

# BIOMEDICINSKI UREĐAJI ZA SLEPE I SLABOVIDE

## BIOMEDICAL DEVICES FOR BLIND AND LOW VISION PERSONS

**Zorana Z. GOLUBOVIĆ**

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, Republika Srbija

*Pregledni rad*

### APSTRAKT

Cilj ovog rada je da ukratko analizira i da pregled primene biomedicinskog inženjerstva u oblasti oštećenja vida i pomoćnih uređaja koje koriste slepe i slabovide osobe. Ovaj pregled ukazuje na značaj savremenih dostignuća u oblasti biomedicinskih aparata i uređaja i njihovoj upotrebi. Biomedicinski uređaji i pomagala koja omogućavaju habilitaciju, rehabilitaciju ili pomoć pri nadoknađivanju, prevazilaženju, bržem savladavanju smetnji koje su prisutne kod dece i odraslih osoba su brojni, a u ovom radu biće prikazani samo najzastupljeniji. Pomoćne tehnologije koje se primenjuju u habilitaciji i rehabilitaciji predstavljaju proizvod aktivnosti rehabilitacionog inženjerstva.

**Ključne reči:** biomedicinski, uređaji, pomagala, slepi, slabovidi

### ABSTRACT

The aim of this paper is shortly to analyze and give an overview of application of biomedical engineering in typhology and assistive devices which are being used by blind and low vision persons. This overview will highlight the significance of modern technologies in area of biomedical devices and apparatus and their usage. Biomedical and assistive devices which are being used in habilitation, rehabilitation, as help in recovery, overcoming, or faster managing disabilities present in children and adults are numerous, and here will be shown only these used the most. Assistive technologies used in habilitation and rehabilitation are the product of rehabilitation engineering activities.

**Key words:** biomedical, devices, assistive devices, blind, low vision

### UVOD

Biomedicinsko inženjerstvo integriše u jednu celinu znanja mnogih naučnih disciplina, kao što su: elektronika, komunikacije, mehanika, mehatronika, robotika, računarstvo, automatika, mašinstvo, biologija i medicina. Objedinjavanje znanja iz različitih oblasti pri dizajniranju i testiranju različitih materijala, instrumenata, uređaja i pomagala, kao i istraživanja radi sticanja znanja potrebnih za rešavanje novih problema predstavlja cilj biomedicinskog inženjerstva. Na taj način je omogućena primena savremenih tehnologija u medicini, stomatologiji i defektologiji kako bi se unapredile životne aktivnosti ljudi kojima je to potrebno. Pored termina biomedicinsko inženjerstvo koriste se i termini *rehabilitaciono inženjerstvo*, *asistivne tehnologije* i *dizajn asistivnih uređaja* i *rehabilitacione tehnologije*. Posmatrano sa aspekta uloge u rehabilitaciji, inženjerstvo je primena nauke i tehnologije radi poboljšavanja stanja smetnji ili hendikepa osobe. Sa druge strane, pomoćne tehnologije predstavljaju

proizvod aktivnosti rehabilitacionog inženjerstva (Enderle, Blanchard, & Bronzino, 2005).

Svaka od oblasti defektologije, sada specijalne edukacije i rehabilitacije, ima svoje specifičnosti koje su polazna osnova za projektovanje u biomedicinskom inženjeringu. Prisustvo biomedicinskog inženjerstva u defektologiji ogleda se u dizajniranju i projektovanju uređaja i pomagala koja omogućavaju habilitaciju, rehabilitaciju ili pomoć pri nadoknađivanju, prevazilaženju, bržem savladavanju smetnji koje su prisutne kod dece i odraslih osoba. Inženjeri su imali manje uspeha u situacijama u kojima postoji senzorno oštećenje jednog od tri čula (vid, sluh ili dodir), pa tada pomoćni uređaji sakupljaju važne informacije iz okoline, obrađuju ih i prenose ih pacijentu putem jednog ili oba preostala čula.

