežij [2].

Zaradi različnih faktorjev kot so Shannon-ova meja, Kerrove nelinearnosti optičnega vlakna in podobno, lahko ocenimo zgornjo omejitev prenosa podatkov v enojedrnem vlaknu v višini približno 100 Tbit/s. Zavaljo vztrajne rasti povpraševanja po hitrejšem prenosu podatkov, strokovnjaki ocenjujejo da bodo nekatera telekomunikacijska omrežja v letu 2020 dosegla tako imenovani »vlakenski zid« oziroma polno zasedenost kapacitet [3].

Lastniki telekomunikacijske infrastrukture bodo tako morali v naslednjih letih začeti resno razmišljati o

načinu nadgradnje trenutnih omrežij za zagotovitev nemotenega prenosa podatkov.

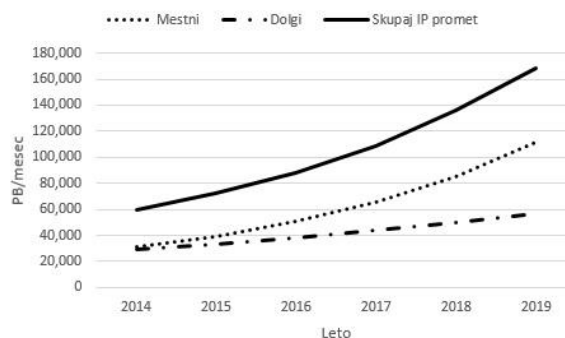
## 2 Trendi ter faktorji rasti prometa

Za lastnike telekomunikacijskih omrežij so zelo pomembni podatki o trendu gibanja internetnega prometa. Pridobljene informacije lahko pomagajo pri izračunu potencialne zasedenosti kapacitet svojega omrežja ter hkrati omogočijo pripravo strategije za odpravo eventualnih motenj v sistemu.

Globalni IP promet se bo v obdobju 2014-2019 povečal trikratno. Kumulativni mesečni promet naj bi v letu 2019 znašal več kot 168 exabajtov [4].

Pri načrtovanju zmogljivosti sistemov in omrežij pa je za operaterje bolj kot kumulativni IP promet pomemben podatek o intervalih največje zasedenosti. Pri telekomunikacijskih omrežij je potrebno biti pazljiv na tako imenovana ozka grla, ki se v tem primeru kažejo kot 60 minutni intervali, ko je uporaba interneta najpogostejša. V letu 2014 se je povprečni internetni promet povečal za 26%, medtem ko se je promet v najbolj zasedenem eno-urnem intervalu povečal za 34%. V obdobju med letoma 2014 ter 2019 se bo promet v najbolj zaposleni uri povečal za faktor 3,4, kar je znatno višje od faktorja 2,8, ki predstavlja rast povprečnega internetnega prometa. Hkrati bo količina prenosa podatkov v letu 2019 narasla na 1,7 petabita na sekundo v najbolj zasedenemu intervalu [4].

Drugo pomembno dejstvo za lastnike telekomunikacijskih omrežij so podatki o IP prometu znotraj mest (slika 1), ki bo v letu 2015 po količini prvič prehitel promet preko daljših razdalj. Globalno bo mestni promet naraščal dvakrat hitreje kot »dolgi« promet in bo leta 2019 predstavljal kar 66% celotnega IP prometa.



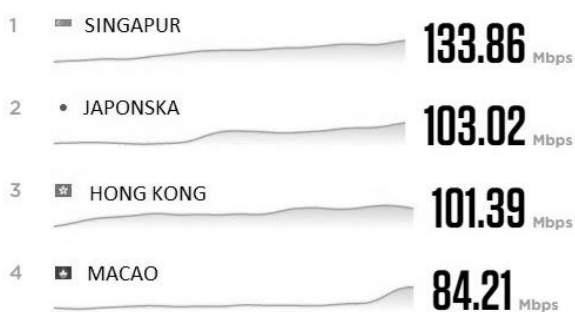
Slika 1: Pričakovana rast IP prometa.

Za ponudnike telekomunikacijskih storitev je pomembno tudi dejstvo, da se bodo širokopasovne hitrosti podvojile in bodo v letu 2019 znašale 43 Mbit/s v primerjavi z 20 Mbit/s v letu 2014 [4].

