

**BIOMEDICINSKI ULOŽAK ZA CIPELE ZA KOREKCIJU HODA KOD DECE  
BIOMEDICAL INSOLE FOR WALKING CORRECTION AMONG CHILDREN**Aleksandar Kostovski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast - ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – *Kako bi se sprečile deformacije hoda u kasnijem dobu, u ovome radu predstavljen je „Biomedicinski uređaj za cipele za korekciju hoda kod dece“ kako bi se popravila statika čitavog tela i smanjio pritisak u svim zglobovima iznad stopala (skočni, koleno i kukovi). U prvom delu rada predstavljena je ideja kako obezbediti uređaj koji će dete usmeravati da pravilno hoda, dok se drugi deo rada sastoji od proof-of-concepta samog uređaja.*

**Ključne riječi** : FSR senzor, IOT, Mikrokontroler

**Abstract** – *In order to prevent gait deformities at a later age, this paper presents a “Biomedical insole for walking correction among children” in order to improve the statics of the whole body and reduce the pressure in all joints above the feet (ankles, kness and hips). The first part of the paper presents the idea of how to provide a device that will guide the child to walk properly, while the second part of the paper consist of a proof-of-concept of the device itself.*

**Keywords** : FSR sensor, IOT, Microcontroller

**1. UVOD**

Deformacija stopala kod dece se javlja u dva slučaja. Jedan broj dece se rađa sa deformitetima stopala, a kod drugih je on stečen u nekoj od razvojnih faza. Izražene deformacije se uočavaju odmah po rođenju i uz primenu fizikalne terapije bivaju uspešno korigovane. Deformitet može da bude prisutan samo na jednoj ili na obe noge. Ukoliko se ništa ne preduzme ili se ne istraje u primeni vežbi, dete će prohodati sa stopalima u nepravilnom položaju što će dovesti do loše šeme hoda koja ostaje za čitav život. Isto će se dogoditi ukoliko do pojave deformiteta dođe kasnije. Sve ovo ima za posledicu narušenu statiku čitavog tela, svih zglobova iznad stopala (skočnih, kolena i kukova) kao i kičmenog stuba [1].

U samom ulošku je predviđeno da se nalaze FSR senzori, koji mere kolikim silama dete deluje stopalom na njih. Unutar uloška se nalazi i mikrokontroler koji prikuplja podatke sa FSR senzora i pomoću Bluetootha te podatke o silama šalje aplikaciji na mobilnom telefonu. U aplikaciji postoji mogućnost da se unese trenutna masa deteta i da se na osnovu baze podataka (koja se nalazi u sklopu aplikacije) odredi koji opseg sila je prihvatljiv za dete. Aplikacija nudi mogućnost da beleži koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete realizovalo.

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marjan Urekar.**

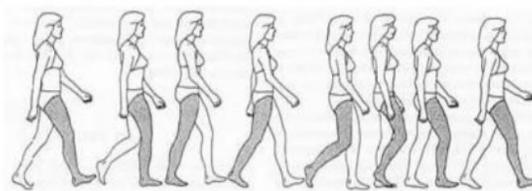
Na taj način se daje mogućnost roditeljima i lekarima da prate napredak na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Ukoliko dete ne napravi dva pravilna koraka zaredom, telefon emituje glasovnu poruku roditelja kako opominje dete da se potruži da popravi hod. Cilj jeste da dete stekne rutinu kako pravilno da hoda kako bi ispravilo svoje držanje. Što manje opomena bude bilo, to je znak da se dete trudi i da ostvaruje napredak.

**2. TEHNIČKO REŠENJE SISTEMA**

U samom ulošku je predviđeno da se nalazi otpornik osetljiv na silu pritiska (Force – sensing resistor – FSR), čija je uloga da meri silu kojom dete svojim stopalom deluje (vrši pritisak) na podlogu (slika 1). Što je veće delovanje sile na osetljivi deo, smanjuje se otpornost senzora [2]. Pravilno hodanje treba da bude kao na slici 2.