*Slabovidost* se odnosi na stanje redukovano vidu koje ne može biti korigovano standardnim naočarima, kontaktnim sočivima, lekovima ili operacijom, a koje utiče na sposobnost osobe da izvršava osnovne aktivnosti za koje je vid neophodan (Jutai, Hooper, & Strong, 2007). Ipak, 90% osoba ima određeni nivo preostalog vida i može imati koristi od rehabilitacije (Gothwal & Bharani, 2015). Osobe sa slabim funkcionalnim vidom, tj. slabim centralnim vidom, gubitkom vidnog polja, fizičkim problemom sa adaptacijom mogu imati ograničenu korist od oftalmoloških pomoćnih uređaja. Međutim, postoje poremećaji kod kojih ne postoje pomagala koja mogu biti od koristi. Kod takvih osoba značajno je utvrditi koji tipovi adaptacija su potrebni kako bi se stvorili optimalni uslovi za funkcionisanje, sa ili bez oftalmoloških pomagala. Te adaptacije podrazumevaju uvećanje, uslove osvetljenja, kontrast boja, fokalnu razdaljinu, stabilnost sedenja, taktilne indicije, mehanizme fokusiranja, mobilnost (Stuen et al., 2000). Osoba sa slabim vidom može biti potrebno oftalmološko pomagalo, promena u okruženju, adaptacija uz savetovanje i tretman, kombinovanje različitih pomagala ili tretman bez uređaja i pomagala jer oni ne mogu biti od pomoći.

Pomoćni uređaji za slabovide i slepe osobe podeljeni su u tri kategorije: poboljšanje vida, imitaciju vida i nadoknađivanje vida (Dakopoulos & Bourbakis, 2010; Renier & De Volder, 2010). Većina elektronskih pomagala za slabovide osobe zavisi od podataka prikupljenih iz okoline (putem, na primer, laserskih skenera, kamera, senzora, sonara) i prenosi ih korisniku haptički (taktilno, vibracijama), audio ili na oba načina. Istraživači još uvek diskutuju o značaju pojedinih informacija za slabovide osobe. Važna je konzistencija osobina svakog uređaja, tj. informacija mora brzo da bude obrađena i prenesena korisniku, mora podjednako dobro da funkcioniše i unutra i napolju, kao i preko dana i noću, sistem uređaja mora da upozori korisnika na dinamičko okruženje i time se izbegne iznenadni susret ili udar korisnika (Elmannai & Elleithy, 2017). Utvrđivanje preostalih funkcija vida je izuzetno važno kod slabovidih osoba. Ove procene su drugačije od rutinskih oftalmoloških pregleda. Naročita pažnja se obraća na merenje kontrastne osetljivosti (praga), širine vidnog polja, dioptrije intraokularnog sočiva i oštine vida. Oštrina vida treba da bude dobro utvrđena, jer upravo ta informacija je ključna za tretman koji će biti sproveden. Za rehabilitaciju, unapređenje funkcionisanja u svakodnevnom životu, kao i samostalnost slepe i slabovide osobe koriste pomoćne uređaje (pomagala), tj. predmete (npr. uređaje za slabovide, senzore za različite namene, kompjuterske softvere) posebno konstruisane i dizajnirane za te namene (Senjam, 2019). *Svetska Zdravstvena Organizacija* je 2017. godine objavila spisak od 50 najvažnijih pomoćnih uređaja za ljude sa smetnjama u

razvoju (WHO, 2017). Ova lista je napravljena kroz konsultacije sa potencijalnim korisnicima, ekspertima i proizvođačima pomagala i uređaja.

Sa tehnološkog aspekta, *pomoćna sredstva za slepe i slabovide* ljude dele se u dve široke kategorije:

- opšte tehnologije: kompjuteri, pametni telefoni, jednostavni mobilni telefoni, GPS uređaji,..
- pomoćne tehnologije: uređaji dizajnirani posebno da bi pomogli ljudima sa slabim vidom, slepima ili sa poremećajima vida, a obuhvataju čitače ekrana za slepe, lupe za uvećavanje za slabovide korisnike kompjutera, čitači elektronskih knjiga sa ugrađenom *text-to-speech* opcijom, *video lupe* i druge sprave za čitanje i pisanje ljudi sa slabim vidom sa haptičkom podrškom, *Brajeve pisaće mašine, Brajevi satovi, Brajevi štampači i dr.*

