

2019

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKO DELO
RAZVOJ NAPRAVE ZA MERJENJE SILE UDARCEV
BORILNIH VEŠČIN

LEON TAVČAR

LEON TAVČAR

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Magistrsko delo

Razvoj naprave za merjenje sile udarcev borilnih veščin

(Development of device for measuring the force of impact in martial arts)

Ime in priimek: Leon Tavčar

Študijski program: Računalništvo in informatika, 2. stopnja

Mentor: doc. dr. Peter Rogelj

Koper, januar 2019

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Leon TAVČAR

Naslov magistrskega dela: Razvoj naprave za merjenje sile udarcev borilnih veščin

Kraj: Koper

Leto: 2019

Število listov: 56

Število slik: 30

Število tabel: 5

Število referenc: 17

Mentor: doc. dr. Peter Rogelj

UDK: 004.04:796.8(043.2)

Ključne besede: udarci, borilne veščine, senzor obremenitve, android, arduino, Bluetooth

Izvleček:

Borilne veščine so skupek fizičnih, mentalnih in spiritualnih praks, katerih namen je učinkovito bojevanje. Pogosto se uporabljajo tudi v profesionalnih športih in kot rekreacija za vse več ljudi. Tako kot pri vseh ostalih športih so bile razvite tehnologije in naprave, ki nam pomagajo izmeriti in oceniti napredke, ki smo jih dosegli pri vadbi. V tem delu je predstavljena naša naprava za merjenje sile udarcev, za lažje razumevanje problema pa najprej podajamo pregled različnih tehnologij in obstoječih naprav. Izvedbe naprav se razlikujejo predvsem po številu in tipu senzorjev, s katerimi merimo in analiziramo udarce. Različni tipi senzorjev nam dajejo različne vrste rezultatov. Senzor pospeška nam na primer pove, kakšen pospešek je dosegla roka ali noga pri udarcu ali kakšen pospešek je doseglo telo pri udarcu. Senzorji obremenitve nam povedo, s kakšno silo je bilo udarjeno telo. Vrsta senzorja, ki je uporabljena pri izdelavi, je odvisna od namena uporabe, kje bo senzor montiran in velikosti naprave. Vse naprave zahtevajo kalibracijo, način je odvisen od tipa uporabljenega senzorja. Pri razvoju naprave za merjenje sile udarcev smo uporabili senzor obremenitve, mikrokontroler Arduino in pametni telefon z operacijskim sistemom Android. Izdelali smo namensko vezje, ki ojača razliko v napetosti Wheatstonovega mostiča, mikrokontroler analogno vrednost vzorči in pretvori v digitalni zapis. Vzorčene vrednosti nato pošljemo prek modula Bluetooth pametnemu telefonu ali tabličnemu računalniku, ki vrednosti smiselno obdelava in pokaže rezultate udarca oziroma serije udarcev.

Key words documentation

Name and SURNAME: Leon TAVČAR

Title of the master thesis: Development of device for measuring the force of impact in martial arts

Place: Koper

Year: 2019

Number of pages: 56

Number of figures: 30

Number of tables: 5

Number of references: 17

Mentor: Assist. Prof. Peter Rogelj, PhD

UDK: 004.04:796.8(043.2)

Keywords: strikes, martial arts , load sensor, android, arduino, Bluetooth

Abstract:

Martial arts are a fusion of physical, mental and spiritual practices, used in effective combat practices. They are often used by a growing number of professional and recreational athletes. As with all other sports, technologies and devices have been developed, in order to help us measure and evaluate the progress we made in our training. In the present study, we introduce our device for measuring an impact force of strikes. For ease of comprehension, we will first review a variety of technologies and existing devices. Device performances vary mainly by numbers and types of sensors, with which we measure and analyze the impacts. Different sensor types produce different types of results. For example, the acceleration sensor tells us what kind of acceleration was reached by an impact of an arm or a leg, or by an impact of a body. Load sensors indicate the force of a strike impact on the object. The applied sensor type depends on the intended use of the device, where it will be mounted and on the size of the device. All the devices require calibration, the method of which will depend on the type of an applied sensor. In development of the device for measuring the impact force of strikes we applied a load sensor, Arduino microcontroller and an Android smartphone operating system. We created a dedicated circuit that increases the difference in voltage of the Wheatstone bridge. Microcontroller samples the analog value and converts it into a digital value. Next, we transfer the sampled values to a smartphone or a tablet via Bluetooth. The computer then processes these values in a sensible way and shows results of the strike or a series of strikes.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	DEFINICIJA PROBLEMA	1
1.2	ŠTUDIJA IZVEDLJIVOSTI	2
2	SPECIFIKACIJE SISTEMA	3
2.1	PREGLED SENZORJEV	3
2.1.1	Senzor obremenitve (Load cell)	3
2.1.2	Kapacitivni senzorji obremenitve.....	5
2.1.3	Senzor pospeška (Accelerometer)	6
2.2	PREGLED NAPRAV	8
2.2.1	StrikeMate	8
2.2.2	Nexersys	9
2.2.3	Naprava za merjenje moči udarcev za boksarje	10
2.2.4	Naprava za analiziranje udarcev v boksu	10
2.3	PRIMERJAVA OBSTOJEČIH REŠITEV	11
2.4	ZAHTEVE NOVEGA SISTEMA	13
2.5	PREDLOG NOVEGA SISTEMA	13
3	NAČRTOVANJE SISTEMA	15
3.1	SENZOR Z OJAČEVALNIKOM	15
3.1.1	Senzor obremenitve	15
3.1.2	Ojačevalnik razlike napetosti.....	16
3.2	MERILNO-KOMUNIKACIJSKA NAPRAVA.....	17
3.2.1	Merilnik	17
3.2.2	Modul Bluetooth.....	20
3.3	ODJEMALEC Z UPORABNIŠKIM VMESNIKOM	20
3.3.1	Odjemalec	20
3.3.2	Uporabniški vmesnik.....	20
4	IZVEDBA.....	22
4.1	SENZOR Z OJAČEVALNIKOM	22
4.2	MERILNO-KOMUNIKACIJSKA NAPRAVA.....	23
4.2.1	Merilnik	23
4.2.2	Modul Bluetooth.....	26
4.3	ODJEMALEC Z UPORABNIŠKIM VMESNIKOM	26
4.3.1	Odjemalec za prenosne naprave z operacijskim sistemom Android	27
4.3.2	Merjenje lastnosti udarcev	32
4.3.3	Izračun in prikaz energije in hitrosti udarca	33
4.3.4	Uporabniški vmesnik.....	38
5	TESTIRANJE.....	40
5.1	STATIČNO TESTIRANJE Z IN BREZ UTEŽI	40

5.2	TESTIRANJE Z RAZLIČNIMI ATLETI	41
6	RAZPRAVA.....	43
7	LITERATURA	45

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Primerjava med napravami	12
Tabela 2: Specifikacije Arduino Uno	18
Tabela 3: Podatki, uporabljeni pri modeliranju	33
Tabela 4: Lastnosti atletov in udarcev	41
Tabela 5: Seznam in cene uporabljenih komponent	43

KAZALO SLIK IN GRAFIKONOV

Slika 1: Različne izvedbe senzorjev obremenitve	3
Slika 2: Uporovni listič.....	4
Slika 3: Povezava uporovnih lističev v Wheastone mostič	4
Slika 4: Zgradba kapacitivnega senzorja obremenitve	5
Slika 5: Izhod senzorja pospeška	7
Slika 6: Izhod senzorja pospeška ob udarcu	7
Slika 7: Strikemate prenosna naprava za merjenje udarcev	9
Slika 8: Naprava za merjenje udarcev Nexersys	9
Slika 9: Naprava za merjenje udarcev pri boksu.....	10
Slika 10: Naprava za analiziranje udarcev pri boksu	11
Slika 11: Komponentni diagram predlagane rešitve.....	13
Slika 12: Načrt naprave	15
Slika 13: Senzor obremenitve eno točkovna izvedba do 500 kg.....	16
Slika 14: Notranja shema ojačevalnika INA 125	17
Slika 15: Arduino Uno razvojna ploščica.....	18
Slika 16: Modul Bluetooth za Arduino	20
Slika 17: Načrt namenskega programa za prikazovanje rezultatov udarcev	21
Slika 18: Shema izdelanega vezja za ojačevalnik INA125P.....	22
Slika 19: Graf posnetih udarcev	32
Slika 20: Prikaz odvisnosti sile in časa med spuščeni kovinskimi krogli in resničnimi udarci atletov	35
Slika 21: Energija v odvisnosti od najvišje sile, izmerjene pri udarcu.....	35
Slika 22: Energija v odvisnosti od časa, pri katerem smo izmerili najvišjo silo udarca	36
Slika 23: Hitrost v odvisnosti od najvišje sile, izmerjene pri udarcu	36
Slika 24: Hitrost v odvisnosti od časa, pri katerem smo izmerili najvišjo silo udarca	37
Slika 25: Model energije	38
Slika 26: Model hitrosti	38
Slika 27: Namenski program za prikazovanje rezultatov udarcev	39
Slika 28: Graf vrednosti pri razbremenjenem senzorju	40
Slika 29: Graf vrednosti pri obremenjenem senzorju	41
Slika 30: Graf primerjava udarcev z najvišjo izmerjeno silo	42

SEZNAM KRATIC

SI	International System of Units	Mednarodni sistem enot
CSV	Comma separated values	Vrednosti ločene z vejico
CU	Compound unit	Združena enota
LCD	Liquid Cristal Display	Tekočekristalni zaslon
USB	Universal Serial Bus	Univerzalna serijska vrata
ICSP	In Circuit Serial Programming	Serijsko programiranje v vezju
PWM	Pulse-width modulation	Pulzno-širinska modulacija
RAM	Random Access Memory	Bralno-pisalni pomnilnik
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Električno izbrisljiv programirljiv bralni pomnilnik
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter	Asinhrona serijska komunikacija
TTL	Transistor Transistor Logic	Tranzistor tranzistorska logika

ZAHVALA

Zahvaljujem se dr. Petru Roglju za potrpežljivost, motivacijo in usmerjanje pri izdelavi magistrskega dela.

1 UVOD

Borilne veščine so skupek fizičnih, mentalnih in spiritualnih praks, katerih namen je učinkovito bojevanje. Nekoč so se borilnih veščin učili izključno vojaki, da bi si povečali možnosti za preživetje v vojni. Danes se jih učimo iz različnih razlogov: samoobramba, šport, razgibavanje telesa, avto kontrola, meditacija, izboljšati motorične sposobnosti, povečati samozavest. Pojem borilne veščine se dandanes uporablja predvsem v povezavi z golorokimi azijskimi borilnimi veščinami. Pri golorokih borilnih veščinah se uporabljajo različni gibi:

- udarci z rokami (pest, dlan, prti, komolec, ramena),
- udarci z nogami (stopalo, goleno, koleno),
- natančni gibi, ki omogočajo: premike delov telesa, metanje ali podrtje nasprotnika na tla in udarjanje v posebne živčne točke po človeškem telesu.

Udarec je balistično gibanje, ki je izvedeno z največjo hitrostjo, pospeškom oziroma hitrostjo prirastka sile. Generalno gledano je sila produkt pospeška in mase nekega objekta, $F = ma$. F predstavlja silo; m maso; a pa pospešek. Recimo, če atlet boksa v boksarsko vrečo, je sila udarca odvisna od tega, kako hitro pest oziroma rokavica pospešuje in od mase pesti oziroma rokavice in roke. Enota za merjenje sile udarca je Newton (N). Sila 1 N pospeši telo z maso 1 kg s pospeškom 1 m/s^2 [16].

Ko govorimo o borilnih veščinah kot športnih disciplinah, ki jih izvajajo atleti, se pogosto dogaja, da se pojavi potreba po merjenju napredka in učinkovitosti treninga nekega atleta. V tej nalogi smo se osredotočili na merjenje sile udarca. V ta namen je bilo razvitih kar nekaj naprav, ki delujejo na različne principe. Čeprav govorimo o sili udarcev, naprave ne kažejo vedno sile v Newton-ih, nekatere kažejo pospešek ali lastno enoto za ovrednotenja moči udarca »točke«, odvisno je od izvedbe in senzorjev, ki so bili uporabljeni pri izdelavi. V nadaljevanju bomo skušali opredeliti različne uporabljene koncepte pri izdelavi naprav za merjenje udarcev in opisali razvoj lastne naprave za merjenje sile udarcev, sestavljene iz senzorja obremenitve (Load cell), ojačevalnika signala, mikrokrmilnika Arduino in brezžične povezave s pametnim telefonom, skupaj z namensko izdelanim programom, ki bo prikazoval podatke o udarcih. Tako bo lahko atlet spremljal napredke pri izvajanju udarcev borilnih veščin.

1.1 DEFINICIJA PROBLEMA

Mnogo ljudi se ukvarja z različnimi športnimi disciplinami. Pri skoraj vseh disciplinah obstaja metoda za merjenje napredka in rezultatov, tako da lahko primerjamo atlete med seboj ali napredek posameznega atleta. Na primer pri dvigovanju uteži je ključna teža uteži, ki jo lahko posamezni atlet dvigne. Pri tekačih je to čas, ki ga tekač porabi, da preteče

določeno razdaljo. Pri preskakovanju ovire je to višina vodoravne palice, ki jo lahko atlet preskoči. Tako si tudi za atlete, ki vadijo borilne veščine, želimo ovrednotenje napredka in primerjave rezultatov med atleti.

Pri vadbi borilnih veščin nas zanima, koliko je neki atlet napredoval. Ker so udarci osnova borilnih veščin, je to najprimernejše ocenjevanje napredka. Z vadbo lahko povečamo moč udarca tako, da predvsem povečamo hitrost pesti do udarca v tarčo in v majhni meri težo pesti. Povečamo lahko tudi kondicijo atleta, tako da izvaja zaporedne močne udarce v tarčo določen čas. V okviru udarcev želimo podatek o energiji udarca, kako hitro si sledijo udarci eden za drugim in kakšno povprečje lahko doseže v določenem času. Velikega pomena je tudi cena, saj so podobne naprave večinoma drage.

1.2 ŠTUDIJA IZVEDLJIVOSTI

Elektronske naprave in merilna tehnologija omogočata izdelavo različnih naprav za merjenje in ovrednotenje napredkov atletov, ki vadijo športne discipline. Pri merjenju napredkov atletov, ki vadijo borilne veščine, nas zanima predvsem energija udarca. Za tako merjenje je bilo v merilni tehniki razvitih precej senzorjev, ki učinkovito merijo težo in silo. Pri udarcih lahko uporabimo tak senzor za vrednotenje udarca, atlet udari v oblazinjeno površino in ta prenese silo na senzor, ki jo pretvori v električni signal. Tak signal lahko vzorčimo in pretvorimo v digitalno obliko, ki jo nato lahko pretvorimo v berljiv zapis.