Sl. 1. FSR otpornik osetljiv na pritisak [2]

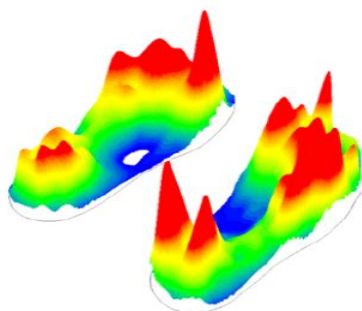


Sl. 2. Proces pravilnog hodanja [3]

Pritisak stopala prilikom kretanja se raspoređuje na 3 dela: centralni deo pete, spoljašnji deo stopala (metatarzalna kost) i deo do nožnog palca. Značajan deo tereta nosi prednja noga, a najveći pritisak je smešten u centralnom delu pete.

Medijalni (unutrašnji) deo preuzima veoma mali deo tereta zbog koštane strukture stopala [4] i ne predstavlja nam veliki značaj za ispitivanje. Na slici 3 nalazi se raspored pritiska stopala prilikom hoda, gde crvena boja predstavlja deo gde je pritisak najveći.

Postoji veliki izbor FSR senzora i potrebno je pronaći odgovarajući. U radu koji je objavila Juliette van der Pas na sajtu Arduino Project Hub [5], koriste se FSR 406, koji je postavljen na peti i FSR 402, koji je postavljen na spoljašnji deo stopala i deo do prstiju (slika 4).



Sl. 3. Raspodela pritiska stopala prilikom hoda [4]



Sl. 4. Uložak u kojem su postavljena 3 FSR senzora [5]

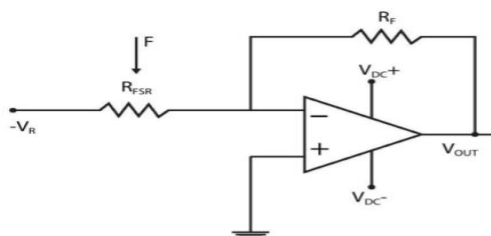
### 3. SLANJE REZULTATA MERENJA I PRINCIP OBRADIVANJA REZULTATA

Kako rezultati merenja i očitavanja nisu moguća na samim FSR sensorima, svi krajevi senzora se dovode na poseban pretvarački blok.

U pomenutom bloku se sile pretvaraju u napone i mikrokontroler pomoću svojih analognih ulaza očitava napone. Pretvarački blokovi, koji su malopre spomenuti, služe kako bi rešili problem koji se javlja kod ovih FSR senzora.

Utvrđeno je da otpornost ne opada linearno sa povećanjem sile i taj problem se rešava pomoću šeme na slici 5. Kolo se sastoji od operacionog pojačavača na koji smo priključili FSR i dovodimo napon. Delovanjem sile na senzor, otpornost senzora se smanjuje i struja teče kroz kolo [6].

Na izlazu se dobija napon  $V_{out}$  koji se šalje dalje mikrokontroleru. Na slici 6 je prikazan grafik gde se jasno uočava koliko se otpornost linearno smanjuje sa povećanjem sile [7].

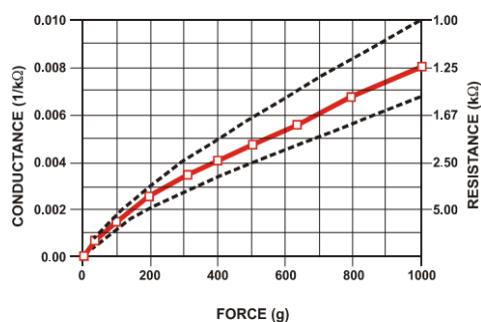


Sl. 5.  $R_{FSR}$  povezan sa operacionim pojačavačem [6]

$$I = \frac{V}{R_{FSR}} = V \cdot \frac{1}{R_{FSR}} = V \cdot G_{FSR} = k \cdot F \quad (1)$$

$$V_{out} = R_F \cdot I = R_F \cdot k \cdot F = k_2 \cdot F \quad (2)$$

Jednačina (2) jasno ukazuje da se izlazni napon povećava srazmerno sili pritiska.



