

# Optični komunikacijski poskusi za interaktivno muzejsko okolje

Kristjan Vuk Baliž<sup>1</sup>, Andrej Lavrič<sup>1</sup>, Anja Brelih<sup>1</sup>, Matic Šinko<sup>1</sup>, Peter Nimac<sup>1</sup>, Tjaš Leghissa<sup>1</sup>,  
Sebastjan Skrbinšek<sup>2</sup>, Jure Pelhan<sup>2</sup>, Irena Drevenšek Olenik<sup>2</sup>, Matej Baša<sup>3</sup>, Lovro Jevnikar<sup>3</sup>, Borut  
Batagelj<sup>3</sup>, Ajda Kozjek<sup>4</sup>, Boštjan Batagelj<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>4</sup> Tehniški muzej Slovenije, Tržaška cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: bostjan.batagelj@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** Optične komunikacije, zasnovane na optičnem vlaknu, so ključne za razvoj sodobne informacijsko-komunikacijske družbe. Z iznajdbo optičnega vlakna je svet dobil nov komunikacijski medij in prepotreben komunikacijski vodnik, ki prekaša vso do zdaj znano komplementarno prenosno tehniko in je kot tak osnova za množične širokopasovne povezave v svetovnem merilu. Razvoj vlakenskih optičnih tehnologij v zadnjih 50 letih je bil hiter, v njem pa so sodelovala tudi slovenska podjetja. Produkte optičnih tehnologij slovenskega porekla si je mogoče ogledati v Tehniškem muzeju Slovenije oziroma na njihovem oddelku, v Muzeju pošte in telekomunikacij v Polhovem Gradcu, zbirka pa je podkrepjena z demonstrativnimi optičnimi poskusi, ki obiskovalcu omogočijo interaktivno spoznavanje s to množično komunikacijsko tehnologijo. V tem prispevku so opisani optični poskusi, razviti za namen vzpostavitve stalne muzejske zbirke, ki bo obiskovalcem predstavila razvoj optičnih komunikacij v preteklega pol stoletja in s pomočjo interaktivnih poskusov pomagala k razumevanju tehnologije ter jih navduševala.

**Ključne besede:** optične komunikacije, optično vlakno, interaktivni poskus, tehniški muzej

## Optical communication experiments for an interactive museum environment

Optical-fiber-based communications have importantly effected the development of the modern information and communication society. With the invention of the optical fiber, the world has gained a new communication medium and a much-needed communication guide that outperforms any other currently-known complementary communication technology. As such it has been forming the basis for a massive broadband connection on the global scale. Over the past 50 years, among those, contributing to this rapid and remarkable development are also the Slovenian companies. Their optical-technology products can be seen at the division of the Technical Museum of Slovenia at the Museum of Post and Telecommunications at Polhov Gradec where visitors also attend demonstrative optical experiments and interact with the mass communication technology. The paper describes some of the optical experiments having been developed for the museum permanent collection to demonstrate to visitors the development of the optical-fibre communications and to enable them to understand this technology by means of interactive experiments.

**Keywords:** optical communications, optical fiber, interactive experiment, technical museum

## 1 UVOD

Optične komunikacijske tehnologije so z izumom inovativnega optičnega vlakna pred pol stoletja povzročile pravo komunikacijsko revolucijo [1], ki je omogočila razvoj današnje informacijske družbe. Prenos informacijskih podatkov po dielektričnem (električno neprevodnem) optičnem vlaknu, ki je izredno majhnih dimenzij in po drugi strani izredno velikih zmogljivosti [2], [3], se vsem uporabnikom telekomunikacijskih storitev danes zdi samoumeven. Le malo ljudi pa ve, kateri fizikalni pojavi omogočajo prenos podatkov s pomočjo svetlobe in zakaj je optično vlakno tako edinstveno.

Svetloba ima kot komunikacijski medij velikanske prednosti. Je del elektromagnetnega spektra tako kot radijski valovi, le da ima mnogo višjo (10.000–krat in več) frekvenco in s tem mnogo širši spekter. Prav ta je potreben pri prenosu velike količine govorne, slikovne in podatkovne informacije, ki je ni mogoče prenašati v radijskem spektru. 4.000–krat večja pasovna širina, ki je na razpolago v optičnih komunikacijah v primerjavi z radijskimi komunikacijami, bo tudi s 3D-navidezno resničnostjo in novimi hologramskimi video storitvami težko do konca zapolnjena [3]. Učinkovit prenos svetlobe na večje in zelo velike razdalje omogoča cenen in učinkovit vodnik – optično vlakno.

Slovenska podjetja so kmalu po izumu optičnega vlakna začela vlagati v razvoj elektrooptične tehnologije in jo uvajati na področju takratne Jugoslavije ter širše po svetu. V okviru Tehniškega muzeja Slovenije (TMS) oziroma njihovega oddelka, Muzeja pošte in telekomunikacij v Polhovem Gradcu, je zbranih nekaj eksponatov, ki obiskovalcem predstavijo razvoj optičnih komunikacij v zadnjih 50 letih. S pomočjo interaktivnih poskusov se obiskovalcem pomaga do razumevanja tehnologije ter se jih navdušuje. Namen izdelane razstave je prikazati muzejske eksponate začetkov slovenske elektrooptične tehnologije in jih podkrepiti z interaktivnimi poskusi, ki bodo tvorili stalno muzejsko zbirko.