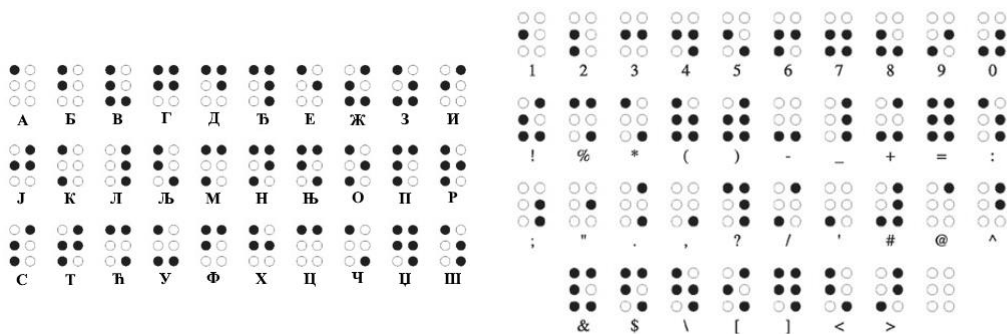
Trend razvoja kompjuterskih tehnologija doprineo je tome da softveri budu sve prilagođeniji korisnicima, kao i da unapređeni tipovi interakcije otvaraju nove mogućnosti lakšeg savladavanja novih znanja i rehabilitacije slepih i slabovidih osoba. Bez obzira na veliki broj uređaja različitih po dizajnu, u većini slučajeva sistemski su slična rešenja (Csapó, Wersényi, Nagy, & Stockman, 2015). Analizirajući napretke različitih uređaja ili opreme koja služi za pomoć u komunikaciji osobama sa oštećenjem vida, primećeno je da ovi uređaji obezbeđuju samo određene aspekte funkcionisanja, kao i da sam uređaj ili pomagalo u mnogim slučajevima neće biti dovoljno da obezbedi kompletnu pomoć.

Upotrebom pomoćnih uređaja se u većoj meri izbegavaju neželjene situacije i olakšava život slepih i slabovidih osoba, npr. boravak u kućnom okruženju je prijatniji, putovanja su bezbednija, kod dece se smanjuje mogućnost različitih trovanja i povreda (Dewang, Rebika, Sneha, Rohit, & Radhika, 2017; Tu, Ni, Jiang, Zhang, & Yingzi Li, 2019). Takođe, učenicima i studentima je putem elektronskih medija i tehnologija poboljšana mogućnost čitanja i pisanja i samim tim povećana sposobnost da komuniciraju ravnopravno sa vršnjacima (Alves, Monteiro, Rabello, Gasparetto, & de Carvalho, 2009).

Cilj ovog rada je da pregledom relevantnih istraživanja pokaže da je tehnološki napredak, kao i korišćenje pomoćnih uređaja posebno značajno za slepe i slabovide osobe.

## **POMOĆNI UREĐAJI ZA ČITANJE I PISANJE**

Slepe i slabovide osobe uče *Brajevo pismo* i koriste sistem za pisanje po *Braju* i na taj način imaju olakšan pristup različitim sredinama, akademskim, socijalnim i kulturološkim, jer čitanje predstavlja neophodnu sposobnost i znanje za vođenje normalnog života, koji uključuje, školovanje, slobodne aktivnosti i socijalni život. *Brajevo pismo* (Slika 1.) omogućava slepim i slabovidim osobama da čitaju i pišu koristeći čulo dodira. Pismo je koncipirano tako da se svaki simbol sastoji od dve kolone i tri reda, a slepe i slabovide osobe uče da se putem dodira osele raspored tačaka, odnosno slova. Brajeva tehnologija je primenjena na mnogim mestima, često i manje vidljivim, poput javnih znakova, na automatskim govornim mašinama, liftovima, bolnicama, ...



**Slika 1.** Brajevo pismo  
**Figure 1.** Braille

Za interpretaciju teksta slepih i slabovidnih osoba, većina uređaja je konstruisana da simulira standardni *Brajev displej* (Slika 2.) gde je svaki karakter (slovo ili broj) predstavljen sa 6 tačaka, napravljen od malih metalnih ili plastičnih pločica koje mogu da se pomeraju vertikalno ručno ili elektronski. Pod kontrolom su *kompjutera, pametnog telefona ili tableta (putem blutut ili wifi konekcije)* i krećući se po ekranu gore i dole ispisuju *Brajeve karaktere*, ali, ne mogu da se koriste samostalno.