## 2.1 Trendi rasti prometa v EU

Evropska unija je v fazi pripravljanja na nov 7-letni programski načrt Horizon 2020 ocenila, da za nemoteno delovanje novih informacijskih tehnologij, ki so temelj sodobne informacijske družbe, uporabniki potrebujejo kvalitetnejše internetne povezave in višje hitrosti prenosa podatkov.

Da bi ujeli države, ki so v samem svetovnem vrhu (slika 2), Evropa potrebuje oziroma od svojih držav članih zahteva, da svojim prebivalcem omogočijo dostop do širokopasovnih povezav s hitrostjo 30 Mbit/s. Evropa si bo hkrati s spodbujanjem investicij preko svojih skladov in različnih instrumentov financiranja, prizadevala doseči tudi cilj, ki predvideva da bo vsaj polovica prebivalcev Evropske unije imela dostop do povezav s hitrostjo najmanj 100 Mbit/s do konca leta 2020 [5].



Slika 2: Index hitrosti internetnih povezav v gospodinjstvih, jun-jul 2015.

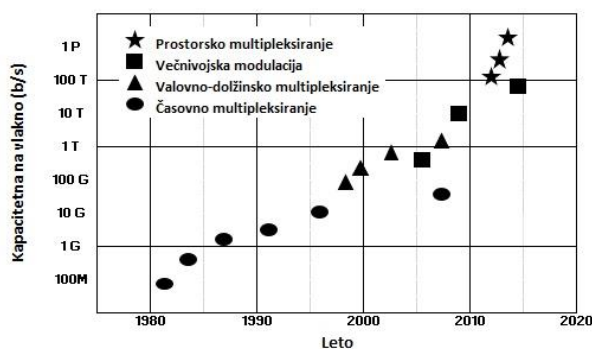
## 2.2 Trendi rasti prometa v Sloveniji

Slovenija po razvitosti informacijske družbe zaostaja za najbolj razvitimi članicami Evropske unije. Še posebej alarmantni so deleži pokritosti gospodinjstev s standardnim fiksnim širokopasovnim omrežjem, kjer Slovenija s 89% spada med štiri države z najnižjo pokritostjo, tam se znajde tudi v primeru pokritosti podeželja.

Da bi dosegli digitalno rast, se je Slovenija v predlogu strategije razvoja informacijske družbe (Digitalna Slovenija 2020) zavzela za ambiciozen načrt 98% gospodinjstvom v državi zagotoviti širokopasovni dostop do interneta s hitrostjo vsaj 100 Mbit/s do konca leta 2020 [6].

## 3 Prostorsko multipleksiranje

Prostorsko multipleksiranje (slika 3) ostaja zadnje neraziskano področje, ki utegne povečati kapaciteto prenosa podatkov na eno vlakno [7].



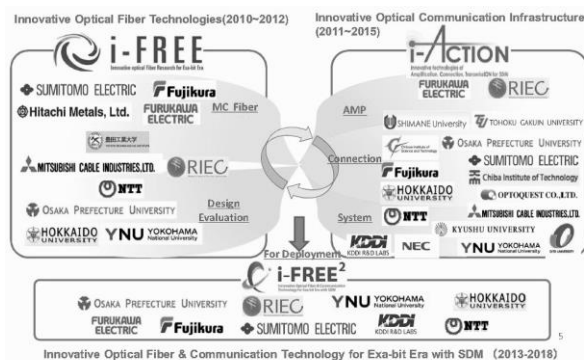
Slika 3: Dosežene kapacitete z uporabo različnih tehnologij prenosa podatkov.

Teoretično tako lahko 7-jedrno vlakno pomeni tudi 7-kratno kapaciteto, kar bi predstavljajo hitrost prenosa v višini 700 Tbit/s preko kratkih razdalj [8].

Ideja prostorskega multipleksiranja sega nazaj vse do leta 1979, vendar do danes na trgu ni bilo zanimanja za izgradnjo celotne platforme, ki bi bila potrebna za nemoteno delovanje nove tehnologije [9].

Na Japonskem že od leta 2008 poteka iniciativa pod imenom EXAT, ki se osredotoča na raziskovanje potencialnih metod za posodobitev ter nadgradnjo obstoječe infrastrukture [10]. Na podlagi rezultatov raziskovanja, se je iniciativa hitro konvertirala v tri velike nacionalne projekta (slika 3), ki temeljijo na ideji prostorskega multipleksiranja kot rešitev prihodnjih kapacitetnih težav telekomunikacijskega omrežja na Japonskem.