V tem članku so predstavljeni interaktivni poskusi s področja optičnih komunikacij, ki so bili izdelani za obiskovalce muzejske zbirke. Prikazani so izdelani poskusi, ki se bodo izvajali v muzeju pod vodstvom muzejskega osebja, tisti, ki jih obiskovalci izvajajo sami, ter tisti, ki jih bodo obiskovalci lahko kupili in odnesli domov za izvajanje in navduševanje drugih.

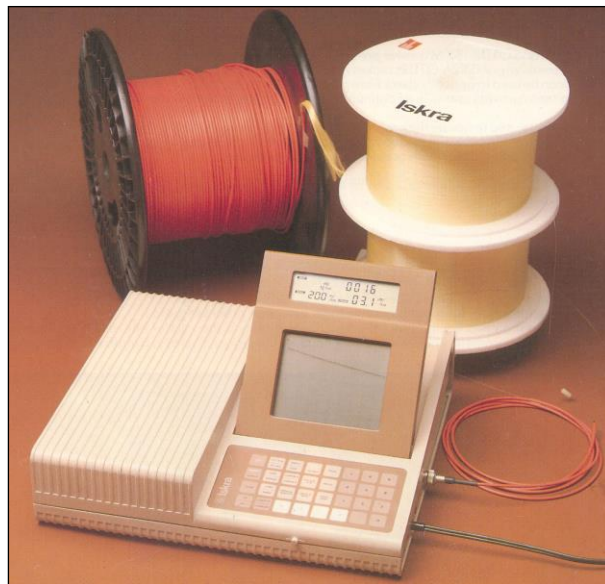
## 2 MUZEJSKO OKOLJE

Današnji muzeji v svojem okolju zajemajo različne oblike poučevanja in ohranjanja zgodovinskih eksponatov. TMS je zavod, ki že desetletja zbira, ohranja in razstavlja eksponate tehniške dediščine s poudarkom na proizvodih slovenskega znanja in tistih, ki so bistveno vplivali na življenje Slovencev ali pa so kakorkoli značilni za slovenski prostor [4]. Osrednja vizija zavoda so postali tudi širjenje tehniške kulture, popularizacija znanosti in tehnike ter predstavljanje najnovejših razvojnih dosežkov. Pri tem ves čas svojega obstoja posodablja svoje zbirke in jih v zadnjem času dopolnjujejo z interaktivnimi in multimedijijskimi vsebinami.

Obiskovalce muzejev danes poleg ogleda statičnih muzejskih zbirk zanima tudi preizkušanje takratnih izdelkov in razumevanje ozadja delovanja tehnologije. Ker so optična tehnologija in njeni komunikacijski dosežki po pol stoletja od začetkov uvajanja v prakso primerni za vključitev v muzejsko zbirko TMS, se je iskal najprimernejši način prikaza. V zadnjem desetletju je oddelek v Polhovem Gradcu, ki pokriva tudi področje telekomunikacije [5], že začel zbirati eksponate s področja optičnih tehnologij. Pri tem je prav tako že začel izvajati pregled nad stanjem premične tehniške dediščine s področja optične komunikacije in optičnih tehnologij na terenu.

Lep primer slovenske tehniške dediščine s področja optične komunikacije je takrat poimenovani optični časovni reflektometer (angl. optical time-domain reflectometer – OTDR), ki je nastal proti koncu 80. let kot plod sodelovanja med Iskro Elektrooptiko in Institutom Jožef Stefan. Iskrin optični reflektometer v časovnem prostoru, ki je prikazan na sliki 1, je bil namenjen odkrivanju napak v telekomunikacijskih povezavah, izdelanih s pomočjo optičnih kablov.

Izveden je bil v dveh različicah (850 nm in 1.300 nm) ter bil z vgrajeno 20-megaherčno vzorčno uro zmožen določiti mesto napake na 50 km dolgem optičnem kablu do 1 m natančno. Kljub uspešni predstavitvi na sejmju elektronike kmalu zatem v Elektrooptiki niso bili več navdušeni nad izdelavo optičnih vlaken in projekt je zamrl.



Slika 1: Eksponat optičnega reflektometrijskega merilnika iz podjetja Iskra Optoelektronika iz leta 1987.

Poleg omenjenih eksponatov je v muzejskem okolju za popolno mero doživetja treba predstaviti tudi interaktivne tehnološke poskuse. V tem prispevku so predstavljeni primerni optični komunikacijski poskusi, ki so bili zasnovani v okviru projekta Optične komunikacijske tehnologije v interaktivnem tehniškem muzejskem okolju (OK-iTMS). Izdelani interaktivni in multimedijijski poskusi bodo obiskovalcem muzejske zbirke prikazali fizikalno ozadje in jih seznanili z dejstvi, ki bodo pomagala razumeti prenos komunikacijskih signalov.