Od take naprave pričakujemo natančno merjenje poteka sile v trenutku udarca in dovolj hitro ponovno pripravljenost za merjenje naslednjega udarca. Če naprava izpolnjuje te zahteve, lahko izdelamo programsko rešitev, ki beleži največjo silo udarca, energijo, hitrost, povprečje serije udarcev, skupno število izvedenih udarcev in povprečno število udarcev, izvedenih v nekem časovnem intervalu.

2 SPECIFIKACIJE SISTEMA

V tem poglavju bomo pregledali obstoječe senzorje in naprave. Naredili bomo primerjavo in podali predlog rešitve.

2.1 PREGLED SENZORJEV

V napravah za merjenje udarcev se večinoma uporabljajo senzorji obremenitve, kapacitivni senzorji in senzorji pospeška. V nadaljevanju bomo opisali lastnosti in delovanje teh senzorjev.

2.1.1 Senzor obremenitve (Load cell)

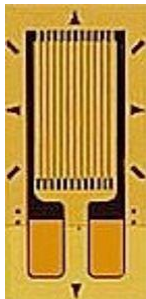
Senzor obremenitve je senzor ali pretvornik, ki pretvori silo oziroma težo v električni signal. Odvisno od tipa senzorja in elektronike, ki upravlja senzor, se lahko signal spreminja po napetosti, toku ali frekvenci. Senzorji obremenitve so lahko zgrajeni na podlagi tehnologij upornosti, kapacitivnosti, induktivnosti. Najpogosteje so uporabljeni senzorji obremenitve, ki temeljijo na tehnologiji spremembe upornosti. Senzorji obremenitve se razlikujejo tudi po tipu izvedbe, Slika 1 prikazuje najpogostejše:

- S-Izvedba,
- eno točkovna izvedba,
- strižna izvedba,
- ploščata izvedba,
- gumb izvedba,
- miniaturne izvedbe.



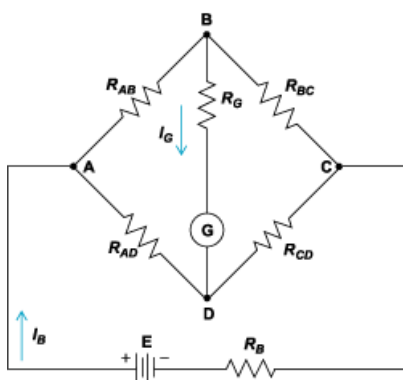
Slika 1: Različne izvedbe senzorjev obremenitve (vir: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/38/7b/36/387b3679fb5aae6f5c7d509842a29837.jpg>)

Tip izvedbe senzorja obremenitve, ki se mu spreminja upornost, je v glavnem sestavljen iz uporovnih lističev. Uporovni listič prikazuje Slika 2. Pri deformaciji uporovnega lističa se spreminja njegova upornost in posledično tudi izhodna napetost.



Slika 2: Uporovni listič (vir: <http://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html>)

Najpogosteje se uporablja izvedba štirih uporovnih lističev, povezanih med seboj v Wheatstone mostič, kot prikazuje Slika 3. Wheatstone mostič zmanjša občutljivost na spremembo napajalne napetosti in spremembo upornosti zaradi temperaturnih sprememb. Običajno se prikljopi napetost 10 V ali 5 V na priključke A, C, kot prikazuje Slika 3, in nato merimo razliko med napetostmi na priključkih B, D. Izhodna napetost pri razbremenjenem senzorju je blizu nič, ker so upornosti vseh uporovnih lističev v mostiču enake, ko pa se listič deformira, pride do razlike upornosti in posledično se tudi izhodna napetost poveča.



Slika 3: Povezava uporovnih lističev v Wheatstone mostič (vir: <http://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html>)

Uporovni lističi so običajno pritrjeni na kovinske dele, ki se upognejo, ko na njih deluje obremenilna sila. To privede do razlike med upornostmi, med enim ali več uporovnimi lističi. Razlika med upornostmi privede do majhne spremembe napetosti na izhodu, ki jo lahko izmerimo z uporabo natančnega voltmetra. Pri pretvorbi izhodne napetosti iz analogne v digitalno obliko signala je potrebno signal najprej ojačati, da dobimo napetost med 0–5 V ali 0–10 V, odvisno od elektronskega vezja, ki signal meri.

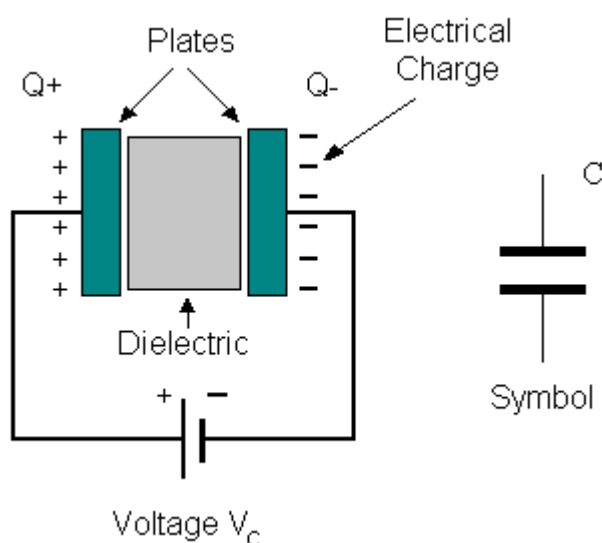
Senzorji z uporavnimi lističi imajo zelo dobro natančnost $\pm 0,02\%$ na celotnem območju merjenja. Običajno imajo vgrajen tudi termistor, ki skoraj izniči vpliv zunanje temperature na senzor in rezultate merjenja. Tako zgrajeni senzorji omogočajo natančno merjenje v temperaturnem območju od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dobra lastnost je tudi, da omogočajo ekscentrično merjenje, tako da je breme lahko postavljeno kjerkoli na merilni plošči in ne vpliva na rezultate merjenja, zato so še posebej primerni za tehtnice vseh tipov [10].

Kalibriranje teh vrst senzorjev je zelo enostavno, saj narašča izhodna napetost linearno s povečevanjem teže uteži. Izvedemo jo lahko tako, da vzamemo eno lažjo utež in eno težjo, izmerimo napetost pri lažji in težji uteži in naredimo interpolacijo vmesnih vrednosti.

2.1.2 Kapacitivni senzorji obremenitve

Glavna lastnost kapacitivnih senzorjev obremenitve je sprememba kapacitivnosti, ko senzor obremenimo z določeno silo. Kapacitivnost je lastnost električno prevodnih teles, da pod vplivom električne napetosti sprejmejo elektrino. Razmerje med količino sprejete elektrine in nastalega potenciala se imenuje kapacitivnost telesa. Merilo kapacitivnosti električno prevodnih teles je elektrina na enoto napetosti, ki je povzročila naelektrenje. Slika 4 prikazuje zgradbo kapacitivnega senzorja obremenitve. Sestavljen je iz dveh vzporednih plošč, med katerima je dielektrik, ki shrani elektrino. Kapacitivnost je odvisna od velikosti plošč in razdalje med dvema ploščama. Pod obremenitvijo se kapacitivnost spreminja.

Ta tip senzorja se uporablja tudi za merjenje vlage, navora, pospeška, nivoja tekočin. Omogoča veliko občutljivost v majhnih dimenzijah. Sam senzor je bolj robusten in kompakten kot tisti z uporavnimi lističi [10].



Slika 4: Zgradba kapacitivnega senzorja obremenitve (vir: <http://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html>)

2.1.3 Senzor pospeška (Accelerometer)

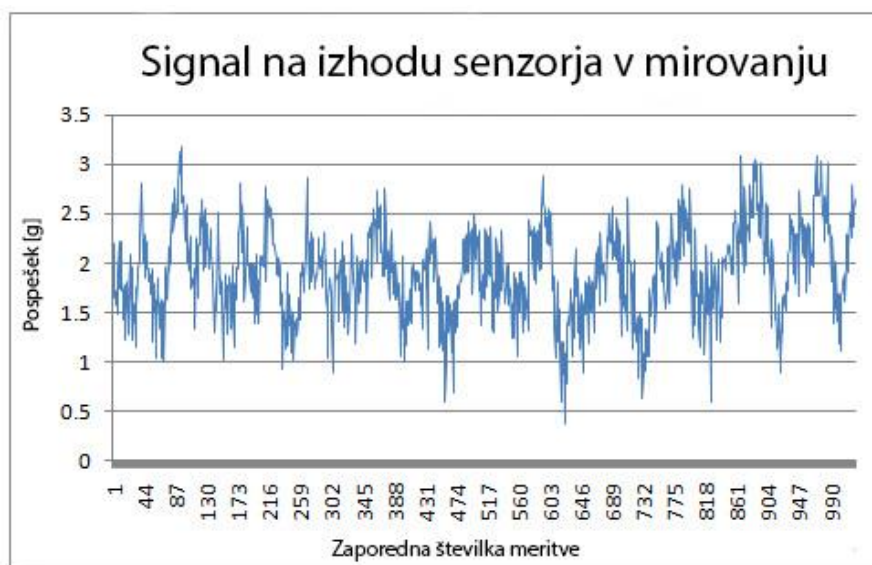
Enota za merjenje pospeška je po SI (International System of Units) definirana m/s^2 (metrov na sekundo kvadratno). Pospešek, ki ga ima objekt ne glede na gravitacijski pospešek, označimo z g ali g-sila, da bi preprečili zamenjavo z g-grami ali G-gravitacijski pospešek. Čeprav jo označimo z g-silo, gre za pospešek. Oznake g-sile ni v seznamu SI, čeprav se jo v zadnjih časih veliko uporablja. 1 g-sila je enak gravitacijskemu pospešku na površini Zemlje in znaša $9,8 m/s^2$.

Senzor pospeška meri pospešek objekta v g-sili. Senzorji se uporabljajo v industriji in znanosti. Občutljivejši senzorji pospeška se v veliki meri uporabljajo v navigacijskih sistemih, letalih in izstrelkih vseh vrst. Z njimi lahko odkrivamo in spremljamo vibracije v rotirajočih strojih. Danes imamo te senzorje že vgrajene v večini prenosnih naprav, digitalnih fotoaparatih, mobilnih telefonih in tabličnih računalnikih.

Več-osni senzorji zaznavajo pospešek v več smereh. Pospešek je izračunan iz vektorja pospeškov z različnih osi. Na tak način lahko zaznavamo, v katero smer je bil pospešek večji in rotacijo nekega objekta [4].

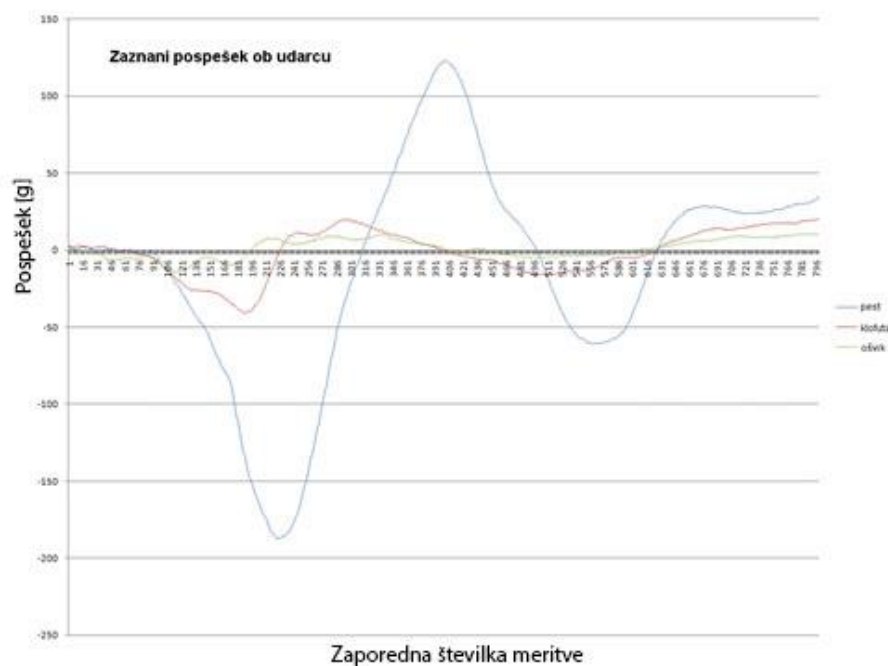
Senzor pospeška lahko uporabimo za merjenje sile udarca. Uporabimo lahko eno-osni senzor pospeška z analognim izhodom, analogno-digitalni pretvornik in mikrokrmilnik. Kakšen senzor bomo izbrali, je odvisno od teže objekta, v katerega bomo udarjali. Če želimo na primer uporabljati senzor v pripomočku za vadbo, imenovanem makiwara, ki je sestavljen iz lesene deske, v katero udarjamo z roko ali nogo, moramo izbrati takšnega, ki ima območje ± 250 g. Za uporabo v boksarski vreči bo verjetno dovolj senzor z območjem ± 10 g, ker ima boksarska vreča bistveno večjo maso. G-silo izračunamo tako, da od napetosti na izhodu odštejemo napetost v mirovanju in delimo z natančnostjo vzorčenja. Senzorji so občutljivi na temperaturo in imajo šum tudi pri mirovanju.

Slika 5 prikazuje izhodni signal v mirovanju senzorja ADXL193. Razviden je zamik od 0 g za približno 1,7 g in nihanje za približno $\pm 1,5$ g. Torej je ta senzor uporaben za makiwaro, ki dosega ob udarcu večje pospeške kot boksarska vreča. Za merjenje pospeška boksarske vreče ob udarcu bi potrebovali senzor z nižjim območjem delovanja, ta pa ne bi bil primeren za makiwaro [4].



Slika 5: Izhod senzorja pospeška (vir: <https://abieneman.files.wordpress.com/2010/04/readings-at-rest.gif>)

Slika 6 prikazuje krivuljo pospeška pri udarcu, ko je senzor nameščen na makiwaro. Nihanje je še vedno prisotno, vendar je pri velikih pospeških zanemarljivo [4].



Slika 6: Izhod senzorja pospeška ob udarcu (vir: <https://abieneman.files.wordpress.com/2010/04/readings-on-impact.gif>)

Sile v Newton-ih na tak način ne moremo izmeriti, ker ne moremo razbrati hitrosti in teže pesti ali noge.

2.2 PREGLED NAPRAV

V tem poglavju bomo naredili pregled podobnih obstoječih naprav, opisali delovanje in tehnične lastnosti, ki jih podajajo proizvajalci.