**Slika 2.** Brajev displej  
**Figure 2.** Braille display

Kako bi informacije mogle da se zapišu i koriste u pokretu, koriste se *Brajeve beležnice* (Slika 3.), koje mogu da sadrže *Brajevu ili kompjutersku tastaturu*. Naprednije varijante ovih beležnica su na nivou tableta. Tekst napisan na beležnici, može da se čita dalje uz pomoć ugrađenog *Brajevog displeja*, ili da se sluša uz pomoć sintetizovanog govora.



**Slika 3.** Brajeva beležnica  
**Figure 3.** Braille notebook

Kako bi *Brajevo pismo* bilo odštampano na papiru veće debljine radi daljeg čitanja, koriste se *Brajevi štampači* (Slika 4.) koji predstavljaju uređaje nalik običnim štampačima i koji se takođe povezuju na kompjutere. Na žalost, cena im je značajno



veća od cene običnih printera, što utiče na mogućnost korišćenja onih kojima su neophodni. Zbog toga, veliki broj istraživača pronalazi načine kako bi konstruisali različite tipove *Brajevih štampača* koji će biti cenovno prihvatljivi. Takođe, istraživače je interesovalo kako se menja samo čitanje u funkciji načina na koji je *Brajevo pismo* predstavljeno (Foulke & Schiff, 1982). Konstruisano je mnogo različitih tipova *Brajevih štampača*, različitih performansi, a najinteresantnija ideja je prevođenje onoga što se otkuca na tastaturi direktno u *Brajeve karaktere*, i na taj način je omogućena trenutna interakcija slepih i slabovidnih osoba sa onima koje to nisu (Damit, Ani, Muhamad, Abbas, & Ali, 2014).



**Slika 4.** Brajev štampač  
**Figure 4.** Braille printer

Međutim, nedostatak upotrebe *Brajevog pisma* je činjenica da ne može biti korišćeno na svim mestima i u svakoj situaciji, npr. u prodavnicama, na mobilnim telefonima, ili prilikom čitanja novina. Da bi se ovo prevazišlo, konstruisani su uređaji za čitanje prstima sa sintetizovanim govorom.

*Čitači ekrana* predstavljaju *softvere* koji omogućavaju *slepim* ili *slabovidim* osobama čitanje onoga što je napisano na ekranu putem *Brajevog displeja* ili *sintetizovanog govora* (Slika 5.). Osobe koje koriste *čitač ekrana* mogu da skeniraju ono što žele da čitaju i na taj način im se dokument konvertuje u elektronsku sliku. Softver tu sliku obrađuje uz pomoć optičkog prepoznavanja karaktera i konvertuje sliku u tekst. Nakon takvog prebacivanja, tekst može biti izgovoren sintetizovanim glasom ili napisan *Brajevim pismom*.



**Slika 5.** Softver instaliran na kompjuteru pomoću koga se tekst čita  
**Figure 5.** Software installed on a computer by which the text is read

Poslednjih godina postignut je veliki napredak u ispitivanjima uticaja slabovidnosti na sam proces čitanja, kao i uticaj karakteristika teksta na čitanje. Prilikom čitanja, slabovidnim osobama je neophodno korišćenje pomoćnih uređaja koji služe za uvećavanje, a oni obuhvataju: *softvere za uvećavanje ekrana*, *elektronske stone* (Slika

6.) i *prenosive lupe* (Slika 7.) i *ručne lupe*. Softveri za uvećavanje ekrana su instalirani na kompjuterima i funkcionišu kao lupa, omogućavajući uvećanje teksta i slika na ekranu. Mogućnost čitanja digitalnih dokumenata obezbeđuje potrebnu raznovrsnost slabovidim osobama, a zahvaljujući svojim tehničkim karakteristikama omogućeno je potpuno adaptiranje onoga što slabovide osobe čitaju (Legge, 2016). Ovi softveri sadrže skrener sa optičkim prepoznavanjem karaktera, ugrađene mogućnosti sintetizovanog govora, upotrebe različitih boja i kontrasta, kao i promene vizuelnog predstavljanja ekrana.