## 3 ZASNOVANI OPTIČNI POSKUSI

Študentje na Fakulteti za elektrotehniko v okviru predmeta Optične komunikacije že več kot 25 let izvajajo laboratorijske vaje, pri katerih spoznavajo optične tehnologije in z njimi povezane komunikacijske tehnike [6], [7]. Ker laboratorijski poskusi iz univerzitetnega okolja zahtevajo predznanje fizike, elektrotehnike in elektrodinamike, jih je treba za muzejsko okolje prilagoditi širšim množicam z manj fizikalno-tehniškega predznanja. Pri tem je treba paziti na smiselno vključitev med obstoječe muzejske eksponate s področja optičnih komunikacij.

Tisto, kar eksperimentom s področja optike daje prednost, je njihova izjemna atraktivnost. Na ta način se lahko obiskovalcem na posebnem primeru svetlobe

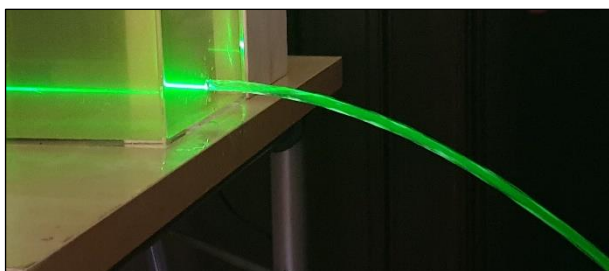
predstavi tudi nekatere temeljne zakonitosti elektromagnetnega valovanja. Ker imamo ljudje za njegov omejeni spekter, namreč vidno svetlobo, evolucijsko prilagojeno biološko sensoriko (vidni čut) ter s tem povezano razvito in priučeno ustrezno intuicijo, je svetloba zelo primerna vstopna točka v svet elektromagnetnih valovanj.

Pri izdelavi nekaterih bazičnih poskusov se kot prioriteta postavita dostopnost in ekonomska ponovljivost poskusa. Takšen poskus je ponovljiv z materialom in napravami, ki so dostopne v prosti prodaji. Sprememba namembnosti in cene elektronike ter optičnih naprav spodbuja inovativno razmišljanje in izvorno uporabo obstoječih idej. S tem se skupinam brez dostopa do profesionalnih delavnic in laboratorijev omogoči izvedbo poskusa v omenjenih muzejskih okoliščinah. Ne nazadnje poskusi delujejo kot motivacijsko sredstvo za vključevanje v družbo in nadaljnje izobraževanje, ki je najbolj učinkovito sredstvo socialne mobilnosti.

### 3.1 Ujetje svetlobnega žarka v vodni svetlovod

Optično vlakno je dielektrični valovod, ki vodi svetlobo, zato mu pravimo tudi svetlovod. Teoretično rešitev dielektričnega paličastega valovoda [8], ki jo je E. Snitzer izpeljal za mikrovalove, je mogoče uporabiti tudi za svetlobo. Za prikaz razširjanja svetlobe je zelo atraktiven poskus, pri katerem se svetlobni žarek ujame v notranjost curka vode. Poskus je leta 1854 na kraljevem inštitutu v Londonu prikazal slavni irski fizik John Tyndall, čeprav ga je nekoliko prej, leta 1842, zasnoval že švicarski fizik Jean-Daniel Colladon [9].

Eksperiment s svetlobnim curkom na sliki 2 prikazuje svetlobo, ki potuje po vodnem curku zaradi fizikalnega pojava popolnega odboja. Popolni odboj, ki ga je prvi opisal nemški matematik Johannes Kepler leta 1611 [10], je osnova vodenja svetlobe in kot tak sodobne tehnologije optičnih vlaken. Svetlobni žarek ostane ujet v vodni curek tudi, ko se ta ukrivi.



Slika 2: Prikaz ujetja žarka v vodnem curku.

Leta 1621 je nizozemski matematik Willebrord Snellius odkril zakonitost popolnega odboja [10], ki ga imenujemo Snellov lomni zakon. Kot, ki označuje mejo, kjer se začne popolni odboj, se imenuje mejni kot popolnega odboja. Za vodo, katere lomni količnik je 1,33, znaša mejni kot  $49^\circ$ . Za amorfno kremenovo

steklo z lomnim količnikom 1,46, iz katerega je izdelano optično vlakno, pa  $43^\circ$ .

V muzejskem okolju je na ogled poskus s posodama in vodno črpalko ter ustreznimi senzorstvi, kjer se v vodni curek ujame zelen laserski žarek. Doma ali v sklopu muzejskih delavnic pa si lahko obiskovalci izdelajo svoj eksperiment z vodnim curkom s pomočjo plastenke, žeblija in laserskega kazalnika.

### 3.2 Prikaz delovanja optičnega vlakna

Nizozemski znanstvenik Abraham Van Heel je leta 1954 stekleni svetlovod obdal z oblogo, kar je svetlobni žarek v jedru svetlovoda zaščitilo pred okolico [11]. Leta 1960 so steklena vlakna z oblogo imela slabljenje, večje od 1 dB/m, kar je omogočilo uporabo v medicini, vendar je bilo še zelo daleč od možnosti uporabe za komunikacijske namene.