Projekti povezujejo javne agencije (NICT) z akademsko sfero (Hokkaido University, Yokohama National University, itd.), ter največja podjetja na področju telekomunikacijske opreme (Sumitomo Electric, Fujikura, NTT, itd.). Prvi projekt je bil končan leta 2012 z namenom izdelave večjedrnega vlakna ter testiranjem njegove učinkovitosti. V drugem projektu, ki se bo zaključil prihodnje leto, je bila pozornost posvečena izdelavi opreme potrebne za delovanje nove platforme: ojačevalniki, konektorji, itd. V letu 2013 se je začel odvijati tudi zadnji izmed treh projektov, katerega namen je uvajanje nove tehnologije in nadgradnja infrastrukture [11].



Slika 4: Telekomunikacijski grozd na Japonskem.

Rezultati navedenih projektov žal niso dosegljivi širši javnosti. Zdi se da bo Japonska ob končani zadnji fazi nacionalnega projekta prišla na trg z zaključeno storitvijo, ki jo bo lahko trgu ponujala po visokih cenah. V projektu sodelujejo podjetja v vseh delih oskrbovalne verige, kar ponuja tudi priložnost za uvajanje industrijskih standardov za vso novo spremljajočo opremo, kar bo dodatno utrdilo tržni položaj sodelujočih podjetij.

## 4 Raziskava trga

V sklopu raziskave trga so bili opravljeni intervjuji v podjetjih, ki aktivno delujejo na področju telekomunikacij v Sloveniji. Med sodelujočimi so bili operaterji mobilnih ter fiksnih internetnih omrežij, dobavitelji opreme, izdelovalci optičnega orodja, graditelji podatkovnih centrov, ponudniki mrežnih storitev ter zastopniki mednarodnih podjetij ki delujejo v sektorju telekomunikacij.

Glavni cilji raziskave trga so bili ugotavljanje tržnega potenciala tehnologije večjedrnih optičnih vlaken ter morebitnih problemov s katerimi bi se graditelji omrežij lahko srečevali pri samem uvajanju nove tehnologije. Zaradi majhnosti trga telekomunikacijskih storitev v Sloveniji, so pogovori potekali predvsem v smeri globalnega telekomunikacijskega omrežja ter zasedenosti kapacitet v državah z višjim povprečnim internetnim prometom.

### 4.1 Zadržki pri tehnologiji

Najbolj pogosto omenjen problem prostorskega multipleksiranja ter večjedrnih optičnih vlaken je tako imenovani »cross-talk« oziroma presluh med jedri, predvsem pri uporabi vlaken na velikih razdaljah. Pri uporabi vlaken za dolge razdalje pa se pojavijo tudi težave z regeneracijskimi ojačevalniki, kjer bo potrebno natančno ter sorazmerno ojačenje signala preko vseh jeder v enem vlaknu.

Veliko je tudi nerazrešenih vprašanj na temo optičnih konektorjev ter merilne opreme, dobavitelji se sprašujejo ali bo možna uporaba današnje spremljajoče opreme tudi na tehnologiji večjedrnih vlaken. Sodelujoči dobavitelji optične opreme opozarjajo, da pri izdelovalcih opreme niso zasledili premika raziskovalnih dejavnosti v smeri proizvodnje novih izdelkov za potrebe tehnologij, kot so večjedrna vlakna.

Dobavitelji opreme za rezanje in spajanje optičnih vlaken svarijo tudi pred scenariji, ko bo pri spajanju poškodovan zgolj eden izmed mnogih jeder v vlaknu. Opozarjajo, da bo v tem primeru veliko težje odkriti lokacijo izvora poškodbe, kar bo rezultiralo v večjih stroških popravila večjedrnih vlakenskih spojev.

Vsi sodelujoči se zavedajo problema standardizacije, in dejstva, da je za prehod iz stare tehnologije potrebno sodelovanje največjih izdelovalcev spremljajoče opreme.

Mnogi hkrati opozarjajo tudi na visoko tehnološko zapletenost, ki bi se odražala v precej višji ceni proizvedenih vlaken. Operaterji zaradi kompleksnosti tehnologije pričakujejo visoke stroške izobraževanja

delavcev, ki skrbijo za vzdrževanje omrežij. Zaradi zapletenosti same tehnologije bi bilo ob poškodbi vlakna oteženo samo popravilo, kar bi pripeljalo do velikih stroškov zaradi kršenja dogovorov o ravnih storitev (SLA).