2.2.1 StrikeMate

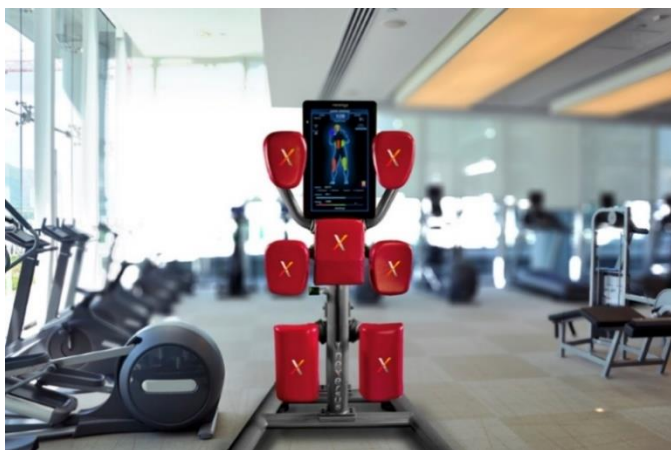
StrikeMate je prenosna naprava za merjenje udarcev velikosti 305*305*250 mm in teže le 3 kg. Slika 7 prikazuje uporabo in izgled naprave. Proizvajalec ponuja tudi krmilno enoto s programsko opremo, ki omogoča snemanje nožnih in ročnih udarcev atletov. Sama naprava za zaznavo udarcev je sestavljena iz blokov, ki so spojeni skupaj v sendvič. Vsak blok je sestavljen iz dveh plošč, ki imata vmes odprto-celično gumijasto peno. Taka izvedba omogoča bolj kontrolirano kompresijo pri udarcih. Naprava vsebuje dva visoko razredna senzorja pospeška (accelerometer), nameščena med bloki. Podrobnejši opis uporabljenih senzorjev je v 3.3 poglavju. Senzorja sta povezana z računalnikom in programsko opremo proizvajalca, ki omogoča takojšnjo povratno informacijo o udarcu. Proizvajalec zagotavlja reprodukcijo udarcev in primerljivost, saj sta naprava in programska oprema skalibrirani pri proizvajalcu [7]. Naprava uporablja enoto za merjenje moči, ki jo je označil proizvajalec s cu (compound unit) moči. Enota je skupek moči in energije, ki se pojavi pri udarcu. Proizvajalec trdi, da je bil izdelek preizkušen s strani olimpijskih atletov, mednarodnega združenja borilnih veščin, športnih univerz in televizij, vključno z National Geographic [11]. Izvoz podatkov omogoča v formatu vrednosti ločene z vejico (ang. comma separated values, csv). Tak format zapisa je primeren za nadaljnjo obdelavo, ker je najbolj univerzalen in ga tudi baze podatkov uporabljajo kot enega izmed uvoznih/izvoznih formatov datotek. Naprava nima možnosti povezljivosti z drugimi sistemi in nima možnosti brezžične povezave med merilnikom in odjemalcem z uporabniškim vmesnikom. Brezžična povezava nam omogoča nekoliko več fleksibilnosti pri uporabi naprave. Slaba lastnost za povprečnega atleta, ki želi le meriti napredek pri vadbi borilnih veščin, je visoka cena.



Slika 7: Strikemate prenosna naprava za merjenje udarcev (vir: http://www.strike-research.org/images/gallery/roundhouse_3.jpg)

2.2.2 Nexersys

Slika 8 prikazuje napravo Nexersys, ki je namenjena za fitnes vadbo, merjenje udarcev in trening borilnih veščin. Naprava s priloženo programsko opremo ima kar nekaj funkcionalnosti, kar uporabnikom omogoča napredno uporabo. Naprava lahko shrani več kot 2000 profilov uporabnikov in njihovo zgodovino vaj, ki jih lahko shranimo na spominske medije USB. Na 22" LCD zaslonu prikazuje vaje oziroma zaporedja udarcev, ki uporabniku pomagajo pri vadbi, porabo kalorij in informacije o udarcih: natančnost, moč, reakcijski čas, štetje udarcev in dosežene točke. Naprava ima sedem 3-osnih senzorjev pospeška, ki so vgrajeni v vsaki blazini za udarce. Podrobnejši opis uporabljenih senzorjev je v 3.3 poglavju. Naprava prikazuje moč udarcev v odstotkih, kar nam ne pove nič v zvezi s silo udarca [17]. Naprava ne omogoča povezljivosti z drugimi sistemi. Cena je visoka za povprečne atlete, ki želijo le meriti napredek pri vadbi udarcev borilnih veščin. Merilnik in odjemalec sta integrirana, zato nima možnosti brezžične povezave med merilnikom in odjemalcem.



Slika 8: Naprava za merjenje udarcev Nexersys (vir: <http://nexersys.com/commercial-fitness/>)

2.2.3 Naprava za merjenje moči udarcev za boksarje

Slika 9 prikazuje napravo za merjenje udarcev pretežno za boks, lahko pa merimo tudi nožne udarce. Naprava je sestavljena iz plošče s senzorjem, stojala, vmesnika za povezavo senzorja in PC-ja ter programske opreme. Ko boksar udari v ploščo s senzorjem, vmesnik izmeri silo udarca in pošlje podatek računalniku prek povezave USB. Priložena programska oprema beleži povprečno moč, največjo moč, trenutno moč, število in povprečno število udarcev na minuto. Omogoča tudi profiliranje uporabnikov, ki temelji samo na začetnicah imena in kilogramih. Silo udarcev prikaže tudi na grafu, iz tega lahko uporabnik vidi zgodovino udarcev in razbere napredke. Pri izdelavi so uporabili senzor obremenitve, ki je podrobneje opisan v poglavju 3.1. Uporabnik pri nakupu lahko izbere tip senzorja glede na potrebo. Izbira lahko med 750 kg, 300 kg in 250 kg senzorjem [9]. Naprava ne omogoča brezžične komunikacije med merilnikom in odjemalcem z uporabniškim vmesnikom. Ne omogoča povezljivosti z drugimi sistemi in nima možnosti profiliranja uporabnikov.

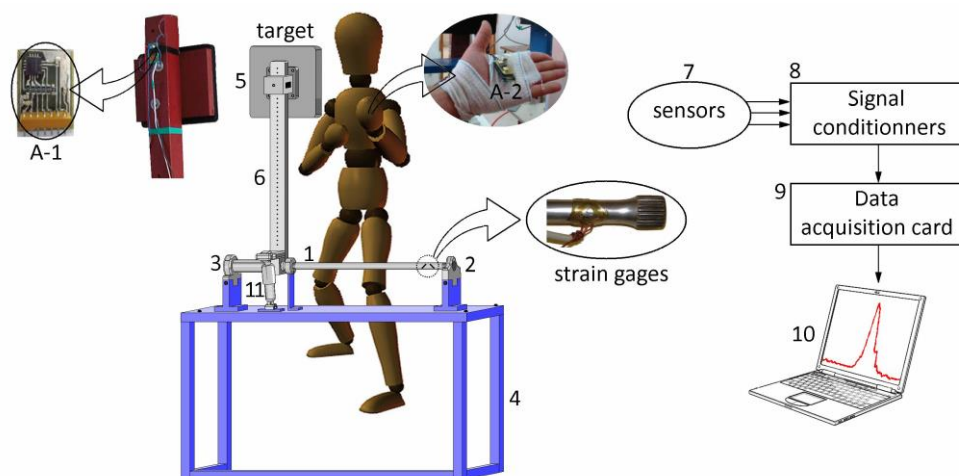


Slika 9: Naprava za merjenje udarcev pri boksu (vir: <http://www.loadstarsensors.com/punch-force-measurement-boxer-training-boxing.html>)

2.2.4 Naprava za analiziranje udarcev v boksu

Slika 10 prikazuje napravo za analiziranje udarcev v boksu, ki je zgrajena na principu torzije. Torzijska palica je vpeta na kovinsko ohišje. Z ene strani je fiksno vpeta, z druge pa ne, tako omogoča torzijo palice okoli svoje osi. Na njo je pritrjena ročica in na ročico udarna plošča, ki je nastavljiva po višini, velikosti 20 X 25 cm. Torzijo merijo uporovni lističi, ki so nameščeni na torzijsko palico. Napravo sestavljajo tudi senzorji pospeška. En senzor je nameščen v udarno ploščo in v vsako boksarsko rokavico. Pri udarcu v udarno ploščo bi prišlo do oscilacij, zato so namestili dušilnik, ki zmanjša oscilacije. Pri taki izvedbi je kalibriranje naprave komplicirano. Kalibracijo so izvedli tako, da so napravo postavili v

vodoraven položaj, udarno ploščo so nastavili na razdaljo 60 cm od torzijske palice in na ploščo polagali uteži poznane teže od 5 kg do 120 kg, po 5 kg razlike. Tak sistem omogoča prikaz števila udarcev na sekundo, reakcijski čas, čas udarca, pospešek pesti in največjo silo udarca [6]. Tako kot naprava za merjenje moči udarcev za boksarje tudi ta ne omogoča brezžične komunikacije med merilnikom in odjemalcem z uporabniškim vmesnikom. Ne omogoča povezljivosti z drugimi sistemi in nima možnosti profiliranja uporabnikov.



Slika 10: Naprava za analiziranje udarcev pri boksu (vir: http://ac.els-cdn.com/S187770581400589X/1-s2.0-S187770581400589X-main.pdf?_tid=35f21df6-c95f-11e4-ba0d-00000aacb362&acdnat=1426237329_baae6b4b2b8c8d76abc84e27a73f80f9)

2.3 PRIMERJAVA OBSTOJEČIH REŠITEV

Tabela 1 prikazuje primerjavo podobnih naprav, večina naprav uporablja senzor pospeška za merjenje udarcev. Od omenjenih naprav nobena ne omogoča brezžične komunikacije med senzorjem in kontrolno/procesorsko enoto. Naprave nimajo možnosti povezljivosti z drugimi sistemi, ker proizvajalci ne dajo podatkov protokola komuniciranja in načina kalibracije. Samo StrikeMate je podal format izvoza podatkov, to je csv (comma separated values), ki pomeni vrednosti, ločene z vejico. Ta format zapisa je primeren za nadaljnjo obdelavo, ker je najbolj univerzalen in ga tudi baze podatkov uporabljajo kot enega izmed uvožno/izvoznih formatov datotek. Nexersys in naprava za merjenje moči udarcev za boksarje sicer omogočata izvoz podatkov in s tem pregled zgodovine udarcev, vendar proizvajalca nimata pripravljene dokumentacije, ki bi vsebovala specifikacije o izvozu podatkov. Samo StrikeMate in Nexersys napravi omogočata profiliranje uporabnikov, kar omogoča vadbo več atletom posamično na eni napravi in primerjanje rezultatov med seboj. Profiliranje naprave Nexersys vsebuje samo ime atleta, zanemarjeni so vsi ostali podatki, na primer teža, spol in starost. Naprava Nexersys je edina, ki je dostopna v spletni trgovini.

Tabela 1: Primerjava med napravami

Lastnosti naprav	Naprave			
	StrikeMate	Nexersys	Naprava za merjenje moči udarcev za boksarje	Naprava za analiziranje udarcev v boks
Tip uporabljenega senzorja	senzor pospeška	senzor pospeška	senzor obremenitve	-senzor pospeška -senzor obremenitve (samo uporabne lističe)
Fizikalna količina meritev	lastna oznaka cu-skupek moči in energije	relativna ocena	najvišja sila [N]	najvišja sila [N]
Brezžična povezava med senzorjem in kontrolno/procesorsko enoto	Ne	Ne	Ne	Ne
Povezljivost z drugimi sistemi	Ne	Ne	Ne	Ne
Možnosti za izvoz podatkov	Da	Da	Da	/
Profiliranje uporabnika	Da	Da	Ne	/
Cena (EUR)	1053	2451	/	/

StrikeMate izdeluje podjetje Strike-research, ki je zelo fleksibilno. Njihov sistem prilagajajo potrebam kupcev za večje količine naprav. V osnovi je programska oprema namestljiva na operacijski sistem Windows 7 in 8. Naprava za merjenje moči udarcev za boksarje ima prav tako programsko opremo namestljivo samo na Windows 7 in 8. Strojna oprema je v tem primeru lahko kakršenkoli osebni ali prenosni računalnik, ki ima operacijski sistem Windows 7 ali 8 in vhod USB. Nexersys se prodaja kot zaprt sistem in ni podatka o strojni ali programski opremi, ki so jo uporabili za izgradnjo naprave.

Večinoma proizvajalci podatka o načinu opravljanja meritev in o analogno/digitalnih pretvornikih oziroma mikrokrmilnikih ne želijo podati v specifikacijah oziroma nimajo opravljenih meritev, so pa pomemben podatek pri meritvah natančnosti izmerjenih udarcev. Izjema je naprava za analiziranje udarcev v boks, ki v članku natančno opisuje način

kalibracije in podaja rezultate meritev, vendar brez podatka o uporabljeni strojni opremi. Odstopanja pri meritvah se pojavijo pri vsaki meritvi že zaradi vzorčenja signala iz senzorja. Če na primer vzamemo, da imamo mikrokrmilnik z 10 bitnim analogno digitalnim pretvornikom in je senzor napaján s 5 V napetostjo, potem dobimo od 0 do 5 V lahko 1024 različnih vrednosti. Tako lahko priklopimo 500 kg senzor obremenitve iz poglavja 3.1 in imamo tako v najboljšem primeru natančnost na $\pm 0,488$ kg iz formule $500 \text{ (največji kg senzorja)} / 1024 \text{ (možnih vzorcev)} = 0,488$ kg.

2.4 ZAHTEVE NOVEGA SISTEMA

Pri pregledu naprav ugotavljamo, da so obstoječe rešitve cenovno neugodne za povprečne atlete, ki želijo meriti napredek vadbe udarcev borilnih veščin. Nobena naprava nima možnosti brezžične povezave s pametnim telefonom ali tabličnim računalnikom. Želimo si cenovno ugoden sistem, ki bi omogočal atletom merjenje lastnosti udarca, na katere lahko s treningom najboljše vpliva, to sta hitrost in energija udarca. Podatke o udarcu bi naprava brezžično posredovala pametnemu telefonu ali tabličnemu računalniku, z možnostjo pridobiti podatke celotnega poteka sile udarca. Pri vzorčenju sile pri udarcu je pomemben čas vzorčenja, ker si želimo čim bolj natančen potek sile. Sistem mora omogočati merjenje lastnosti ročnih in nožnih udarcev, zato mora imeti ustrezen maksimalni obseg sile udarcev.

2.5 PREDLOG NOVEGA SISTEMA

Predlagamo torej lastno napravo, ki bo cenovno ugodna in bo omogočala brezžično komunikacijo s pametnim telefonom. Fizikalni količini, ki ju želimo z napravo meriti, sta največja sila in energija udarca [12]. Slika 11 prikazuje komponentni diagram naprave za merjenje sile udarcev borilnih veščin. Sestavljena je iz treh komponent: senzorja z ojačevalnikom, merilno-komunikacijske naprave in odjemalca z uporabniškim vmesnikom.