**Slika 6.** Elektronska lupa  
**Figure 6.** Electronic magnifier



**Slika 7.** Prenosiva video lupa  
**Figure 7.** Portable video magnifier

Istraživanja su pokazala da je važna veličina teksta, kao i veličina samog ekrana uređaja i samim tim uvećanje je neophodno, ključan je jak kontrast, potrebno je da ekrani budu osvetljeni, kao i da postoji razmak između redova, a i razmak između slova, dok fontovi nisu značajni dokle god se koriste oni sa fiksnom širinom (Legge, 2016). Skorašnja klinička studija pokazala je da je kod *slabovidih osoba*, upotreba pomagala koje potpomažu mobilnost, vid na daljinu, osvetljenje, psihološko prilagođavanje, čitanje, radnu sposobnost i dnevni život značajno olakšava život (Changsen, Lingzhi, Longfei, Xuemei, & Yingzi, 2019). Starost, pol i nivo edukacije nisu imali uticaja na ishod rezultata, tj. kod svih ispitanika je utvrđeno poboljšanje.

## POMOĆNI UREĐAJI ZA OLAKŠAVANJE SVAKODNEVNOG ŽIVOTA

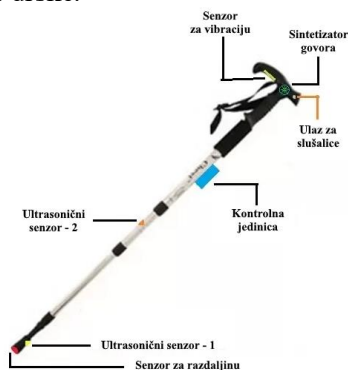
Specijalizovani uređaji za uveličavanje, i optički i optoelektronski, na primer za uveličavanje televizijskog ekrana, omogućavaju ljudima sa slabim vidom da imaju kontrolu u kućnom ambijentu (Schwiebert, Gupta, & Weinmann, 2001). Takođe, za svakodnevni život su od velike pomoći i *auditorni i taktilni sistemi* koji zamenjuju vid, *govorni kalkulatori, elektronski usmerivači* (Enderle et al., 2005). Drugi primeri uključuju pristupačne navigacione sisteme i uređaje koji upozoravaju na prepreke zasnovane na glasovno sintetizovanim instrukcijama za slepe i slabovide (Martin, Stirling, & Thorne, 2009). Klasične naočare kod slabovidih osoba nisu dovoljne u svakodnevnom životu i zbog toga su osmišljene pomoćne naočare (Slika 8.) koje predstavljaju pomoćne uređaje koji se takođe nose na glavi, a uloga im je da unaprede osećaj i povratne informacije koje se dobijaju korišćenjem klasičnih naočara. U poređenju sa štapom za hodanje, pomoćne naočare koriste vizuelni signal kao povratnu informaciju (Hu et al., 2019). Istraživači su implementirali ultrasonične senzore u

klasične naočare kako bi razvili „pametne“ naočare kao pomoć pri kretanju (Sadi et al., 2014). Opseg koji obuhvataju senzori je 3m razdaljine i ugao od 60°, a ta procesuirana informacija stiže do osobe koja ih koristi putem audio signala. Kao senzori kod pomoćnih naočara takođe se koriste i *infracrveni senzori, laseri i kamere* sa RGB modelom (RGB - *red-green-blue režim boja*), a od tačnosti takvih naočara se posmatraju tačnost rastojanja, veličina i težina.