V letu 1966 je C. K. Kao s sodelavcem ugotovil, da je najprimernejši svetlovod, ki je oblikovan kot dielektrična sredica, obdana z oblogo iz dielektrika nekoliko nižjega lomnega količnika [12]. Kao je ugotovil, da je taljeno kremenovo steklo, človeku že 4.500 let znan material iz Mezopotamije in Egipta, primerna surovina in da bi bilo od nečistoč očiščeno steklo tista cenena surovina, ki bi lahko omogočila za takratne predstave še dopustno slabljenje (1 % svetlobe na koncu vlakna dolžine 1 km). V ameriškem podjetju Corning Glass Works, ki ima stoletne izkušnje z obdelovanjem stekla za vsakdanje potrebe, so v letu 1970 izdelali kot las tanko vlakno, ki je ustrezalo tedanjim predstavam o slabljenju [13]. To je bil zgodovinski prelomni moment, v katerem je prevladalo optično vlakno, tehnično skoraj popoln, pa vendar cenen izdelek, iz materiala, ki je na voljo v nepreglednih količinah.

Za ponazoritev svetlovoda je v muzeju potovanje svetlobe izvedeno v svetlobnem vodniku premera 1 cm, kot prikazuje slika 3. S pomočjo demonstracijske naprave se ponazori popolni odboj, pri čemer je z naklonom laserja mogoče žarek pripeljati na konec svetlobnega vodnika prek različnega števila odbojev.



Slika 3: Prikaz širjenja rodov po optičnem vlaknu.

Pri poskusu je poleg svetlovoda udeleženi še nekaj optičnih elementov. Komunikacijsko vlakno – kot prenosna pot, laser – kot izvor in zaslon za opazovanje izhodne svetlobe. Na tabli s svetlovodnim poskusom lahko obiskovalci opazujejo in bolje razumejo fizikalne lastnosti v optičnem vlaknu.

Svetlovodni poskus nazorno prikazuje koncept vodenja laserskega žarka po optičnem vlaknu s pomočjo fizikalnega pojava popolnega notranjega odboja

svetlobe. Popolni odboj valovanja nastane na meji iz gostejše v redkejšo snov (jedro in obloga vlakna) in je brezizguben. Prav brezizguben popolni odboj je ena od glavnih prednosti optičnega vlakna, saj je tako omogočena komunikacija na dolge razdalje [2]. Druga velika prednost optičnega vlakna je širokopasovnost, ki omogoča veliko hitrejši dostop do interneta kot vsi bakreni tekmeči ali radiokomunikacije [3]. Danes se optična vlakna uporabljajo v telekomunikacijah, kjer nadomeščajo bakrene vodnike. Bistvena prednost poleg velike prenosne zmogljivosti in majhnih izgub je tudi odpornost proti elektromagnetnim motnjam iz okolice.

### 3.3 Sipanje svetlobe na kolutu optičnega vlakna

Optično vlakno je zgrajeno iz jedra, po katerem potuje svetloba, in obloge, ki omejuje svetlobo na jedro. Dodatno ga pred mehanskimi poškodbami ščiti eden, dva ali več zaščitnih slojev.

Enorodovno optično vlakno je danes edini prenosni medij za visokozmogljive telekomunikacijske zveze Tbit/s. Po njem se širi zgolj osnovni rod optičnega valovanja. Mnogorodovno optično vlakno, ki so ga izdelovali tudi v podjetju Iskra Elektrooptika, lahko s standardnim premerom jedra 50  $\mu\text{m}$  ali 62,5  $\mu\text{m}$  in premerom obloge 125  $\mu\text{m}$  v nasprotju z enorodovnim vlaknom prenaša več kot sto različnih rodov optičnega valovanja. Ker ima vsak od rodov svojo hitrost razširjanja, v prenosno pot skupaj vnašajo pojav razširitve prenosnega signala. Ta pojav se imenuje mnogorodovna disperzija in je poleg visoke proizvodne cene glavni vzrok, da se je praktična uporaba mnogorodovnih vlaken v zadnjih desetletjih precej zmanjšala.

V muzeju si je prav tako mogoče ogledati sipanje laserske svetlobe na kolutu optičnega vlakna, ki ga je pred 30 leti izdelalo podjetje Iskra Elektrooptika.



Slika 4: Prikaz sipanja svetlobe na kolutu optičnega vlakna.

Ko svetloba izstopi na koncu optičnega koluta, se prikaže na zaslonu, kjer je mogoče opazovati interferenco med različnimi rodovi. S premikanjem optičnega vlakna obiskovalec opazuje spreminjanje svetlobnega vzorca na zaslonu.

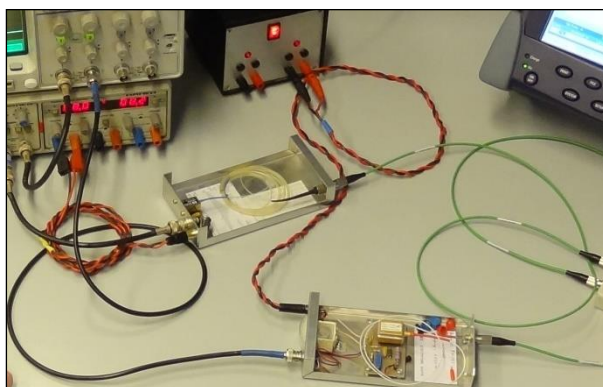
### 3.4 Optični reflektometriški merilnik razdalje

V praksi je za merjenje dolžine optičnega vlakna zelo priročen optični reflektometriški merilnik razdalje, ki omogoča merjenje dolžine vlakna z enega samega konca. Pri meritvah resničnih optičnih zvez sta si namreč oba konca zveze nekaj deset do nekaj sto kilometrov narazen, torej običajno nista dostopna hkrati. Za meritev optične zveze je zato zaželeno napravna naprava, ki zna izmeriti optično vlakno v vkopanem kablu z dostopom na enem samem koncu optične zveze. Takšno napravo je pred več kot 30 leti zasnovalo tudi slovensko podjetje Iskra Elektrooptika. Tovrstno reflektometriško meritev izvedemo tako, da se v vlakno na enem koncu pošlje znan signal in nato opazuje, kaj se po določenem času zaradi različnih odbojev vrne na isti konec vlakna.