Slika 11: Komponentni diagram predlagane rešitve

Senzor z ojačevalnikom zazna silo udarca in jo pretvori v električni signal. Signal nato pošlje merilno-komunikacijski napravi, ki električni signal vzorči v vrednosti sile in ga pošlje prek brezžične komunikacije Bluetooth odjemalcu z uporabniškim vmesnikom. Uporabniški

vmesnik prikaže različne povzetke iz vrednosti, kot so: silo, energijo, hitrost, najmočnejši udarec, povprečje serije udarcev, število udarcev in število udarcev na minuto.

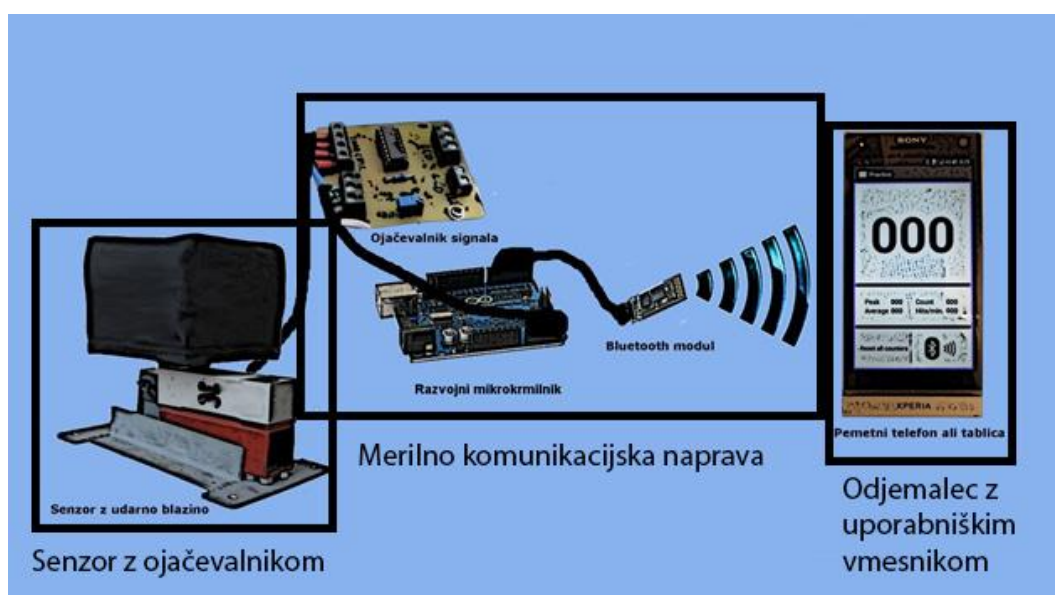
Po komunikacijskem kanalu od merilno komunikacijske naprave do sprejemnika pošiljamo zaporedje meritev. Vsaka meritev udarca je zapisana kot niz sekvence celoštevilskih vrednosti, ki so med seboj ločene z rezerviranim simbolom.

3 NAČRTOVANJE SISTEMA

Zamislili smo si sistem, ki uporabniku omogoča merjenje sile udarcev z uporabo cenovno ugodnih elementov in prikaz rezultatov na pametnem telefonu ali tabličnem računalniku, ki ga ima že skoraj vsak uporabnik doma. Slika 12 prikazuje uporabljene elemente in povezave med njimi.

Temeljne komponente naprave:

- senzor z ojačevalnikom,
- merilno-komunikacijska naprava,
- odjemalec z uporabniškim vmesnikom.



Slika 12: Načrt naprave

3.1 SENZOR Z OJAČEVALNIKOM

Senzor z ojačevalnikom pretvori silo izvedenega udarca v električni signal take oblike, da ga je mogoče vzorčiti z merilno-komunikacijsko napravo. Sestavljen je iz senzorja in namensko izdelanega ojačevalnika signala.

3.1.1 Senzor obremenitve

Senzor obremenitve je vpet med kovinsko konstrukcijo in oblazinjeno udarno površino, kot prikazuje Slika 13. Kovinska konstrukcija omogoča pritrditev naprave na steno. Oblazinjena udarna površina je sestavljena iz kovinske plošče in več slojev oblazinjenja, tako da omogoča udarjanje s pestjo ali nogo. Slika 13 prikazuje senzor ali pretvornik obremenitve

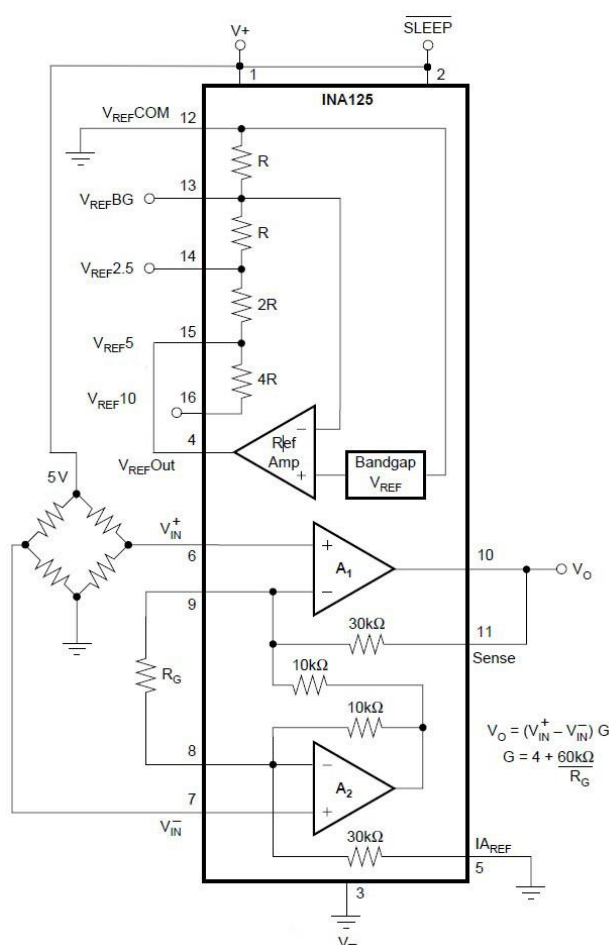
eno točkovne izvedbe, ki pretvori silo oziroma težo v električni signal. Pri izbiri senzorja je pomembna največja obremenitev senzorja, da ne bi prišlo do preobremenitve ali poškodbe senzorja pri udarcih. Za realizacijo naprave za merjenje sile udarcev borilnih veščin bomo uporabili senzor, ki ima največjo dopustno obremenitev 500 kg.



Slika 13: Senzor obremenitve eno točkovna izvedba do 500 kg (vir: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/single-point-load-cell-aluminum-15824-6774165.jpg)

3.1.2 Ojačevalnik razlike napetosti

Namensko vezje ojačevalnik razlike napetosti služi ojačenju razlike napetosti iz Wheatstone-ovega mostiča, ki je del senzorja obremenitve. Sestavljen je iz integriranega ojačevalnika INA 125P in nastavljivega upora R_{gain} , s tem lahko reguliramo ojačenje. Tako ojačano napetost lahko Arduino vzorči z analogno/digitalnim (AD) pretvornikom. Shema priklopa senzorja obremenitve in ojačevalnika prikazuje Slika 14. Ojačevalnik (priključek 1) in senzor obremenitve sta napajana s priključka Arduina z napetostjo 5 V. Na napajalno napetost je priključen tudi priključek \overline{SLEEP} , ki drži ojačevalnik v aktivnem stanju. Ozemljitev senzorja in ojačevalnika poteka prek merilno-komunikacijske naprave, ki temelji na mini računalniku iz družine Arduino. Ojačan signal iz ojačevalnika (priključka 10 in 11) merimo na analognem vhodnem priključku merilno-komunikacijske naprave.



Slika 14: Notranja shema ojačevalnika INA 125 (vir: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>)

3.2 MERILNO-KOMUNIKACIJSKA NAPRAVA

Merilno-komunikacijska naprava vzorči signal senzorja z ojačevalnikom v berljivo vrednost in jo posreduje odjemalcu z uporabniškim vmesnikom. Sestavljena je iz merilnega vezja (merilnik) in komunikacijskega modula Bluetooth.

3.2.1 Merilnik

Merilnik vzorči signal, pridobljen s senzorja, z ojačevalnikom in rezultate pošlje prek komunikacijskega modula Bluetooth odjemalcu. Za potrebe naloge smo izbrali Arduino mikrokontroler, ker je odprtokodna razvojna platforma, namenjena izdelavi multidisciplinarnih prototipnih namenskih programov. Programska oprema je sestavljena iz urejevalnika, prevajalnika in zagonskega nalagalnika, ki se izvaja na mikrokontroler [15]. Vzorčenje in shranjevanje vrednosti opravi mikrokontroler Arduino, ki jih po končanem udarcu pošlje brezžično prek modula Bluetooth pametnemu telefonu.

3.2.1.1 Arduino Uno

Arduino Uno je odprtokodna matična plošča z nameščenim ATmega328 mikrokrmilnikom. Ima 14 digitalnih vhodov ali izhodov, od katerih jih 6 lahko deluje kot analogni izhod v obliki signala pulzno širinske modulacije (ang. Pulse Width Modulation, PWM), 6 analognih vhodov, 16 MHz oscilator, USB in napajalno povezavo, ICSP priključek in gumb za resetiranje. Slika 15 prikazuje izgled, Tabela 2 pa prikazuje specifikacije razvojne ploščice Arduino Uno z mikrokrmilnikom ATmega328 [3].



Slika 15: Arduino Uno razvojna ploščica (vir: <https://cdn.sparkfun.com//assets/parts/6/3/4/3/11021b-01.jpg>)

Tabela 2: Specifikacije Arduino Uno (vir: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>)

Mikrokrmilnik Arduino Uno s procesorjem ATmega328	
Delovna napetost	5 V
Napajalna napetost	7–12 V
Napajalna napetost (mejna)	6–20 V
Digitalni vhodno/izhodni priključki	14 (od teh 6 s PWM izhodom)
Analogni vhodni priključki	6
Enosmerni tok na vhodno/izhodni priključek	40 mA

Enosmerni tok na 3,3 V priključku	50 mA
Bliskovni pomnilnik	32 KB (ATmega328) od tega 0.5 KB uporablja zaganjalnik
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Hitrost ure	16 MHz
Dolžina	68,6 mm
Širina	53,4 mm
Teža	25 g

Napajanje

Razvojno ploščo lahko napajamo prek priključka USB ali z zunanjim napajalnikom. Vir napajanja se izbere samodejno. Napajalni konektor za zunanje napajanje je velikosti 2,1 mm, ki je lahko priključen na baterijo ali napajalnik. Vhodna napetost je lahko po specifikacijah od 6 V do 20 V, čeprav je priporočljiva od 7 V do 12 V, da ne bi prišlo do pregrevanja regulatorja in s tem do okvar vezja [3].

Napajalni priključki so:

1. **VIN**. Vhodna napetost za napajanje plošče.
2. **5V**. Izhodna napetost, ki je regulirana na 5 V in jo lahko uporabimo za napajanje dodatno priključenih modulov.
3. **3V3**. Izhodna napetost, ki je regulirana na 3,3 V in jo lahko uporabimo za napajanje dodatno priključenih modulov. Največji dopusten tok je 50 mA.

Pomnilnik

ATmega328 mikrokontroler ima 32 KB bliskovnega pomnilnika (Flash RAM), od tega uporablja nalagalnik 0,5 KB. Poleg tega ima tudi 2 KB statičnega pomnilnika (SRAM) in 2 KB zbrisljivega programljivega bralnega pomnilnika (EEPROM). Pisanje in branje iz EEPROM-a je mogoče z uporabo knjižnice EEPROM library [3].

Komunikacija

Arduino ima možnost komunikacije z računalnikom ali drugim mikrokontrolerom. ATmega328 uporablja UART TTL (5 V) serijsko komunikacijo, ki poteka prek digitalnih priključkov 0 (Rx) in 1 (Tx). Programska oprema ATmega16U2, nameščena na plošči, komunicira z računalnikom prek vmesnika USB, ki deluje kot virtualna serijska vrata, zato

niso potrebni zunanji gonilniki. Z uporabo SoftwareSerial knjižnice je mogoča komunikacija tudi prek ostalih digitalnih priključkov [3].

3.2.2 Modul Bluetooth

Na Arduino je mogoče priključiti veliko vrst senzorjev, razširitvenih modulov in komunikacijskih modulov. Za pošiljanje izmerjenih vrednosti prek Bluetooth-a na telefon smo izbrali modul Bluetooth HC-06, ki ga prikazuje Slika 16. Izbrali smo ga, ker je HC-06 modul enostaven za uporabo in omogoča vse funkcionalnosti povezave Bluetooth.



Slika 16: Modul Bluetooth za Arduino (vir: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRDvhFd9t2b153YgawBateRE6b4CYqoZhkJ5zYUo3Zqcvl8N7i1g>)

3.3 ODJEMALEC Z UPORABNIŠKIM VMESNIKOM

Odjemalec z uporabniškim vmesnikom prejme podatke o udarcu, ki jih pošlje merilno-komunikacijska naprava. Iz prejetih podatkov povzame rezultate udarca ali serije udarcev in jih prikaže atletu. Sestavljen je iz odjemalca in uporabniškega vmesnika.

3.3.1 Odjemalec

Ko atlet izvede udarec, merilno-komunikacijska naprava pošlje podatke o udarcu prek povezave Bluetooth odjemalcu. Odjemalec skrbi za nadzor modula Bluetooth na prenosni napravi in pravilno interpretiranje prejetih podatkov, ki jih nato prikaže uporabniški vmesnik.

3.3.2 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik odjemalca prikaže atletu podatke o največji sili udarca, energiji, hitrosti, največji sili udarca iz serije udarcev, povprečni sili serije udarcev, številu udarcev in številu udarcev na minuto. Slika 17 prikazuje izgled uporabniškega vmesnika. Gumb Ponastavi vse vrednosti ponastavi rezultate na privzete vrednosti 0. Če je vzpostavljena povezava Bluetooth med odjemalcem in merilno-komunikacijsko napravo odjemalca z

uporabniškim vmesnikom, povezanim z modulom Bluetooth merilno-komunikacijske naprave, se simbol Bluetooth obarva modro v nasprotnem primeru pa sivo.



Slika 17: Načrt namenskega programa za prikazovanje rezultatov udarcev

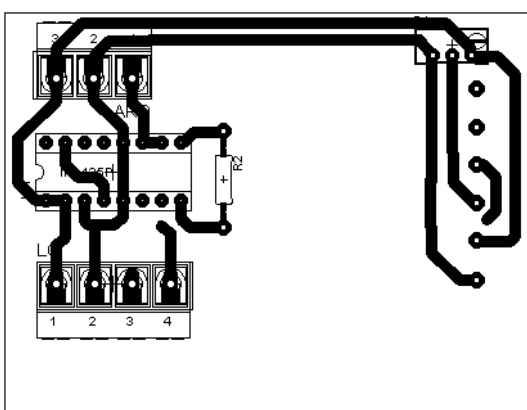
4 IZVEDBA

Poglavje vsebuje praktično izvedbo naprave za merjenje udarcev borilnih veščin na osnovi načrtovanja sistema.