Sl. 6. Grafik uticaja sile na linearno smanjenje ili povećanje

### 4. UTICAJ I4.0 TEHNOLOGIJE

Današnja tehnologija daje mogućnost da pomoću aplikacije na mobilnom telefonu korisnik upravlja uređajima u svom domu ili da nadgleda proces rada. Pomenuta tehnologija nosi naziv **Internet of Things** i služi da “opameti” hardver i promeni sve sfere našeg života. [8].

Upravo FSR senzori mere sile kojima dete deluje na uloške, ti podaci se šalju mikrokontroleru i pomoću Bluetooth mreže šalju podatke na mobilni telefon koje dete mora imati uz sebe.

Pri pokretanju aplikacije postavlja se pitanje: „Kolika je masa deteta?“. Nakon unosa mase, aplikacija bira opseg koji je pogodan za tu masu i taj podatak se preko Bluetooth-a šalje mikrokontroleru. Zbog izuzetno velike količine podataka (Big Data) koje senzori prikupljaju u realnom vremenu, oni se skladište i obrađuju na *cloudu*. Pošto se deca brzo razvijaju, aplikacija na svakih sedam dana postavlja pitanje o trenutnoj masi deteta kako bi se opseg prilagodio novoj masi.

U aplikaciji postoji opcija gde se nalaze grafički prikazi koliko je pravilnih i nepravilnih koraka dete napravilo u toku jednog dana na svakih sat vremena (sl. 7) i ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka za nedelju dana (sl. 8).



Sl. 7. Ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka na svakih sat vremena



Sl. 8. Grafički prikaz pravilnih i nepravilnih koraka za 7 dana

Merenje počinje onog momenta kada senzor detektuje prvi pritisak stopala na uložak i kada se pokrene aplikacija. Na slici 7 nalazi se ukupan broj pravilnih i nepravilnih koraka deteta na svakih sat vremena. Merenje je počelo u 6:15, pa su konačni rezultati pravilnih i nepravilnih koraka je predstavljeni u 7:15. Prednost ove aplikacije je mogućnost da roditelji i lekar sa svog mobilnog telefona mogu prijaviti na nalog deteta. Na taj način je omogućen detaljan uvid u napredak ili nazadovanje.

U aplikaciji postoji i posebna opcija gde se beleže isključivo nepravilni koraci. Cilj je da se dobiju podaci na kom delu stopala je najveće odstupanje prilikom hoda. Prikazana je Tabela 1 kada je dete napravilo nepravilan korak. Tabela se sastoji od tri parametra:

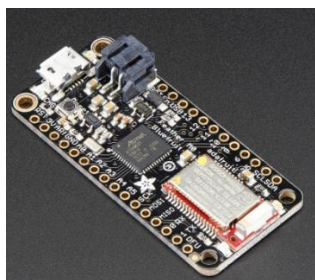
1. izmerene sile na stopalu
2. vremena kada se nepravilan korak desio
3. trenutne mase deteta.

Odstupanje	Peta	Spoljni deo	Deo do prstiju	Vreme [s]	Masa [kg]
Sila [N]	317	367	387	13:23:12	40

Tabela 1. Prikaz rezultata detetovog hoda u aplikaciji

Crvenom bojom je obeleženo na kom delu stopala je dete ostvarilo odstupanje, kao i vreme kada se desilo.