Zadnji in mogoče eden izmed najbolj pomembnih zadržkov pri tehnologiji večjedrnih vlaken trenutno ostaja še neraziskan. Operaterji poudarjajo, da se problemi novih tehnologij največkrat pojavijo na samem terenu oziroma pri polaganju kablov v kabelsko kanalizacijo.

### 4.2 Zadržki pri ekonomski izvedljivosti

Kot glavno oviro uvajanja večjedrnega vlakna, sodelujoči vidijo prav v trenutni tehnologiji enojedrnega vlakna. Večina udeležencev ne vidi prihranka oziroma potrebe po polaganju kablov z večjedrnimi vlakni ob možnosti današnjih kablov s 576 enojedrnimi vlakni na optični kabel.

Dobavitelji optične opreme hkrati poudarjajo, da cena opreme za enojedro vlakno še vedno vztrajno pada, kar nakazuje na dejstvo da je stara tehnologija enojedrnih vlaken še vedno v fazi zrelosti in ne v fazi upadanja.

Sodelujoči prav tako zaznavajo probleme pri vpeljavi večjedrnih vlaken v podatkovne centre, saj se preko tako kratkih povezav uporabljajo mnogorodovna vlakna, ter oprema za mnogorodovno tehnologijo, ki je občutno cenejša kot oprema za enorodovna vlakna.

Operaterji ne vidijo potrebe za nadgradnjo telekomunikacijskega omrežja v Sloveniji v bližji prihodnosti, saj je po njihovi oceni Slovenija ena izmed držav z najboljšo optično infrastrukturo v širši regiji. Operaterji prav tako poudarjajo, da se težave zaradi zasedenosti kapacitet trenutno rešuje s sistemi prenosov (valovno-dolžinsko multipleksiranje) in ne z uporabo dodatnih vlaken. Slovenija zaradi svoje gostote prebivalstva ni država, ki bi bila lahko po mnenju lastnikov omrežij potencialna žrtev vlakenskega zidu. Operaterji poleg števila prebivalcev, poudarjajo tudi razlike v uporabniških navadah med Slovenijo ter državami kot sta Japonska in Južna Koreja.

Po besedah ponudnikov storitev elektronskih komunikacij je Slovenija še daleč od magične meje 100 Tbit/s, saj ne beležijo problemov tudi na najbolj zasedenih delih hrbteničnega omrežja, ki delujejo na povezavah 50 Gbit/s z možnostjo prehoda na 100 Gbit/s.

### 4.3 Priložnosti nove tehnologije

Skoraj vsi sodelujoči vidijo uporabo večjedrnih vlaken pri gradnji podatkovnih centrov, medtem ko nekateri vidijo priložnosti pri radijskem omrežju zaradi novega trenda centralizacije radijskih storitev in pri specialnih primerih podjetij, ki potrebujejo hitrejše prenosne lastnosti sistemov, zaradi dela s fotografijami oziroma ko je potreben hiter prenos večjih datotek.

Operaterji priznavajo, da je preskok na novo tehnologijo neizbežen, vendar bodo morali zaradi visoke stopnje konzervativnosti pri posegu v

infrastrukturo počakati še nekaj let, da bo tehnologija večjedrnega vlakna prišla iz t.i. faze raziskovanja v fazo rasti.

## 5 Zaključek

Prehod iz bakrenega omrežja na tehnologijo, ki temelji na optičnih vlaknih, je predstavljala izziv za vsa sodelujoča podjetja v procesu ponujanja končnih storitev elektronskih komunikacij. Čeprav se zdi tehnologija prostorskega multipleksiranja ter večjedrnih vlaken tehnološko zapletena, postaja iz dneva v dan bolj ugodna alternativa za povečanje kapacitet današnjih telekomunikacijskih omrežij.

Večjedrna optična vlakna so bila prvotno namenjena uporabi v hrbtni omrežjih, z možnostjo prihranka pri stroških energije potrebne za ojačanje signalov. Zadnji podatki kažejo, da bo promet hitreje naraščal v povezavah znotraj mest, zato se načrtuje implementacija tovrstnih vlaken na krajših razdaljah ter pri zahtevnih končnih uporabnikih.