4.1 SENZOR Z OJAČEVALNIKOM

Senzor z ojačevalnikom je sestavljen iz kovinske konstrukcije, sensorja obremenitve in ojačevalnika signala, ki ga lahko namestimo na steno. Kovinska konstrukcija, v katero je vpet senzor, je skupaj zvarjena iz enakokrakih kotnih profilov 50 mm * 50 mm, debeline 4 mm, ploščatega železa 50 mm * 4 mm in kvadratastega profila 50 mm * 50 mm, debeline 3 mm. Oblazinjena udarna površina je sestavljena iz kovinske plošče velikosti 150 mm * 150 mm, debeline 4 mm in 5 slojev poliuretanske pene, odporne na mehanske obremenitve. Senzor je privijačen med kovinsko konstrukcijo in ploščo udarne površine z osmimi vijaki M8.

Izdelali smo namensko vezje, ki ga prikazuje Slika 18. Sestavljeno je iz tiskanega vezja, integriranega ojačevalnika in nastavljivega upora. Na tiskano vezje so nameščeni ojačevalnik INA125P, upor in priključki, na katere sta priključena senzor obremenitve in merilno-komunikacijska naprava. Upor R_{gain} služi regulaciji ojačenja. Izbrali smo upor 150Ω z 1 % tolerance po formuli $G = 4 + \frac{60k\Omega}{R_{gain}}$ [5]. G je ojačenje signala v enoti volt na volt (V/V). V našem primeru je $G = 404$ V/V, kar pomeni 404 kratno ojačenje izhodnega signala sensorja obremenitve, tako smo dobili napetost med 0 V in 5 V na izhodu ojačevalnika razlike napetosti. Več o sensorju obremenitve je opisano v poglavju 2.1.1.



Slika 18: Shema izdelanega vezja za ojačevalnik INA125P

4.2 MERILNO-KOMUNIKACIJSKA NAPRAVA

V nadaljevanju je opisana implementacija merilnika in modula Bluetooth. Izdelali smo dva programa za Arduino. Prvi služi kalibraciji merilnika, drugi pa vzorčenju in pošiljanju podatkov o udarcu odjemalcu z uporabniškim vmesnikom.

4.2.1 Merilnik

Izhodna napetost senzorja z ojačevalnikom je med 0 V in 5 V, odvisno od obremenitve senzorja. Merilnik mora biti tako kalibriran, da to napetost vzorči v digitalen zapis vrednosti med 0 in 1024. Za vsak udarec si želimo čim večje število takih meritev, da dobimo natančen potek sile udarca.

4.2.1.1 Kalibracija senzorja z ojačevalnikom in merilnikom

Najprej senzor postavimo v vodoraven položaj. Za kalibracijo potrebujemo dve uteži s poznano težo oziroma eno poznano utež, če predpostavimo, da je prva kar razbremenjen senzor. V našem primeru smo izbrali utež 102 kg. Najprej vpišemo v spodnjo kodo 0 in 102 za spremenljivki *utezLazja* in *utezTezja*. Pri razbremenjenem senzorju poženemo spodnjo kodo na Arduino. Na serijskem komunikacijskem modulu, ki je del razvojnega okolja za Arduino, se izpiše vrednost poleg napisa »Vrednost na analognem priključku«. To vrednost zapišemo v spremenljivko izvirne kode *analogniLazji*. Nato postavimo utež na primer 102 kg na senzor obremenitve in ravno tako prek serijskega vmesnika odčitamo in zapišemo vrednost za spremenljivko *analogniTezji*. Težo uteži, postavljeno na senzor, dobimo z uporabo funkcije *map*, ki izračuna interpolacijo vrednosti spremenljivk *analogniLazji*, *analogniTezji*, *utezLazja*, *utezTezja* in odčitane vrednosti na analognem priključku *analognaVrednost*.

```
static long utezLazja = 0;
static int analogniLazji = 21;
static long utezTezja = 102;
static int analogniTezji = 182;
int analogniPrikljucek = 5;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  int analognaVrednost = analogRead(analogniPrikljucek);
  int tezaUtezi = map(analognaVrednost, analogniLazji, analogniTezji, utezLazja,
    utezTezja);
```

```
Serial.print("Vrednost na analognem prikljucku: ");
Serial.println(analognaVrednost);
Serial.print("Interpolirana teza v Kg: ");Serial.println(tezaUtezi);
Serial.println(" ");
delay(1000);
}
```

4.2.1.2 Zajem vrednosti udarca in pošiljanje preko Bluetooth-a

Kalibracijske podatke vnesemo v konfiguracijski del izvorne kode. Začasno shranjevanje meritev udarca rezerviramo v pomnilniku Arduina tabelo *tabelaVrednostiUdarca*, ki lahko hrani 512 meritev tipa Integer. Spremenljivka tipa Integer hrani celoštevilsko vrednost in bodo tudi rezultati natančni na en kilogram. Shranjevanje meritev se začne, ko zajeta vrednost doseže vrednost spremenljivke *udarecVrednostZacetka*, konča pa, ko je zajeta vrednost manjša ali enaka spremenljivki *udarecVrednostKonca*, oziroma ko doseže spremenljivka *stevecVrednosti* vrednost *VELIKOST_TABELE*. Dve ločeni spremenljivki za začetek in konec snemanja udarca nam omogočata ločene nastavitve, tako lahko nastavimo začetek pri vrednosti 3 in konec pri vrednosti 0. V naslednjem koraku funkcija *posljiPodatkePrekoCOM()* pošlje vrednosti iz tabele *tabelaVrednostiUdarca* in vrednost spremenljivke *udarecTrajanje* prek modula Bluetooth.

Iz testiranja naprave je razvidno, da ima razbremenjena naprava odstopanja +/- 1 kg, kar pomeni tudi negativno vzorčeno vrednost. V namenskem programu smo negativna števila zanemarili in zato dodali v kodo Arduina vrstico *if(zacasnaVrednost<0)zacasnaVrednost=0*, da v primeru negativnega števila privzamemo število 0.

Po komunikacijskem kanalu od merilno-komunikacijske naprave do odjemalca z uporabniškim vmesnikom pošiljamo zaporedje vseh meritev. Vsaka meritev sile je zapisana kot celoštevilaska vrednost in podana v kilogramih. Meritve so ločene z rezerviranim simbolom, ki je določen v *udarecOznakaDelimiter*. Zadnja vrednost v nizu predstavlja podatek o času trajanja udarca od začetka do konca glede na nastavljeni mejni vrednosti v ms in je ločena z znakom spremenljivke *udarecOznakaTrajanje*. Hitrost vzorčenja ni vnaprej znana in jo lahko izračunamo naknadno iz podatka o trajanju celotne sekvence. Niz zaključimo z rezerviranim simbolom, določenim v spremenljivki *udarecOznakaKonec*.

Na ta način zna namenski program odjemalcu z uporabniškim vmesnikom razbrati zajete vrednosti udarca, čas trajanja, kje se udarec konča in kje se začne naslednji.

```
11#13#17#20#23#...X#... 3#2#2#1#0#42%!
```

Niz je primer posnetega udarca z znaki za označevanje konca vrednosti (#), konca trajanja udarca (%) in konca niza vrednosti posameznega udarca (!).

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define VELIKOST_TABELE 512
SoftwareSerial btSerial(10, 11);
static long utezLazja = 0;
static int analogniLazji = 21;
static long utezTezja = 102;
static int analogniTezji = 182;
int analogniPrikljucek = 5; //številka analognih vrat

int udarecVrednostZacetka=3;
int udarecVrednostKonca=0;

String udarecOznakaKonec="!";
String udarecOznakaDelimiter="#";
String udarecOznakaTrajanje="%";

int tabelaVrednostiUdarca[VELIKOST_TABELE];
long udarecTrajanje=0;
int stevecVrednosti=0;

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  btSerial.begin(115200);
}

void loop(){
  if(vrniVzorcenovrednost()>=udarecVrednostZacetka){
    posnemiUdarec();
    posljiPodatkePrekoCOM();
    delay(10);
  }
}

int vrniVzorcenovrednost(){
  int analognavrednost = analogRead(analogniPrikljucek);
  return map(analognavrednost, analogniLazji, analogniTezji, utezLazja, utezTezja);
}

void posnemiUdarec(){
  stevecVrednosti=0;
  long trenutniCasMs=millis();
  for(int i=0; i<VELIKOST_TABELE; i++){
    int zacasnavrednost=vrniVzorcenovrednost();
    if(zacasnavrednost<0)zacasnavrednost=0;
    tabelaVrednostiUdarca[i]=zacasnavrednost;
    stevecVrednosti++;
    if(zacasnavrednost<=udarecVrednostKonca) break;
  }
  udarecTrajanje=millis()-trenutniCasMs;
```

```
}  
  
void posljiPodatkePrekoCOM(){  
  for(int i=0; i<stevecVrednosti; i++){  
    Serial.print(String(tabelaVrednostiUdarca[i])+udarecOznakaDelimiter);  
  }  
  Serial.print(String(udarecTrajanje)+udarecOznakaTrajanje);  
  Serial.print(udarecOznakaKonca);  
}
```

4.2.2 Modul Bluetooth

Modul Bluetooth je z merilnikom povezan s kablom, povezuje štiri priključne sponke:

- **VCC.** Napajanje modula 3,3 V.
- **GND.** Ozemljitev modula.
- **TXD.** Pošiljanje podatkov.
- **RXD.** Sprejemanje podatkov.

Priključka TXD in RXD sta namenjena za serijsko povezavo, ki omogoča pošiljanje in sprejemanje podatkov med Arduino-m in modulom Bluetooth. Priklopimo jih tako, da povežemo priključka Arduino TXD in HC-06 RXD ter priključka Arduino RXD in HC-06 TXD [8]. Treba je nastaviti hitrost komunikacije med merilnikom in modulom Bluetooth. Privzeta vrednost je 9600 bps, vendar naš modul podpira hitrost tudi do 115200 bps. Hitrost smo nastavili na najvišjo možno, da čimbolj skrajšamo čas pošiljanja podatkov o udarcu odjemalcu, saj med pošiljanjem merilnik ne meri sile udarca.

S kodo na Arduino, ki je opisana v poglavju 4.2.1, smo dosegli frekvenco vzorčenja 512 meritev v 87 ms. Vzorčenje udarca se lahko prej konča, če pade zajeta vrednost pod vrednost, ki je zapisana v spremenljivki udarecVrednostKonca.

4.3 ODJEMALEC Z UPORABNIŠKIM VMESNIKOM

Odjemalec je namensko izdelan program za prenosne naprave, ki imajo možnost povezave Bluetooth, po kateri prejmejo podatke o udarcu merilno-komunikacijske naprave. V nalogi smo izbrali prenosne naprave s sistemom Android, ker je največ uporabljen, je odprtokoden, omogoča cenejše in lažje razvijanje namenskih programov. Po svetu poganja ta operacijski sistem že več kot dve milijardi naprav [14]. Za izdelavo namenskega programa smo uporabili namensko razvojno okolje Android Studio 2.3.3 in privzet programski jezik Java, ker ima uradno največjo podporo in je najboljšo dokumentiran.

4.3.1 Odjemalec za prenosne naprave z operacijskim sistemom Android

povezava Bluetooth sprejema podatke udarca, ki jih pošlje modul Bluetooth Arduina. Sprejemanje mora biti implementirano kot ločen proces tako, da glavni namenski program ne čaka na podatke, ker bi tako imeli uporabniki občutek, da je zamrznila. Vse knjižnice za delo z vmesnikom Bluetooth so vključene v *android.bluetooth* paketu.

Programski razred `BluetoothAdapter`

Predstavlja lokalni adapter Bluetooth in vstopno točko za vse interakcije. Z njim lahko iščemo druge naprave Bluetooth, poizvedujemo po seznamu povezanih naprav [1].

Programski razred `BluetoothDevice`

Predstavlja dotično povezano napravo. Prek tega modula lahko pošljemo zahtevo za povezavo z določeno napravo z uporabo *BluetoothSocket* ali poizvedbo o njenem imenu, naslovu, razredu in statusu [1].

Programski razred `BluetoothSocket`

Predstavlja vmesnik za povezavo Bluetooth, podobno kot povezava TCP. Omogoča pošiljanje in prejemanje podatkov z drugo napravo z uporabo pretoka podatkov med vhodnim in izhodnim priključkom naprav [1].

Pravice za uporabo modula Bluetooth

V primeru, ko želimo, da naš namenski program uporablja modul Bluetooth prenosne naprave, na kateri je nameščena, moramo to deklarirati. Pravice potrebujemo za vse Bluetooth zahteve po komunikaciji, sprejemanje zahtev po komunikaciji in prenašanje podatkov. Spodnji primer prikazuje del kode za zahtevo pravic z uporabo *BLUETOOTH* ukaza.

```
<manifest ... >
  <uses-permission android:name="android.permission.BLUETOOTH" />
  ...
</manifest>
```

Če je potrebno, da naš namenski program odkriva naprave ali spreminja nastavitve Bluetooth, moramo dodatno vstaviti tudi ukaz *BLUETOOTH_ADMIN* pravice [14].

Bluetooth podpora s strani naprave in preverjanje ali je vklopljen

Namenski program mora najprej preveriti, če je Bluetooth na napravi podprt, ker bi v nasprotnem primeru prišlo do zaustavitve. Če je podprt in ni omogočen, lahko zahtevamo, da uporabnik Bluetooth omogoči brez izhoda iz namenskega programa. Nastavitev Bluetooth-a izvedemo v dveh korakih z uporabo razreda *BluetoothAdapter* [14].

Razred *BluetoothAdapter* je osnova za vse operacije Bluetooth. Ta vsebuje statično funkcijo *getDefaultAdapter()*, ki vrne objekt, ki predstavlja modul Bluetooth naprave, ta pa je samo eden na napravi. Če naprava Bluetooth-a ne podpira, vrne funkcija *null* vrednost.

```
BluetoothAdapter mBluetoothAdapter = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();
if (mBluetoothAdapter == null) { // Naprava ne podpira Bluetooth-a
}
}
```

Preveriti moramo, če ima naprava vklopljen Bluetooth. Klic funkcije *isEnabled()* vrne vrednost *true*, če je vklopljen, in *false*, če ni. V primeru, da ni vklopljen, lahko zahtevamo, da ga uporabnik vklopi. Uporabniku se odpre pogovorno okno in ga vpraša, če dovoli vklop Bluetooth-a.

```
if(!mBluetoothAdapter.isEnabled()){
    Intent enableBluetooth = new Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
    activity.startActivityForResult(enableBluetooth, 0);
}
}
```

Poizvedovanje po napravah Bluetooth

Najprej moramo preveriti, če je zelena naprava prisotna. To naredimo tako, da najprej kličemo funkcijo *getBondedDevices()*, ki vrne vse razpoložljive naprave v spremenljivki tipa *BluetoothDevice*. Nato preverimo, če je sploh kakšna naprava prisotna, če je, potem iščemo napravo z nastavljenim imenom. V našem primeru je to »HC-06«, ki jo je sicer možno tudi spremeniti. Ko napravo najdemo, si njen identifikator shranimo v spremenljivko *mmDevice* tipa *BluetoothDevice* [1].