Za učinkovito izvedbo reflektometriške meritve je v vlakno treba oddati časovno kratek impulz svetlobe. Svetlobni impulz se odbije predvsem na odprtem (prostem) koncu vlakna in na konektorskih spojih. Precej slabotnejše je Rayleighovo sipanje svetlobe v steklu vzdolž celotne dolžine vlakna. Odboji na zvarih pa so zanemarljivo majhni.

Posamezne odbite signale po času prihoda v sprejemnik med seboj loči merilnik, saj mora vsak signal preteči najprej pot od oddajnika do točke odboja in se potem po isti poti vrniti. Iz izmerjenega časa med oddajo impulza in sprejemom odboja se lahko izračuna mesto konca vlakna ali položaj napake vzdolž vlakna.

Za prikaz delovanja Iskrinega optičnega reflektometriškega merilnika v časovnem prostoru služijo oddajnik optičnih impulzov, smerni sklopnik, optični sprejemnik in prikazovalnik rezultata meritve, ki so prikazani na sliki 5. Glavna omejitev optičnega reflektometra je uporaben domet. Signal reflektometra se sicer širi po istem vlaknu kot signal resnične optične zveze, vendar mora signal reflektometra isto pot preteči dvakrat.



Slika 5: Prikaz postavitve merilnika OTDR.

Poleg tega so odboji slabotni: najmočnejši odboj na prostem koncu vlakna znaša komaj 4 % moči vpadne svetlobe, odboji na dobrih konektorjih so še manjši. Najslabotnejše je Rayleighovo sipanje svetlobe, saj

predstavlja glavni mehanizem izgub kakovostnih optičnih vlaknih in ga poskušamo karseda omejiti z izbiro primerne valovne dolžine svetlobe. Od celotne sipane moči se večji delež razprši zunaj vlakna in le manj kot 1 % sipane moči se »ujame« nazaj v optični valovod. V praktično izvedbo reflektometra v časovnem prostoru zato vgradimo laser s čim večjo izhodno močjo.

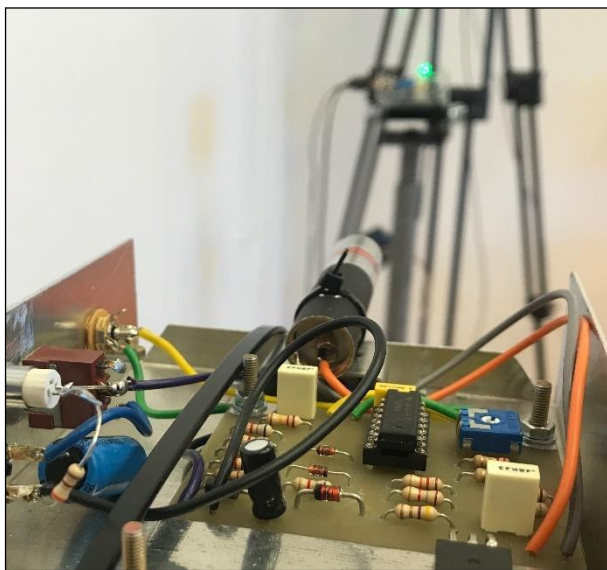
Domet reflektometra se lahko poveča tudi s povprečenjem večjega števila meritev. Pri praktičnih meritvah pa je treba paziti tudi na trajanje svetlobnega impulza. S krajšim impulzom dosežemo boljšo natančnost določanja mesta odboja, a hkrati zmanjšamo domet reflektometra.

### 3.5 Prenos zvoka s pomočjo laserskega žarka

Optično povezavo je mogoče vzpostaviti tudi v praznem prostoru brez uporabe optičnega vlakna. Najstarejši zgled za takšno zvezo so dimni signali, ki hkrati razkrivajo slabosti takšnih komunikacij, to sta majhna zmogljivost zveze ter občutljivost za motnje in omejitve razširjanja svetlobe v ozračju. Domet prostoizračne optične zveze je zato precej boljši sredi jasne noči kot podnevi v megli.

S pojavom ustreznih svetlečih diod in sprejemnih fotodiod so postale prostoizračne optične zveze zelo zanimive predvsem za komunikacije na krajših razdaljah do nekaj deset metrov (daljinsko upravljanje, brezžične slušalke,...). Laserski žarek lahko učinkovito prenaša informacije tudi prostoizračno, kot prikazuje slika 6. Vzpostavitev optične zveze v praznem prostoru lahko na zanimiv način opazujemo s pomočjo zvočne tarče. Pri tem lahko opazovalec prešteje pretvorbe signala, ki se zvrstijo od predvajalnika MP3 do ušes.