Mednarodni strokovnjaki ocenjujejo da bodo nekatera omrežja dosegla zmoglosti svojih kapacitet že v letu 2020. Koncept vlakenskega zidu temelji na izračunih povprečne internetne porabe, vendar se je potrebno zavedati, da novi dejavniki kot so: hitrejša rast najbolj zasedenih intervalov porabe interneta, rast mestnega prometa ter internacionalni programi kot so Digitalna Agenda EU, dodatno obremenjujejo kapacitete omrežij.

V članku smo poskušali prepoznati tudi morebitne probleme ter zadržke, ki bodo spremljali potencialni premik iz enojedrnega vlakna na omrežja sestavljena iz večjedrnih vlaken in uporabo tehnologije prostorskega multipleksiranja.

Domači strokovnjaki kot glavne probleme nove tehnologije vidijo pri presluhu med jedri, zaznavanju poškodb pri spajanju ter visoko tehnološko zapletenost večjedrnih optičnih vlaken. Zadržki pri uporabi nove tehnologije iz ekonomskega vidika so vezani predvsem na cenovno ugodnost trenutne tehnologije enojedrnih vlaken.

Po drugi strani pa strokovnjaki vidijo možnosti uporabe večjedrnih vlaken predvsem v podatkovnih centrih in zaradi trenda centralizacije tudi pri radijskih omrežjih. Po besedah sodelujočih bo tehnologija večjedrnih optičnih vlaken izkoriščena tudi za nadgradnjo kapacitet telekomunikacijskih sistemov zaradi možnosti zmanjšanja operativnih stroškov.

Vsi strokovnjaki pa se strinjajo, da bo potrebno še nekaj let za odpravo težav pri spremljajoči opremi za eventualno uporabnost večjedrnih vlaken v komercialne namene.

## 6 Zahvala

Avtorji članka se zahvaljujejo naslednjim strokovnjakom za sodelovanje v intervjujih v okviru projekta: g. Vojko Živec (Xenya, d.o.o.), g. Peter

Reinhardt (Xenya, d.o.o), g. Uroš Petrič (Fokab, d.o.o), g. Boštjan Tržan (Telekom Slovenije, d.d.), g. Igor Pustišek (Telekom Slovenije, d.d.), g. Matjaž Pogačnik (Telekom Slovenije, d.d.), g. Gregor Kastelic (Fibernet, d.o.o.) g. Sebastjan Gašparič (Fibernet, d.o.o.) ter g. Zvone Žagar (EZZ, d.o.o.).

Delo je delno financirala EU 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] Morioka, T., Awaji, Y., Ryf, R., Winzer, P., Richardson, D., & Poletti, F. (2012). Enhancing optical communications with brand new fibers. *Communications Magazine, IEEE*, 50(2), s31-s42.

[2] Essiambre, R. J., Ryf, R., Fontaine, N. K., & Randel, S. (2013). Breakthroughs in photonics 2012: Space-division multiplexing in multimode and multicore fibers for high-capacity optical communication. *Photonics Journal, IEEE*, 5(2), 0701307-0701307

[3] Batagelj, B., Janyani, V., & Tomažič, S. (2015). Research challenges in optical communications towards 2020 and beyond. *Informacije MIDEM*, 44(3), 177-184.

[4] Cisco. (2015). Cisco visual networking index: Forecast and methodology, 2014–2019. CISCO White paper, 2014-2019.

[5] Kushida, K. E. (2013). Public Private Interplay for Next Generation Access Networks: Lessons and Warnings from Japan's Broadband Success. *Communications & Strategies*, (91), 13-34

[6] Direktorat za informacijsko družbo (2015). Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020, mar. 2015.

[7] Miyamoto, Y. (2013) Over one Pbit/s capacity optical transmission based on 400 Gb/s channel and beyond. The 6th International Symposium on Ultrafast Photonics Technologies (ISUPT 2013). University of Rochester, Rochester New York, 2013.

[8] Koshihara, M., Saitoh, K., & Kokubun, Y. (2009). Heterogeneous multi-core fibers: proposal and design principle. *IEICE Electronics Express*, 6(2), 98-103.

[9] Richardson, D. J., Fini, J. M., & Nelson, L. E. (2013). Space-division multiplexing in optical fibres. *Nature Photonics*, 7(5), 354-362.

[10] Matsushima, Y. (2014, July). Prospective for Deployment of 3M Technologies. In *Photonics Society Summer Topical Meeting Series, 2014 IEEE* (pp. 144-145). IEEE.

[11] Hakak, S., & Amin, G., (2013). Generation Next Optical Infrastructure Technology 3-M's. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(8), 912-917.