```
Set<BluetoothDevice> pairedDevices = mBluetoothAdapter.getBondedDevices();
if(pairedDevices.size() > 0){
    for(BluetoothDevice device : pairedDevices){
        if(device.getName().equals("HC-06")){ //Ime naprave
            mmDevice = device;
            break;
        }
    }
}
}
```

Povezovanje kot gostitelj na Bluetooth modul Arduina

Vzpostaviti moramo povezavo z želeno napravo na način, da je modul Arduina nadrejena naprava, naša naprava pa podrejena, ker Arduino pošilja podatke o udarcu naši napravi. Povezavo vzpostavimo z ukazom razreda *BluetoothDevice* *createRfcommSocketToServiceRecord(uuid)*, ki vrne povezavo tipa *BluetoothSocket*. Poslušanje povezave začnemo z ukazom *connect()*. Pomembna je spremenljivka *uuid*, ki predstavlja univerzalni edinstveni identifikator (ang. universally unique identifier, UUID) za storitev serijske povezave [1].

```
UUID uuid = UUID.fromString("00001101-0000-1000-8000-00805f9b34fb");
//Standardni ID za servis serijske povezave
try {
    mmSocket = mmDevice.createRfcommSocketToServiceRecord(uuid);
} catch (IOException e) {
    e.printStackTrace();
}
try {
    mmSocket.connect();
    coThread=new ConnectedThread(mmSocket);
    coThread.start();
} catch (IOException e) {
    e.printStackTrace();
}
```

Upravljanje povezave

Ko smo uspešno povezali naprave prek razreda *BluetoothSocket*, lahko začnemo s prejetjem podatkov. Arbitrarno pošiljanje podatkov se izvede v dveh korakih:

Iz razreda *BluetoothSocket* pridobimo spremenljivki tipa *InputStream* in *OutputStream*, ki predstavljata vira vrednosti in ju lahko uporabimo z uporabo funkcij *getInputStream()* in *getOutputStream()*.

Sedaj lahko beremo in pišemo vrednosti v različnih formatih zapisov. V našem primeru uporabljamo vrednosti tipa *byte* z uporabo funkcij *read(byte[])* in *write(byte[])*.

Da bi lahko niti komunicirale med sabo, nam nekoliko olajša razred *Handler*, ki skrbi, da lahko niti oziroma procesi komunicirajo med sabo. Omogoča, da si niti med seboj izmenjujejo spremenljivke in objekte. Prva nit prebere podatke iz trenutnega pomnilnika in jih pošlje drugi niti kot sporočilo. To naredimo z ukazom *mHandler.obtainMessage(MESSAGE_READ, bytes, -1, buffer).sendToTarget()*. Prvi parameter je ukaz, da moramo sporočilo brati, drugi pove, koliko bitov vsebuje sporočilo, tretji je prazen parameter in četrti vsebuje sporočilo [13].

Funkcijo *cancel()* potrebujemo, da lahko izklopimo branje podatkov, ki pridejo prek povezave Bluetooth [1].

```

private class ConnectedThread extends Thread {
    private final BluetoothSocket mmSocket;
    private final InputStream mmInStream;
    private final OutputStream mmOutStream;
    public ConnectedThread(BluetoothSocket socket) {
        mmSocket = socket;
        InputStream tmpIn = null;
        OutputStream tmpOut = null;
        try {
            tmpIn = socket.getInputStream();
            tmpOut = socket.getOutputStream();
        } catch (IOException e) { }
        mmInStream = tmpIn;
        mmOutStream = tmpOut;
    }
    public void run() {
        byte[] buffer = new byte[1024];
        int bytes;
        while (true) {
            try {
                bytes = mmInStream.read(buffer);
                mHandler.obtainMessage(MESSAGE_READ, bytes, -1,buffer).sendToTarget();
            } catch (IOException e) {
                break;
            }
        }
    }

    public void write(byte[] bytes) {
        try {
            mmOutStream.write(bytes);
        } catch (IOException e) { }
    }

    public void cancel() {
        try {
            mmSocket.close();
        } catch (IOException e) { }
    }
}

```

Obdelava prejetih podatkov in upravljalca niti

Da bi preprečili neodzivnost uporabniškega vmesnika, medtem ko beremo ali pišemo podatke v Bluetooth modul, moramo ta opravila izvajati v ločeni niti. Niti se izvajajo ločeno in zato imajo ločene spremenljivke. Osnovni objekt za pošiljanje sporočil med nitmi je tipa *Message*. Ukaz *handleMessage* (*android.os.Message msg*) nam poda spremenljivko *msg*, ki vsebuje sporočilo, ki ga je poslal ukaz iz prejšnjega poglavja. Spremenljivka *msg* vsebuje v

našem primeru tekstovni niz udarca. Ker ni zagotovila, da hrani vrednosti celotnega udarca, preverimo, če vsebuje sporočilo znak za konec udarca. V primeru, da ga vsebuje, potem razdelimo niz na vrednosti, ki so ločene z znakom za konec vrednosti in pretvorimo v vrednosti tipa *Integer* ter jih shranimo v tabelo. Te podatke nato lahko obdelujemo in spreminjamo v uporabniškem grafičnem vmesniku [2].

```
mHandler=new Handler(){
    public void handleMessage(android.os.Message msg){
        switch(msg.what){
            case 1:
                byte[] readBuffer=(byte[])msg.obj;
                String strIncom=new String(readBuffer, 0, msg.arg1);
                strIncom=strIncom.replaceAll("-", "");
                strikeValuesBuffer+=strIncom;
                if(strikeValuesBuffer.contains(endOfHit)){
                    String[] strike=strikeValuesBuffer.split(endOfHit);
                    strikeValuesBuffer="";
                    String[] strikeParts=strike[0].split(intervalTime);
                    String[] strikeValuesString=strikeParts[0].split(endOfHitValue);
                    try{
                        strikeDuration=Integer.parseInt(strikeParts[6]);
                    }catch(NumberFormatException nfe){
                        nfe.printStackTrace();
                    }
                    int[] strikeValues=new int[strikeValuesString.length];
                    for(int j=0; j<strikeValuesString.length; j++){
                        if(strikeValuesString[j].equals(""))continue;
                        try{
                            int strikeValue=Integer.parseInt(strikeValuesString[j]);
                            if(strikeValue<0)strikeValue=0;
                            strikeValues[j]=strikeValue;
                        }catch(NumberFormatException nfe){
                            nfe.printStackTrace();
                        }
                    }
                    int currentMax=0;
                    double timeToMax=0;
                    int currentMaxPosition=0;
                    for(int k=0; k<strikeValues.length;k++){
                        if(strikeValues[k]>currentMax){
                            currentMax=strikeValues[k];
                            currentMaxPosition++;
                        }
                    }
                    timeToMax=(double)strikeDuration/strikeValues.length*currentMaxPosition;
                    currentMax=currentMax;
                }
            }
        }
    }
}
```

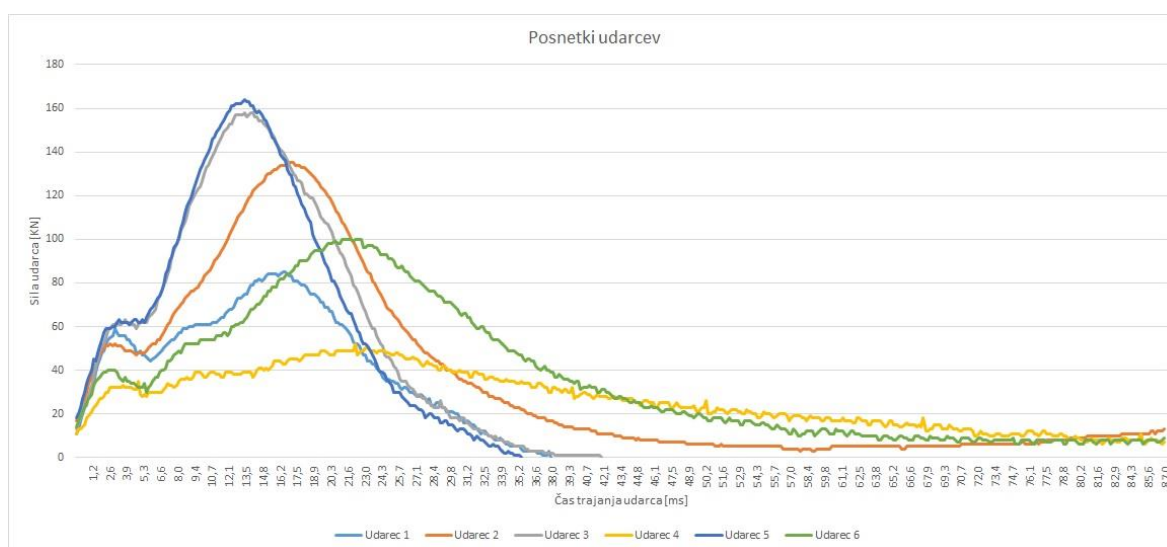
```