Prenos zvočnega signala z laserskim žarkom bo obiskovalcem omogočal, da s pomočjo optičnega signala na drug konec sobe prenesejo priljubljeno skladbo iz svoje mobilne naprave.



Slika 6: Prikaz prostoizračne optične zveze.

Konkreten poskus je mogoče nadgraditi z dvosmernim digitalnim prenosom video signala s pomočjo laserskega žarka po zraku. Pri tem je ponazorjen celoten prenos video signala – kodiranje, modulacija, prenos prek laserskega žarka, demodulacija in dekodiranje [14]. Prikazan je prenos žive slike, obenem so prikazani pripadajoči komunikacijski signali na osciloskopu. Obiskovalci lahko opazujejo tudi vpliv prekinitve žarka na prenos zveze.

### 3.6 Multimedijaska aplikacija za optični prenos

Kot poskus prenosa, ki ga lahko obiskovalec muzeja pozneje izvede tudi sam, je predstavljen prenos informacije s pomočjo svetlobe po optičnem vodniku s koriščenjem multimedijске naprave (na primer mobilnega telefona). V ta namen je bila zasnovana in izdelana multimedijaska aplikacija za pametne telefone. Ta omogoča izvedbo poskusa prenosa informacije po plastičnem optičnem vlaknu, kot prikazuje slika 7. Pri tem bliskavica na enem od telefonov služi kot oddajnik, drugi pa kot sprejemnik uporablja kamero.



Slika 7: Komunikacija med pametnimi telefoni s pomočjo optičnega vlakna.

## 4 ZAKLJUČEK

Med vsemi človeku poznanimi mediji za prenos informacij na dolge razdalje ima najboljše lastnosti prav optično vlakno. Ni torej dvoma, da je najbolj širokopasoven medij prav optično vlakno, po katerem se informacijski signali prenašajo s pomočjo fotonov. Ta prevlada nad preostalimi vrvičnimi komunikacijami, kjer se namesto svetlobnih uporabljajo električni signali, ni naključna, temveč ima za seboj znatne fizikalne prednosti dielektričnih svetlovodov.

Po začetnem uvajanju optično-vlakenskih povezav na dolgih medkontinentalnih in meddržavnih povezavah zdaj optično vlakno prihaja do slehernega uporabnikovega domovanja – tudi v Sloveniji [15], [16]. Njegova uporaba iz leta v leto narašča, kar lahko pričakujemo tudi v prihodnje, saj trenutno na vidiku ni boljšega prenosnega medija, ki bi nadomestil optično vlakno. Vse to govori v korist temu, da optično vlakno zahteva primeren in dostojen prikaz tudi v muzejskem okolju.

Prispevek prikazuje zasnovano in izvedbo optičnih poskusov za ponazoritev optičnih komunikacijskih

tehniki, ki se uporabljajo v interaktivnem muzejskem okolju TMS. Glavni cilj uporabe optične, elektrooptične in multimedijske tehnologije je izdelava interaktivnih poskusov. Prednost interaktivnih poskusov pred zgolj razstavljenimi muzejskimi eksponati je v boljšem razumevanju pojavov skozi izkustveno komponento.

Na osnovi testnih predstavitev obiskovalcem v muzeju so se izvedle prilagoditve, ki so vodile k nastanku stalne zbirke Muzeja pošte in telekomunikacij v Polhovem Gradcu. Tako se izvaja kakovosten, predvsem pa verodostojen prenos znanja na mlajše generacije.

Vzpostavljena demonstrativna tehniška zbirka s področja telekomunikacij v TMS je slovenskim ustanovam na področju šolanja in izobraževanja ponudila možnost nadgradnje oz. dopolnitve učnega ter izobraževalnega procesa pri adekvatnih naravoslovnih predmetih (npr. v obliki obveznih strokovnih ekskurzij kot rednega dela kurikuluma). Še zlasti integrativni poskusi nagovarjajo srednješolsko mladino, ki redkeje obiskuje muzeje. V duhu uresničevanja takšne vizije je TMS ob ustrezni podpori študentov in študentk ter strokovno usposobljenega osebja fakultet na posebej organiziranih dogodkih gostil učence in dijake z vseh koncev Slovenije. Bliskovit razvoj tehnologije kratko malo zahteva čedalje bolj ažurno osveževanje ter posodabljanje učnih vsebin v izobraževalnih ustanovah.

Popestritev tehniške zbirke v muzeju je obenem pomembna tudi za vseslovensko javnost in njene zvedave posameznike, saj se med njimi v muzeju v spremstvu staršev nemalokdaj opazi tudi že predšolske otroke. Nove vsebine so v muzeju vključene v redne muzejske programe, ki so prilagojeni vsem starostnim skupinam.

Širjenje znanja s področja tehnike je v svetu, kjer tehnika zavzema vedno večje mesto v vsakdanjem življenju, izredno pomembno. Z razvojem telekomunikacij se vse več interakcije seli na internet in mobilne aparate. Poznavanje delovanja tehnologij omogoča lažje spopadanje s spreminjajočim se svetom in lažje usvajanje novosti. Demistifikacija tehnološkega znanja preprečuje stigmatizacijo nekaterih tehnoloških naložb (v preteklosti znani primeri nasprotovanja lokacijam anten in vetrnih elektrarn) in preprečuje vznik teorij zarote kot odgovora na nepoznane tehnološke pojave.