**Slika 8.** Pomoćne naočare sa kamerom  
**Figure 8.** Auxiliary glasses with a camera

Istraživači su ispitivali haptičke obrazce koje slepe osobe primaju koristeći pomagala (Heller, Mccarthy, & Clark, 2005). Zaključak je da je taktilni osećaj, tj čulo dodira, najvažniji i da ono najbolje može da zameni čulo vida (Occelli, Lacey, Stephens, John, & Sathian, 2016). Kako bi bili rešeni praktični problemi slepih i slabovidih ljudi pri samostalnom kretanju i snalaženju u prostoru, vrši se veliki broj istraživanja, projektovanja i unapređivanja različitih kamera, senzora, štapova za hodanje i taktilnih kompasu. Prvobitno, slepe osobe su zavisile od drugih pri kretanju, a kasnije je počela upotreba standardnih štapova uz prisustvo psa (Sahoo, Hung-Wei Lin, & Chang, 2019). Uopšteno, *štapovi za hodanje* sadrže elektronsku navigaciju kako bi osobe sa vizelnim smetnjama mogle da znaju gde se nalaze prepreke na putu, kao i da navigacija bude olakšana. Takođe, u mnogim istraživanjima, *štapovima* su dodati *elektro-taktilni uređaji, senzori za vibraciju, ultrasonični senzori*, kao i delovi za davanje auditornih povratnih informacija (Elmannai & Elleithy, 2017). Poslednjih godina je u upotrebi *štap sa ultrasoničnim sensorom*, koji ima mogućnost detektovanja objekata i davanja tačnih instrukcija osobama koje ga koriste (Slika 9.). Pored *ultrasoničnih senzora štap* ima i *mikrokontrolere, senzore za vibraciju i zujanje, kao i detektore vode*. Uz pomoć ovih komponenti štap detektuje prepreke i pruža informacije korisniku ili putem glasovne poruke ili vibriranja drške.



**Slika 9.** Ultrazvučni štap  
**Figure 9.** Ultrasonic rod

*Pomagala* koja omogućavaju svakodnevni život slepim i slabovidim osobama obuhvataju i programe koji se koriste putem *mobilnih telefona i tableta, čitače nalepnica, govorne vage, govorne merače pritiska, taktilne satove i kompase.*

*Taktilni kompas* (Slika 10.) dekodira u kom pravcu se nalazi i koliko je neko mesto udaljeno od osobe putem obrazaca vibracija, a navođenje se vrši govornim instrukcijama. Najvažnije informacije za pešake, tj. osobe koje koriste ovakvu vrstu uređaja su: detekcija prepreka u prostoru osobe koja ga koristi, informacija u vrsti terena kojom hoda, prijavljivanje objekata koji se nalaze na putu, informacije o udaljenim objektima.



**Slika 10.** Taktilni kompas  
**Figure 10.** Tactile compass

*Mobilni telefoni, tableti i elektronski čitači* su uređaji koji su široko rasprostranjeni, a zahvaljujući upotrebi interneta pokazali su se kao veoma korisni za slabovide osobe. Osim što je na njima moguće izvršiti podešavanja koja vizuelno odgovaraju slabovidim osobama poput veličine teksta, osvetljenja ekrana i boja, moguće je instalirati programe koji olakšavaju funkcionisanje. Neki od tih programa omogućavaju osobama koje ih koriste da znaju na kojoj lokaciji se nalaze, mogu da uveličavaju tekst koji žele da čitaju, kao i da slušaju muziku (Dewang, Rebika, Sneha, Rohit, & Radhika, 2017).

## ZAKLJUČAK

Biomedicinsko inženjerstvo ima široku primenu već dugi niz godina u defektologiji. S obzirom da slab vid utiče na kvalitet života, slepim i slabovidim osobama je neophodno da ovladaju na što bolji i lakši način širokim opsegom svakodnevnih aktivnosti, a takođe i da se uključe u socijalne i akademske interakcije sa drugim ljudima. Takođe, s obzirom na individualne potrebe slepih i slabovidih osoba, potrebna je pažljiva analiza programa tretmana, kao i pomoćnih uređaja koje će ta osoba koristiti. Utoliko pre što se prema podacima *Svetske zdravstvene organizacije* broj osoba sa oštećenjem vida povećava.

Multidisciplinarni pristup i koordinirano delovanje defektologa-tifloga, oftalmologa i inženjera je neophodno kako bi se dostigao pun potencijal primene biomedicinske tehnologije i time na najbolji način pomoglo slabovidim i slepim osobama u svakodnevnim životnim aktivnostima.