        hitValues.add(currentMax);
        tVHitForce.setText(String.valueOf(currentMax*9.8));
        tVHitEnergy.setText(String.valueOf(hitEnergy(currentMax,timeToMax)));
        tVHitVelocity.setText(String.valueOf(hitVelocity(currentMax,timeToMax)));
        tVPeak.setText(String.valueOf(peakValue()*9.8));
        tVAverage.setText(String.valueOf(averageValue()*9.8));
        tVCount.setText(String.valueOf(countValues()));
        if(!firsthit){
            firsthit=true;
            start=System.currentTimeMillis();
        }
        tVHitsMin.setText(String.valueOf(hitsPerMinute()));
    }
}
};

```

4.3.2 Merjenje lastnosti udarcev

Slika 19 prikazuje zajete vrednosti in čase trajanja udarcev. Različne krivulje predstavljajo različno močne udarce s pestjo v napravo. Opazimo lahko, da amplituda in čas, v katerem do nje pride, nista medsebojno odvisna, kar nas navede do tega, da se udarci razlikujejo po vsaj dveh pomembnih lastnostih, ki jih lahko merimo in ovrednotimo z našim merilnikom. Ker sta pri borilnih veščinah posebej pomembni lastnosti hitrost udarca (ki jo lahko s treningom izboljšujemo) in energija udarca (ki je povezana s posledicami udarca), se odločimo, da bomo na podlagi meritev ocenili omenjeni fizikalni količini. Za ocenjevanje vsake fizikalne količine uporabimo ločen model, kjer sta vhodna parametra amplituda in čas amplitude.



Slika 19: Graf posnetih udarcev

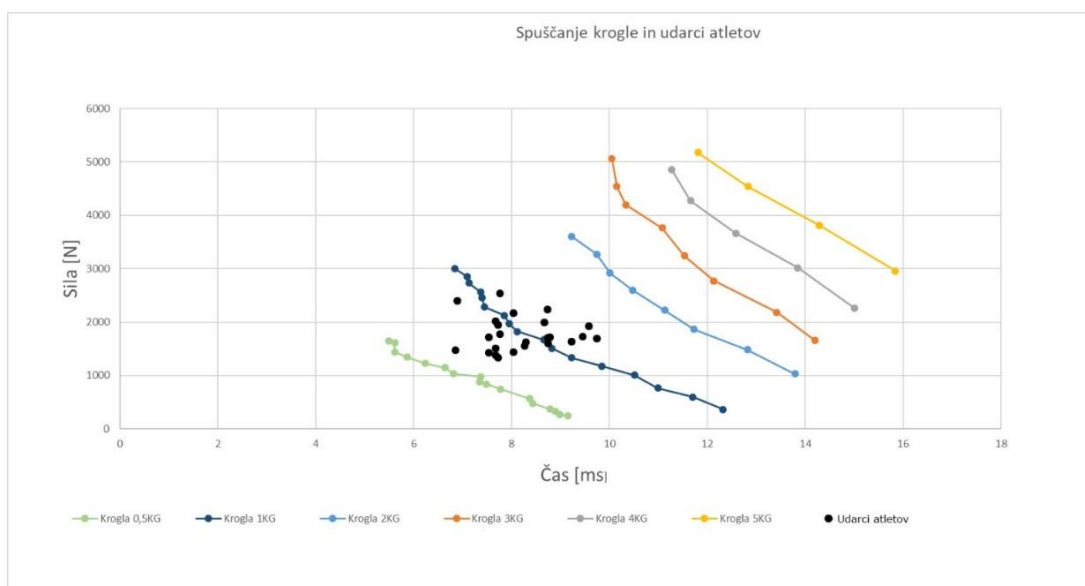
4.3.3 Izračun in prikaz energije in hitrosti udarca

Da uporabniku poleg najvišje sile lahko prikažemo tudi energijo in hitrost udarca, moramo zgraditi matematična modela, ki smo ju že navedli v poglavju 4.3.2. Za modeliranje potrebujemo podatke, ki povezujejo podatke meritev s fizikalnimi količinami, ki jih želimo ocenjevati. Potrebujemo meritve udarcev, za katere poznamo tako sproščeno energijo kot tudi hitrost. Tem zahtevam zadostijo podatki o metu objekta z znano maso iz znane višine. Pri tem vemo, da je energija enaka produktu mase, gravitacijskega pospeška in višine $Wp = mgh$, hitrost pa je odvisna le od višine spusta in gravitacijskega pospeška $v = \sqrt{2gh}$. Za to, da zagotovimo dovolj učnih podatkov in omogočimo kar najboljše modeliranje na področju realnih udarcev atletov, izberemo krogle različnih mas (0,5 kg, 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg in 5 kg) in jih spuščamo na senzor z različnih višin (0,6 m, 0,8 m, 1 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m, 1,8 m, 2 m, 2,2 m, 2,4 m, 2,6 m, 2,8 m, 3 m, 3,2 m, 3,4 m, 3,6 m in 3,7 m). Tabela 3 prikazuje podatke, ki smo jih uporabili za modeliranje, višino spusta, energijo, hitrost, amplitudo izmerjene sile in čas amplitude. Slika 20 prikazuje krivulje sile spuščanih krogel v odvisnosti od višine spusta. Točke v grafu predstavljajo resnične udarce različnih atletov. Razvidno je, da smo s spuščanjem krogel zajeli območje ročnih udarcev atletov, ki se nahaja med krivuljama krogel teže 0,5 kg in 2 kg.

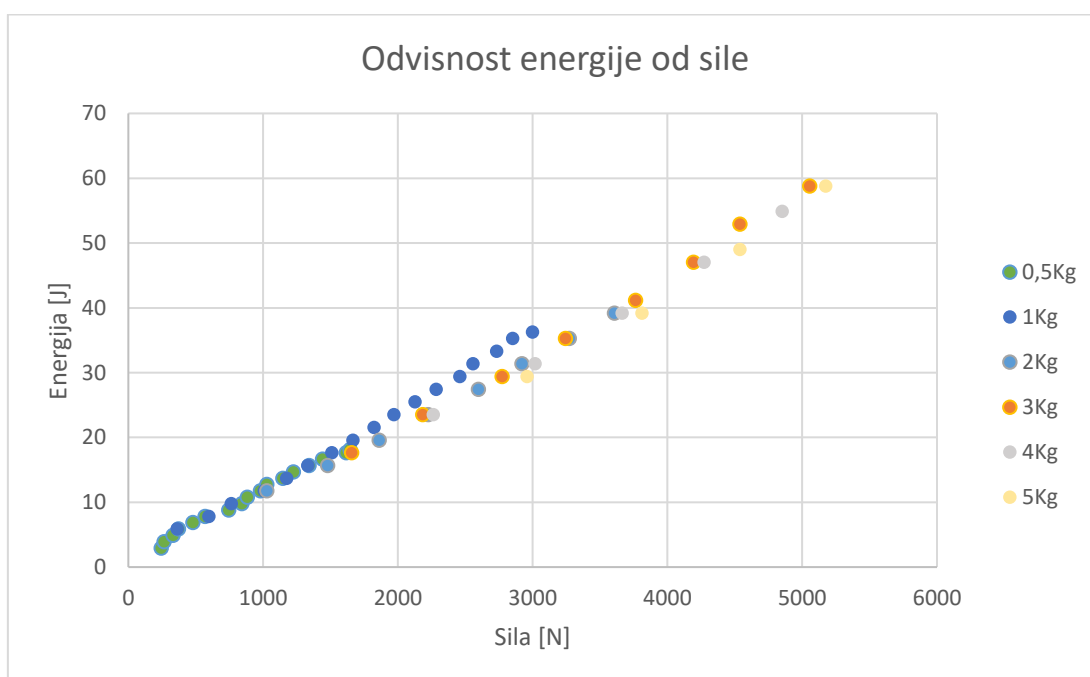
Tabela 3: Podatki, uporabljeni pri modeliranju

Teža [kg]	Višina spusta [m]	Energija [J]	Hitrost [m/s]	Amplituda izmerjene sile [K]	Čas amplitude
0,5	0,6	2,9	3,4	245	9,2
0,5	0,8	3,9	4,0	265	9,0
0,5	1,0	4,9	4,4	333	8,9
0,5	1,2	5,9	4,8	372	8,8
0,5	1,4	6,9	5,2	480	8,4
0,5	1,6	7,8	5,6	568	8,4
0,5	1,8	8,8	5,9	745	7,8
0,5	2,0	9,8	6,3	843	7,5
0,5	2,2	10,8	6,6	882	7,4
0,5	2,4	11,8	6,9	980	7,4
0,5	2,6	12,7	7,1	1029	6,8
0,5	2,8	13,7	7,4	1147	6,6
0,5	3,0	14,7	7,7	1225	6,2
0,5	3,2	15,7	7,9	1343	5,9
0,5	3,4	16,7	8,2	1441	5,6
0,5	3,6	17,6	8,4	1617	5,6
0,5	3,7	18,1	8,5	1646	5,5
1	0,6	5,9	3,4	363	12,3
1	0,8	7,8	4,0	598	11,7

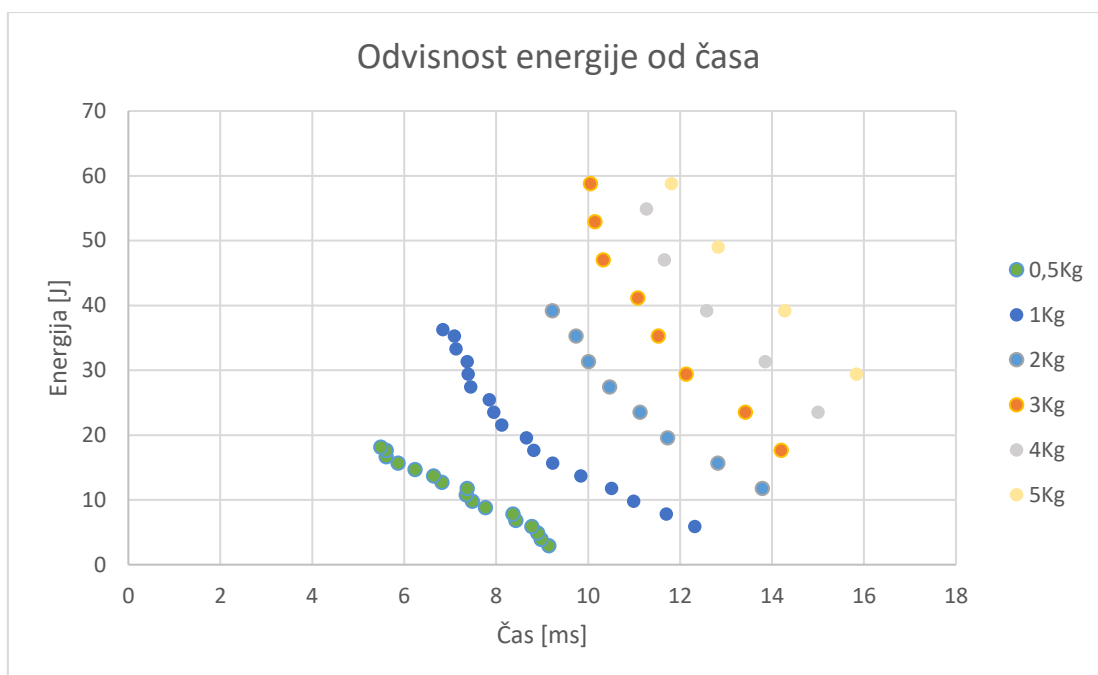
1	1,0	9,8	4,4	764	11,0
1	1,2	11,8	4,8	1009	10,5
1	1,4	13,7	5,2	1176	9,8
1	1,6	15,7	5,6	1333	9,2
1	1,8	17,6	5,9	1509	8,8
1	2,0	19,6	6,3	1666	8,7
1	2,2	21,6	6,6	1823	8,1
1	2,4	23,5	6,9	1970	8,0
1	2,6	25,5	7,1	2127	7,9
1	2,8	27,4	7,4	2283	7,5
1	3,0	29,4	7,7	2460	7,4
1	3,2	31,4	7,9	2558	7,4
1	3,4	33,3	8,2	2734	7,1
1	3,6	35,3	8,4	2852	7,1
1	3,7	36,3	8,5	2999	6,8
2	0,6	11,8	3,4	1029	13,8
2	0,8	15,7	4,0	1480	12,8
2	1,0	19,6	4,4	1862	11,7
2	1,2	23,5	4,8	2225	11,1
2	1,4	27,4	5,2	2597	10,5
2	1,6	31,4	5,6	2920	10,0
2	1,8	35,3	5,9	3273	9,7
2	2,0	39,2	6,3	3606	9,2
3	0,6	17,6	3,4	1656	14,2
3	0,8	23,5	4,0	2185	13,4
3	1,0	29,4	4,4	2773	12,1
3	1,2	35,3	4,8	3244	11,5
3	1,4	41,2	5,2	3763	11,1
3	1,6	47,0	5,6	4194	10,3
3	1,8	52,9	5,9	4537	10,2
3	2,0	58,8	6,3	5057	10,1
4	0,6	23,5	3,4	2264	15,0
4	0,8	31,4	4,0	3018	13,9
4	1,0	39,2	4,4	3665	12,6
4	1,2	47,0	4,8	4273	11,7
4	1,4	54,9	5,2	4851	11,3
5	0,6	29,4	3,4	2960	15,8
5	0,8	39,2	4,0	3812	14,3
5	1,0	49,0	4,4	4537	12,8
5	1,2	58,8	4,8	5174	11,8



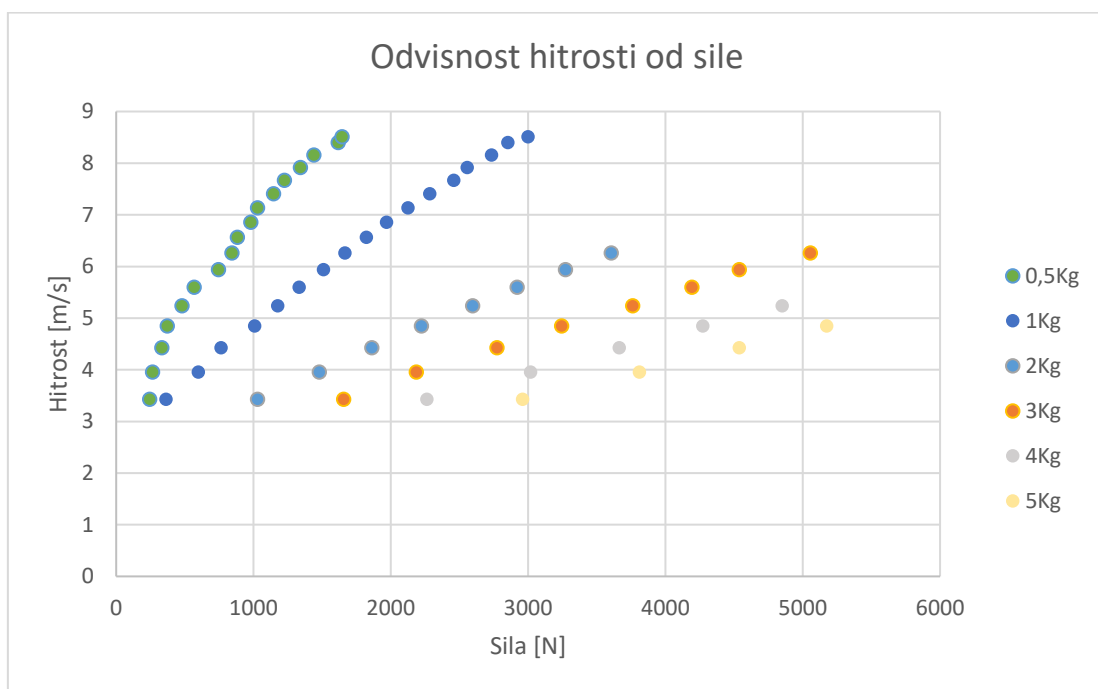
Slika 20: Prikaz odvisnosti sile in časa med spuščeni kovinskimi krogami in resničnimi udarci atletov



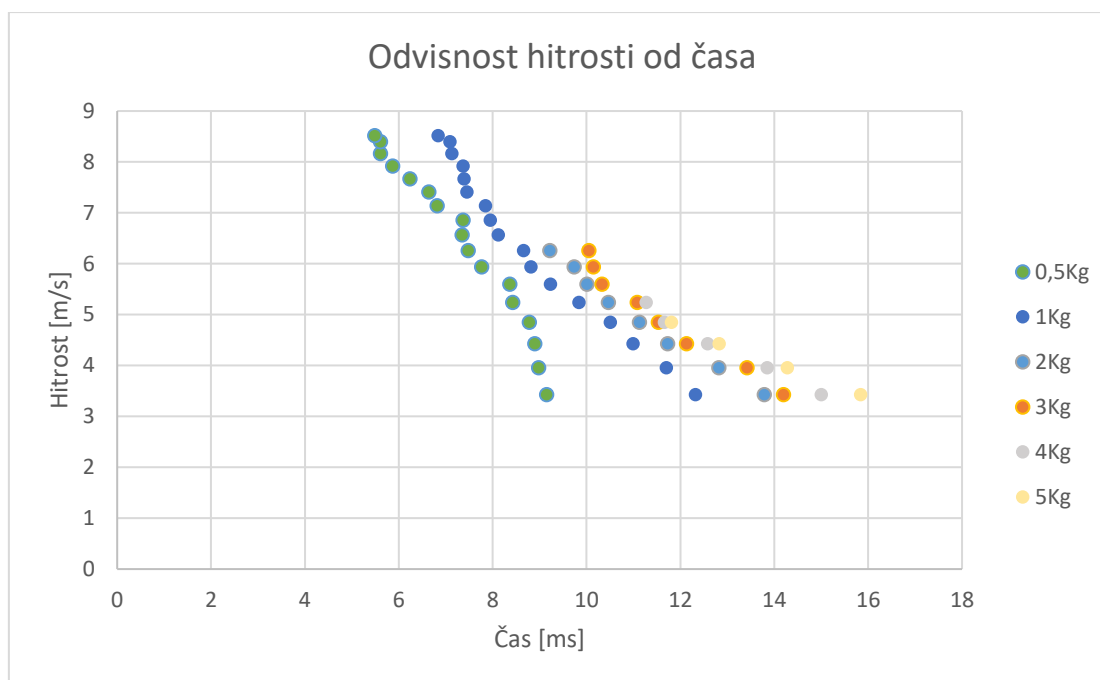
Slika 21: Energija v odvisnosti od najvišje sile, izmerjene pri udarcu



Slika 22: Energija v odvisnosti od časa, pri katerem smo izmerili najvišjo silo udarca



Slika 23: Hitrost v odvisnosti od najvišje sile, izmerjene pri udarcu



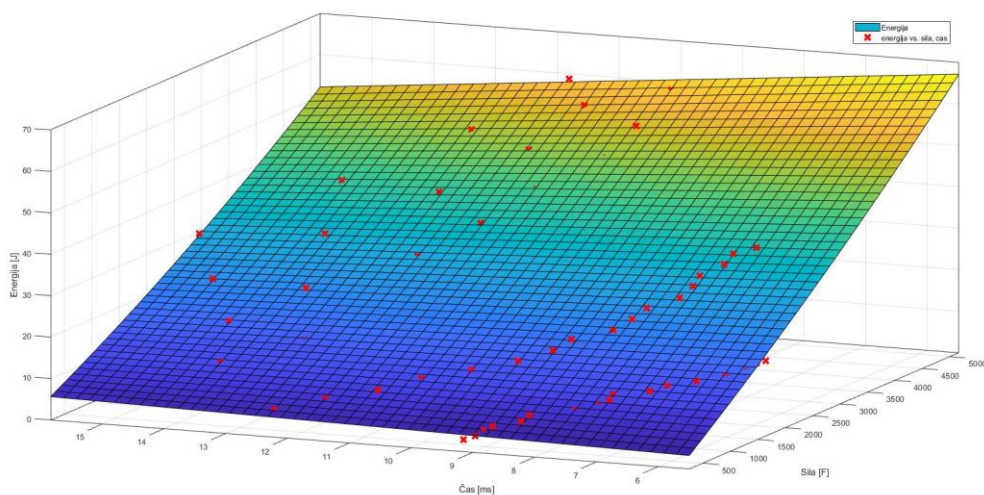
Slika 24: Hitrost v odvisnosti od časa, pri katerem smo izmerili najvišjo silo udarca