Prek poznavanja delovanja tehnologij se posameznik zaveda nevarnosti zlorabe in prepozna inštitucije oziroma posameznike, ki imajo dostop do ranljivih delov tehnologije. Izobražen uporabnik tehnologije lahko nastopi kot regulator preprečevanja zlorabe tehnologij v politične, ekonomske ali kriminalne namene. S tem se vzpostavi enakopraven odnos uporabnik-upravitelj-razvijalec tehnologije.

Cilj širjenja tehniškega znanja je motivacija mlajših generacij k ustvarjanju novih tehnologij in s tem k vključevanju v izobraževalni in gospodarski del tehniške stroke. Pri starejši generaciji pa je to

pomembno predvsem kot sredstvo opogumljanja, saj je pri njih prisoten strah pri spopadu s spreminjajočo se tehnologijo.

## ZAHVALA

Delo je delno financirala Evropska unija iz evropske kohezijske politike v obdobju od 2014 do 2020. Projekt Optične komunikacijske tehnologije v interaktivnem tehničnem muzejskem okolju se izvaja v okviru operacije Projektno delo z negospodarskim in neprofitnim sektorjem v lokalnem in regionalnem okolju – Študentski inovativni projekt za družbeno korist 2016-2020.

## LITERATURA

- [1] B. Batagelj (intervjuvanec) Optično vlakno je povzročilo komunikacijsko revolucijo, *Finance*, 27. 10. 2010, št. 209, str. 28–29.
- [2] M. Vidmar, Optical-fiber communications: components and systems, *Informacije MIDE*M, ISSN 0352-9045, 2001, let. 31, št. 4, str. 246–251.
- [3] B. Batagelj, V. Janyani, S. Tomažič, Research challenges in optical communications towards 2020 and beyond, *Informacije MIDE*M, ISSN 0352-9045, 2014, let. 44, št. 3, str. 177–184.
- [4] Katalog informacij javnega značaja, Tehniški muzej Slovenije, [http://www.tms.si/index.php?m\\_id=294](http://www.tms.si/index.php?m_id=294) (dostopano 16. 2. 2019)
- [5] Estera Cerar, Ajda Kozjek, Katarina Stanovnik, Muzej pošte in telekomunikacij Polhov Gradec, Tehniški muzej Slovenije, 2009.
- [6] M. Vidmar, Optične komunikacije: laboratorijske vaje, 1. izd. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, ISBN 961-6210-53-X, 1998.
- [7] B. Batagelj, M. Vidmar, Optične komunikacije: laboratorijske vaje, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, ISBN 961-6371-43-6, 2003.
- [8] E. Snitzer, Cylindrical Dielectric Waveguide Modes, *J. Opt. Soc. Am.* 51, 491–498, 1961.
- [9] Jeff Hecht, Daniel Colladon and the Origin of Light Guiding, *Jean-Daniel Colladon Symposium Milestones In Light Guiding*, ECOO 2011, september, 2011.
- [10] Philip Dutre, Philippe Bekaert, Kavita Bala, *Advanced Global Illumination*, CRC Press; 2 edition, ISBN-10: 1568813074, 2006.
- [11] A. C. S. van Heel, A new method of transporting optical images without aberrations, *Nature* 173, str. 39, jan 1954.
- [12] K. C. Kao, G. A. Hockham, Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies, *Proceedings of the IEE*, Vol. 113, No.7, July 1966.
- [13] F. P. Kapron, D. B. Keck, R. D. Maurer. Radiation Losses in Glass Optical Wwaveguide, *Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves*, Institution of Electrical Enginners, London, str. 148–153, 1970.
- [14] Marko Šajn, Dvosmerna prostozračna optična internetna zveza, *diplomsko delo*, 2011. IV, 43, 2011.
- [15] B. Batagelj, Deployment of fiber-to-the-home in the Slovenian telecommunications market, *Fiber and integrated optics*, vol. 32, str. 1–11, 2013.
- [16] B. Batagelj, Možnosti izvedb optičnega dostopnega omrežja z arhitekturo točka-točka, *Elektrotehniški vestnik*, Letn. 77, št. 5 (2010), str. 259–266.

**Kristjan Vuk Baliž** je absolvent podiplomskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegovo dosedanje raziskovalno delo zajema področja sevanja in razširjanja valov, mikrovalovne fotonike ter numeričnih metod v elektromagnetiki, vse skupaj v smislu fizikalno-tehniških orodij širšega področja telekomunikacij. V prostem času neodvisno raziskuje še na področju mehanskih nihanj in

valovanj, s poudarkom na razširjanju akustičnih valov, po navdihu svojega strastnega konjička – glasbe.

**Andrej Lavrič** je študent magistrske stopnje na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. V šolskem letu 2017/18 je gostoval v laboratoriju za mikrovalovno fotoniko univerze na Cipru. Na raziskovalnem področju ga zanima fizični nivo radijskih in optičnih tehnologij. Prosti čas nameni filmu, zgodovinskemu čitvu in popotniškim pustolovščinam.