## LITERATURA

1. Alves C. C., Monteiro G. B., Rabello S., Gasparetto M. E., & de Carvalho K. M. (2009). Assistive technology applied to education of students with visual impairment. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 26, 148-152.
2. Changsen T., Lingzhi N., Longfei J., Xuemei Z., & Yingzi L. (2019). Low Vision Aids to Improve the Quality of Life in Low Vision Patients. *Chinese Journal of Optometry & Ophthalmology*, 6, 460-463.
3. Csapó A., Wersényi G., Nagy H., & Stockman T. (2015). A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research. *Multimodal User Interfaces*, 9, 275-286.
4. Dakopoulos D., & Bourbakis N. G. (2010). Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, 40, 25-35.
5. Damit D. S. A., Ani A. I. C., Muhamad A. L. I., Abbas M. H., & Ali, F. Z. (2014). Dual Braille code translator: Basic education tool for visually impaired children. In H.A.B. Sulaiman (Eds.), „Proceedings 1<sup>st</sup> International conference on Computer, Communication and Control Technology“ (pp. 399-402). Kedah: IEEE.
6. Dewang A., Rebika D., Sneha A., Rohit S., & Radhika T. (2017). Current Perspectives in Low Vision and its Management. *Journal of Ophthalmology*, 2(3), 1-9.
7. Elmannai W., & Elleithy K. (2017). Sensor-Based Assistive Devices for Visually-Impaired People: Current Status, Challenges, and Future Directions. *Sensors*, 17(3), 565.
8. Enderle J. D., Blanchard S. M., & Bronzino J.D. (2005). *Introduction to biomedical engineering*, Amsterdam. Boston: Elsevier Academic Press.
9. Foulke E., & Schiff W. (1982). *Tactual perception: a sourcebook / edited by William Schiff and Emerson Foulke*. Cambridge [Cambridgeshire], New York: Cambridge University Press.
10. Gothwal V. K., & Bharani S. Outcomes of Multidisciplinary Low Vision Rehabilitation in Adults. (2015). *IOVS*, 56(12), 7451-7461.
11. Heller M. A., Mccarthy M., & Clark A. (2005). Pattern perception and pictures for the blind. *Psicológica*, 26(1), 161-171.
12. Hu M., Chen Y., Zhai G., Gao Z., & Fan L. (2019). An overview of assistive devices for blind and visually impaired people. *International Journal of Robotics and Automation*, 34(5), 580-598.
13. Jutai J. W., Hooper P., & Strong G. (2007). *Vision Rehabilitation Evidence-Based Review: Module I. Terminology, Demography, and Epidemiology of Low Vision*. London, Ontario, Canada: University of Western Ontario and Canadian National Institute for the Blind.
14. Legge G. E. (2016). Reading Digital with Low Vision. *Visible Lang*, 50(2), 102-125.
15. Martin A., Stirling W. J., & Thorne R. S. (2009). Parton distributions for the LHC. *The European Physical Journal C*, 63, 189-285.
16. Occelli V., Lacey S., Stephens C., John T., & Sathian K. (2016). Haptic object recognition is view-independent in early blind but not sighted people. *Perception*, 45(3), 337-345.
17. Renier L., & De Volder A.G. (2010). Vision substitution and depth perception: Early blind subjects experience visual perspective through their ears. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 5(3), 175-183.
18. Sadi M. S., Mahmud S., Kamal Md. M., & Bayazid A. I. (2014). Automated walk-in assistant for the blinds. In „Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on

- Electrical Engineering and Information & Communication Technology“ (pp. 1-4). Dhaka, Bangladesh.
19. Sahoo N., Hung-Wei Lin H.W., & Chang Y.H., (2019). Design and Implementation of a Walking Stick Aid for Visually Challenged People. *Sensors*, 19(1), 130.
  20. Schwiebert L., Gupta S. K., & Weinmann J. (2001). Research challenges in wireless networks of biomedical sensors. In: „Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM“ (pp. 151-165). Rome: ACM.
  21. Senjam S. S. (2019). Assistive technology for students with visual disability: Classification matters. *Kerala Journal of Ophthalmology*, (31), 86-91.
  22. Stuen C., Arditi A., Horwitz A., Lang M.A., Rosenthal B., & Sedman K.R. (2000). *Vision Rehabilitation (Assesment, Intervention, and Outcomes)*. Florida: CRC Press.
  23. Tu, C., Ni, L., Jiang, L., Zhang, X., & Li Y. (2019). Low Vision Aids to Improve the Quality of Life in Low Vision Patients. *Chinese Journal of Optometry & Ophthalmology*, 6, 460-463.
  24. World Health Organization. (2017). *Priority Assistive Products List*. Geneva: World Health Organization.