Prikupljanje podataka sa senzora i slanje tih podataka pomoću Bluetooth mreže, omogućeno je odgovarajućim mikrokontrolerom. Za potrebe Pametnog uložka koristi se Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler. Reč je o najnovijem Bluetooth Low Energy protokolu niske potrošnje u frekventnom opsegu od 2.4 GHz. To je jedini bežični protokol koji može da se koristi sa iOS operativnim sistemom, a podržavaju ga i svi moderni pametni telefoni. Korisniku je omogućeno da ima potpunu kontrolu nad uređajem, uključujući mogućnost definisanja i upravljanja karakteristikama uređaja [9].



Sl. 9. Adafruit Feather M0 Bluefruit LE mikrokontroler [9]

Sve prethodno pomenuto nema smisla ukoliko ne bi postojao način kako da se dete primora da hoda pravilno. Roditelj treba da instalira aplikaciju i pomoću bluetooth - a uspostavi komunikaciju sa uloškom. Tada u sklopu aplikacije postoji opcija da se snimi glasovna poruka takvog sadržaja da skrene detetu pažnju da ne hoda pravilno. Poruka bi se automatski aktivirala posle svaka 2 nepravilna koraka.

Jedan od problema može da bude činjenica da dete ne želi da pristane da nosi uložak. Ukoliko dete 7 dana ne reaguje na upozorenja koja dobija i svesno pravi greške, tada je roditelj u obavezi da kontaktira lekara i da ga obavesti o nastaloj situaciji i da se detetu dodeli termin kada će

morati pod nadzorom pedijataru da radi vežbe radi unapređenja hoda.

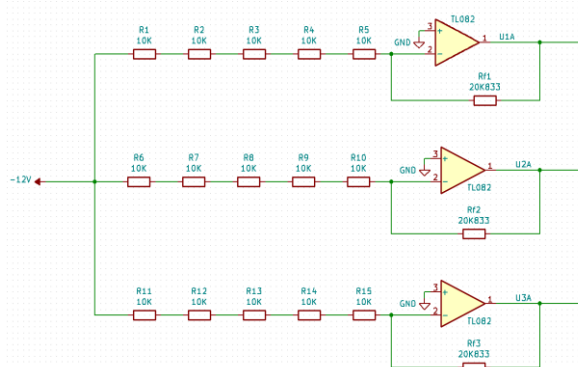
## 5. PROOF OF CONCEPT

Na samom startu eksperimenta došlo je problema oko nabavke FSR senzora. Prvo rešenje problema je da se umesto FSR senzora postave otpornici od 10 KΩ. U dogovoru sa mentorom Marjanom Urekarom, pet redno vezanih otpornika od 10 KΩ (ukupno 50 KΩ u jednoj grani) bi bilo dovoljno za masu do 50 kg.

Eksperiment je podeljen u 5 segmenata:

1. U prvom merenju korišćen je otpornik od 10 KΩ za masu od 10 Kg,
2. U drugom merenju korišćena su dva otpornika od 10 KΩ (ukupno 20 KΩ) za masu od 20 Kg,
3. U trećem merenju korišćena su tri otpornika od 10 KΩ (ukupno 30 KΩ) za masu od 30 Kg,
4. U četvrtom merenju korišćena su četiri otpornika od 10 KΩ (ukupno 40 KΩ) za masu od 40 Kg,
5. U petom merenju korišćeno je pet otpornika od 10 KΩ (ukupno 50 KΩ) za masu od 50 Kg.

Merenje je bilo podeljeno u pet segmenata kako bi se izvršile simulacije za različite mase deteta. Na slici 10 nalazi se električna šema kada je potrebno merenje za 50 kg. Tri grane sa otpornicima menjaju 3 FSR senzora koji bi bili postavljeni u idealnom slučaju (slika 10).



Sl. 10. Električna šema kada je potrebno merenje za 50 kg

Povezivanje je ostvareno na ploči *Analog System Lab Kit PRO*. Na ulaz ploče dovodi se napon od -12 V, dok se na izlazu invertujućeg operacionog pojačavača očekuje napon od 5 V. Očitavanje napona na izlazu je omogućeno pomoću univerzalnog mernog instrumenta.