**Anja Brelih** je študentka visokošolskega strokovnega študijskega programa 1. bolonjske stopnje informacijsko-komunikacijskih tehnologij na Fakulteti za elektrotehniko. Zanima jo digitalizacija v industriji ter tudi v vsakdanjem življenju, čemur bo posvetila tudi svoje diplomsko delo. Aktivna je v študentskem organiziranju, kjer je vodja Odbora za izobraževanje zveze SKIS ter izvaja delavnice za študentske klube.

**Matic Šinko** je absolvent podiplomskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, smer mehatronika. Diplomiral je na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, in sicer je diplomirani inženir fizike. Magistrsko nalogo opravlja v laboratoriju za regulacijsko tehniko, njegova raziskava pa zajema izdelavo in programiranje električnega vezja za zaznavanje napak v elektromotorjih s pomočjo Fourierove transformacije.

**Peter Nimac** je študent podiplomskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Za področje tehnike se zanima že od konca osnovne šole, na gimnaziji pa je bil tudi član dijaške ekipe GimTeam, ki je kot tehnična pomoč vedno sodelovala pri šolskih prireditvah, njeni člani pa so si izmenjevali računalniška in tehnična znanja. Njegova izbrana študijska smer so informacijsko komunikacijske tehnologije, področje, za katero se je poglobljeno začel zanimati kot radioamater.

**Tjaš Leghissa** je študent interdisciplinarnega univerzitetnega prvostopenjskega študijskega programa Multimedija, ki ga izvajata Fakulteta za elektrotehniko in Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Zanima ga delo, povezano z novimi in inovativnimi izzivi digitalne dobe.

**Sebastjan Skrbinšek** je študent 3. letnika univerzitetnega študijskega programa 1. bolonjske stopnje na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Zanima ga večina področij fizike, še zlasti rad pa se posveti področjem optike ter fizike delcev. Z zadnjega področja je tudi njegova zaključna seminarska naloga o iskanju supersimetrije z detektorjem ATLAS na LHC.

**Jure Pelhan** je študent 3. letnika univerzitetnega študijskega programa 1. bolonjske stopnje na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani.

**Irena Drevenšek Olenik** je redna profesorica na področju fizike na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Doktorirala je na Univerzi v Ljubljani in bila pozneje na podoktorskem usposabljanju na univerzi Radboud v Nijmegnu. Bila je tudi gostujoča profesorica na univerzi na Dunaju in na univerzi Nankai v Tianjinu. Ukvarja se z osnovnimi raziskavami na področju fizike mehkih snovi. Z uporabo optičnih eksperimentalnih metod proučuje predvsem tekoče kristale, polimere, elastomere in različne kompozitne

materiale. Poleg znanstvenih raziskav se ukvarja tudi s popularizacijo znanosti in je dobitnica priznanja DMFA Slovenije za delo z mladimi.

**Matej Baša** je študent visokošolskega strokovnega študijskega programa 1. bolonjske stopnje na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani.

**Lovro Jevnikar** je študent visokošolskega strokovnega študijskega programa 1. bolonjske stopnje na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani.

**Borut Batagelj** je višji predavatelj na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Doktoriral je na področju iskanja in prepoznavanja obrazov. Predava pri predmetu produkcija multimedijских vsebin in je asistent pri predmetih operacijski sistemi ter interaktivnost in oblikovanje informacij. Raziskovalno se ukvarja s področjem umetne inteligence, točneje z biometrijo, detekcijo in razpoznavo človeškega obraza in obraznih izrazov. V sklopu forenzičnih raziskav se ukvarja z avtentičnostjo slikovnih in video vsebin, posnetkih slabše kakovosti videonadzornih sistemov in prepoznavo obrazov s skic. Je član ArtNetLaba – društva za povezovanje umetnosti in znanosti, SDRV – slovenskega društva razpoznavanja vzorcev in IEEE.

**Ajda Kozjek** je kustodinja v Muzeju pošte in telekomunikacij v Polhovem Gradcu, ki je dislocirana enota Tehniškega muzeja Slovenije. Kot kustosinja se ukvarja z zgodovino pošte in telekomunikacij ter je soavtorica stalnih razstav Zgodovina pošte, (Tele)komunikacije včeraj, danes jutri!, muzejske poti Dotakni se!, več občasnih razstav ter člankov s tega področja. Kot kustodinja pedagoginja je avtorica pedagoških in andragoških programov v Muzeju pošte in telekomunikacij ter avtorica publikacij za otroke, ki spremljajo stalno muzejsko postavitev in so dostopne kot e-knjige na muzejski spletni strani. Sodelovala je pri več občasnih in stalnih razstavah v tehniškem muzeju v Bistri in pri evropskih projektih ter je avtorica scenarija animiranega filma Zgodovina Bistre.

**Boštjan Batagelj** je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Raziskovalno delo opravlja v Laboratoriju za sevanje in optiko, kjer se med drugim ukvarja s fizičnim nivojem prenosnih in dostopovnih telekomunikacijskih omrežij, zasnovanih na radijski in optični tehnologiji. Je avtor več kot 300 člankov in 10 patentov ter sodeluje pri domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih s področja optičnih in radijskih tehnologij ter mikrovalovne fotonike in kvantnega šifriranja.