Kako bi se dobio željeni napon na izlazu, potrebno je podesiti otpornost na  $R_F$  otporniku. U tabeli 2 predstavljeni su rezultati očekivanih vrednosti  $R_F$  otpornosti, kao i dobijene vrednosti prilikom povezivanja. Otpornost  $R_F$  je podešena na dekadnim kutijama otpornosti.

$R_{FSR}$ [KΩ]	$R_F$ OČEKIVANO [KΩ]	$R_F$ DOBIJENO [KΩ]
10	4.066	4.016
20	8.333	8.053
30	12.500	11.840
40	16.667	15.240
50	20.833	19.250

Tabela 2. Prikaz očekivane vrednosti  $R_F$  otpornika i dobijene vrednosti  $R_F$  otpornika

## 6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad nudi rešenje kako da se unapredi hod deteta i kako podstaći dete da to realizuje. Internet of Things, kao deo Industrije 4.0 nudi mogućnost slanja rezultata i monitoring. Za tu potrebu koriste se FSR senzori, mikrokontroler i Bluetooth mreža koja šalje rezultate na aplikaciju mobilnog telefona. Prednost „Biomedicinskog uložka za cipele“ u odnosu na prethodne uređaje jeste mogućnost da se bluetooth sistem nalazi u samom uložku. Glavni razlog jeste da se spreči uništenje wireless senzorskog sistema ukoliko dete slučajno udari nogom o neki predmet.

Svakako je dodatna prednost i aplikacija na mobilnom telefonu koja detaljno prikazuje napredak hoda. Postoji prostora za napredak, pre svega odabir FSR senzora koji ima opseg sila za masu do 100 kg. Kao moguće rešenje može da se upotrebi *100 kg Thin Film Pressure Sensor for Arduino*. Jedan od problema svakako jeste „Sa koliko godina dete može da nosi uložak?“. U novinskom članku „Gait abnormalities in children“ [10] postoji objašnjenje da prve naznake bolesti stopala nastaju već u trećoj godini života.

U Scholastic novinskom članku [11] se nalazi objašnjenje da dete postaje svesno tek u sedmoj godini. Najveći problem nastaje sa decom između treće i sedme godine, kako im prilagoditi uložak i kako ih naterati da slušaju upozorenja roditelja. Audio poruka sa glasom roditelja je početna ideja kako dete motivisati da se trudi i da koristi Pametan uložak.

Kako bi mikrokontroler mogao da prepozna koji korak je ispravan, potrebne su referentne vrednosti. Treba imati u vidu da ne mogu sva deca imati podjednaku masu, pa su samim tim i referentne vrednosti drugačije. Zato je potrebno da se sprovede ispitivanje dece u rasponu od treće do osamnaeste godine, a da su pritom i različitih konstitucija.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.centarsm.co.rs/saveti-primaknuto-stopalo.html>.
- [2] <https://solarbotics.com/product/50803/>.
- [3] N. Igić, Kineziološka analiza hoda, Novi Sad: Medicinski fakultet Novi Sad, Katedra za medicinsku rehabilitaciju, Kineziologija, 2015.
- [4] J. Pauk, K. Daunoraviciene, M. Ihnatouski, J. Griskevicius and J. V. Raso, "Analysis of the plantar pressure distribution in children with foot deformities," Januar 2010..
- [5] J. v. d. Pas, "A DIY Smart Insole to Check Your Pressure Distribution," Arduino Project Hub, 2018.
- [6] V. Aleksovski, Force resistive sensor, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 2014.
- [7] [www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf).
- [8] P. Sovilj, Internet of Things, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [9] <https://www.adafruit.com/product/2995>.
- [10] D. H. Willacy, "Gait abnormalities in children," *Patient*, 2019..
- [11] P. D. Dorfman, "Age of reason," *Scholastic*

### Kratka biografija

**Aleksandar Kostovski** rođen je u Novom Sadu 1994. godine. Diplomirao je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na katedri za električna merenja 2020. godine.