Na podlagi pridobljenih podatkov smo zgradili modela $Energija = f(Sila, Čas)$ in $Hitrost = f(Sila, Čas)$ po metodi najmanjših kvadratov, ki se najboljše prilegata energijam in hitrostim spuščeni kovinskih krogel različnih tež z določenih višin na napravo. Obema modeloma se dobro približata enačbi 2. reda s petimi parametri, enačba 1 za energijo in enačba 2 za hitrost. Sliki 23 in 24 prikazujeta model energije in model hitrosti, kako se enačbi prilegata ocenjenim vrednostim, pridobljenih iz podatkov spuščeni krogel.

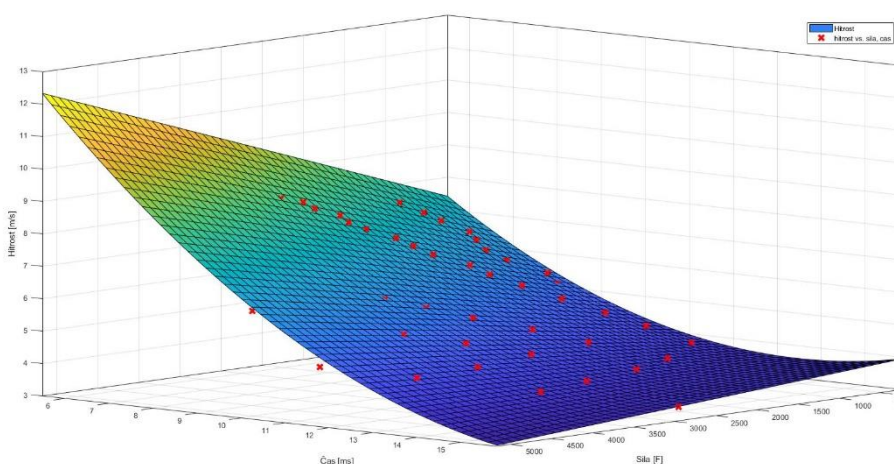
$$Energija = -1,071 + 0,01256x + 0,3056y + 0,0000003544x^2 + (-0,0003317xy) \quad (1)$$

$$Hitrost = 14,07 + 0,001593x + (-1,586y) + (-0,000112xy) + 0,06002y^2 \quad (2)$$

Sliki 25 in 26 prikazujeta točke v 3D grafu ocenjene energije v odvisnosti od sile in časa, pridobljene z naprave. Energija je primarno odvisna od časa in le malo odstopa od linearne funkcije. Hitrost je bolj odvisna od obeh, sile in časa.



Slika 25: Model energije



Slika 26: Model hitrosti

Ocenjevanje prileganja modela na dejanske podatke smo ocenili z metodo najmanjših kvadratov, ki je v primeru energije $R - square = 0,9974$, v primeru hitrosti pa je $R - square = 0,9608$. Rešitev smo implementirali v namenski program na odjemalcu z uporabniškim vmesnikom, da uporabniku prikazuje tudi energijo in hitrost udarca.

4.3.4 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik je del nemenskega programa za operacijski jezik Android, ki je napisan v razvojnem okolju Android Studio. Glavna vloga je, da prikaže podatke izvedenega

udarca atletu. Slika 27 prikazuje izgled uporabniškega vmesnika, ki prikazuje rezultate udarca in serije udarcev. Uporabnik med vadbo lahko spremlja silo posameznega udarca, najmočnejši udarec, povprečje serije udarcev, število udarcev in število udarcev na minuto.



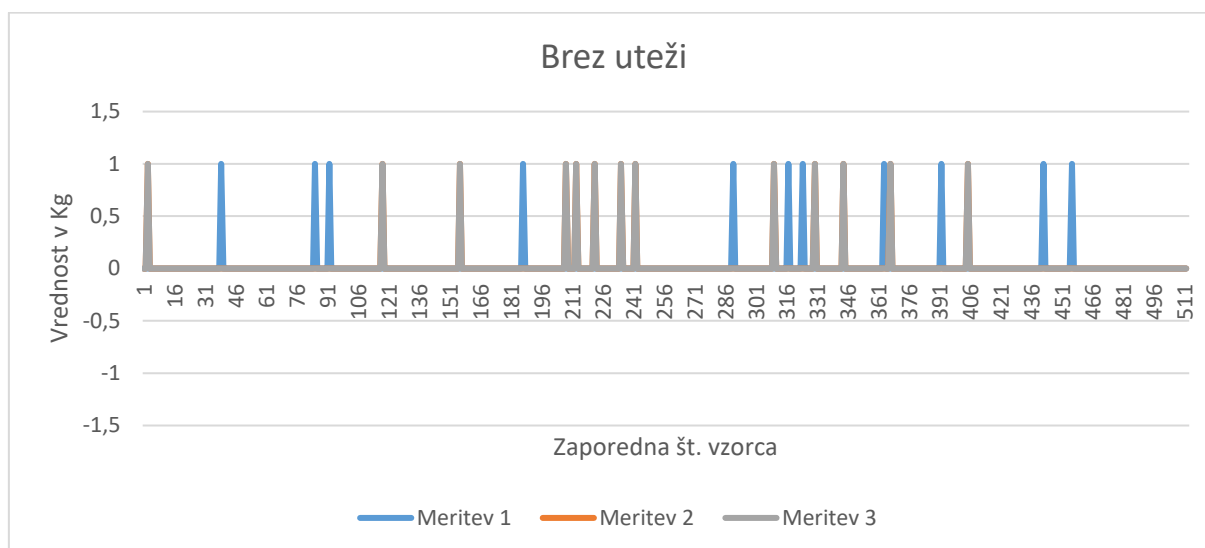
Slika 27: Namenski program za prikazovanje rezultatov udarcev

5 TESTIRANJE

Izdelano napravo smo testirali z namenom, da bi lahko ocenili njeno natančnost in uporabnost. Podatke smo pridobili iz priključkov 0 (Rx) in 1 (Tx) mikrokrmilnika, ki so namenjeni za serijsko povezavo.

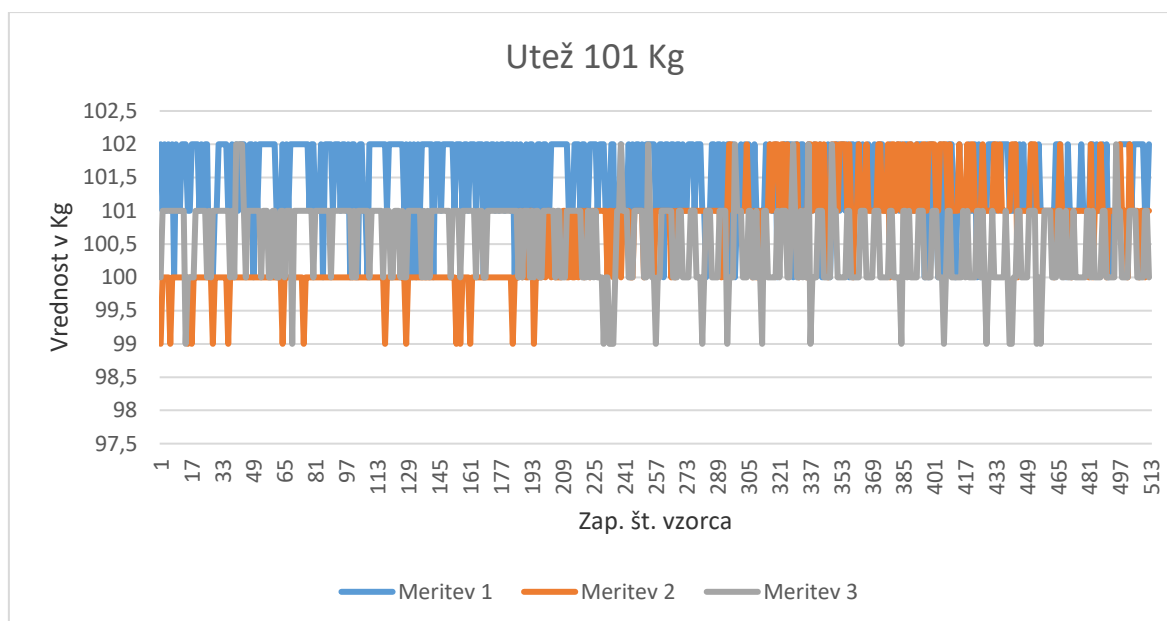
5.1 STATIČNO TESTIRANJE Z IN BREZ UTEŽI

Pri tem testiranju nas je zanimalo, kakšno odstopanje imajo vrednosti, če je senzor popolnoma razbremenjen in če je obremenjen. Slika 28 prikazuje tri meritve pri razbremenjenem senzorju. Vrednosti so po večini 0, nekajkrat pa so tudi 1. Ker naprava ne zna odčitati negativnih vrednosti, lahko pričakujemo odstopanje \pm ena enota (silo sorazmerno sili teže kilogramske mase).



Slika 28: Graf vrednosti pri razbremenjenem senzorju

Naslednje testiranje je bilo z uporabo 101 kg težke uteži, ki smo jo položili na udarno površino in nato naredili tri meritve. Slika 29 prikazuje graf vrednosti pri obremenjenem senzorju s 101 kg utežjo. Med 512 zajetimi vzorci se vrednosti gibljejo med 102 kg in 99 kg, kar pomeni, da je odstopanje \pm 1 kg in \pm 2 kg.



Slika 29: Graf vrednosti pri obremenjenem senzorju

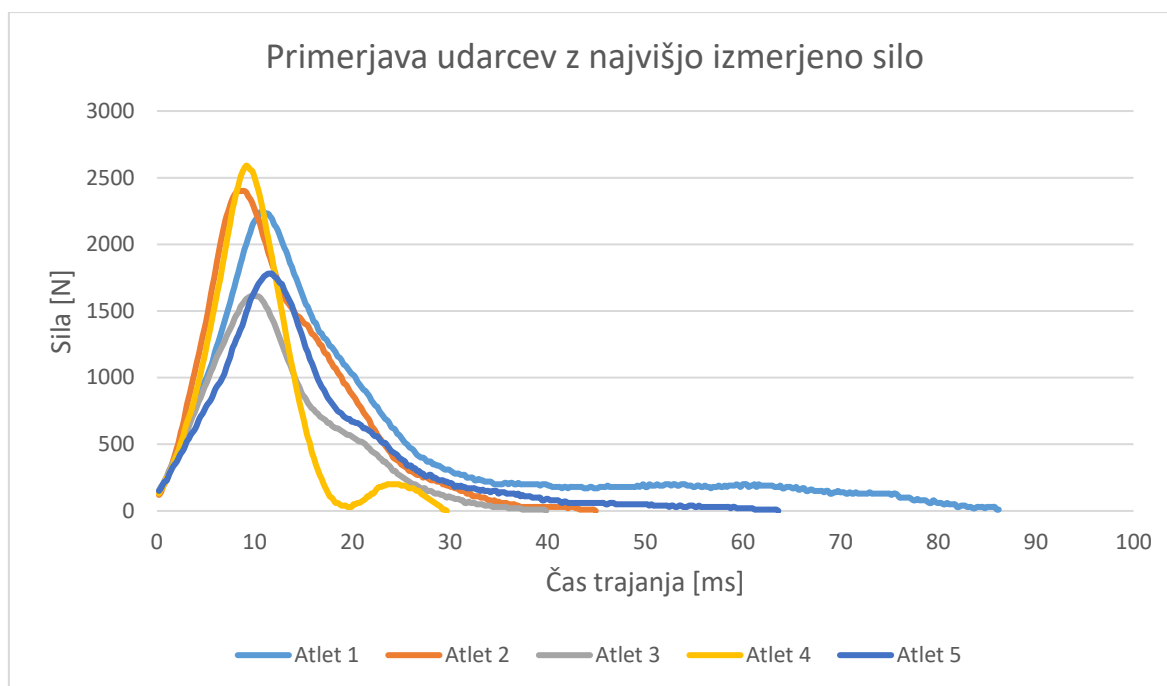
5.2 TESTIRANJE Z RAZLIČNIMI ATLETI

Testiranje smo praktično izvedli z izbranimi atleti, da bi primerjali udarce med njimi. Izbrali smo pet atletov, ki so se razlikovali med seboj po starosti, teži in višini. Vsak atlet je izvedel pet udarcev.

Tabela 4: Lastnosti atletov in udarcev

	Lastnosti atleta			Lastnosti udarca		
	Starost	Teža	Višina	Najvišja sila [N]	Energija [J]	Hitrost [m/s]
Atlet 1	33	129	175	2240	28	6,3
Atlet 2	19	78	178	2400	31	8,2
Atlet 3	22	72	175	1586	20	6,2
Atlet 4	22	90	177	2590	33	7,5
Atlet 5	30	106	183	1780	22	6,8

Tabela 4 prikazuje lastnosti atletov in lastnosti njihovih udarcev. Prikazane so najvišja sila, energija in hitrost udarcev. Starost atletov je bila različna od 19 do 33 let. Njihova teža je bila od 72 kg do 129 kg, višina pa od 175 cm do 183 cm. Atlet 4 je na primer izvedel udarec z najvišjo silo in najvišjo energijo. Najvišjo hitrost udarca pa je imel atlet 2.



Slika 30: Graf primerjava udarcev z najvišjo izmerjeno silo

Slika 30 prikazuje graf poteka najvišjih sil udarcev, izmerjenih pri atletih. V poglavju 1.1 smo napisali, da je sila udarca predvsem odvisna od pospeška in teže pesti. Če na primer primerjamo atleta 2 in 4, je atlet 4 izvedel udarec z najvišjo silo, čeprav je bila njegova hitrost malenkost manjša v primerjavi z atletom 2. Sklepamo lahko, da je razlika med udarcema v težji pesti atleta 4, saj ima tudi telesno težo večjo od atleta 2.

6 RAZPRAVA

V raziskovalnem delu smo naredili pregled nekaterih naprav za merjenje sile udarcev in senzorjev, ki so najpogosteje uporabljeni v napravah za merjenje udarcev. Naprave se večinoma razlikujejo v uporabljenih senzorjih in programski opremi. Tiste naprave, ki so zgrajene s senzorji pospeška, nam ne povedo nič o sili udarca, temveč nam povedo, kakšen pospešek je dobilo neko telo ob udarcu ali kakšen pospešek je dosegla roka ali noga, če je senzor nameščen v rokavici atleta. Za primerjanje dveh udarcev je pospešek relevanten, vendar imamo težave pri namestitvi senzorja na drugo telo za udarjanje. Če se mu spremeni masa, se spremeni tudi pospešek. Pri senzorjih obremenitve je pomembno, da sta telo, v katerega udarjamo, in senzor skalibrirana, tako dobimo signal, ki ga vzorčimo in enostavno pretvorimo v kilograme ali Newton-e. Uporovne lističe lahko uporabimo tudi pri izvedbi lastnih senzorjev, kot so jih uporabili pri izdelavi naprave, opisane v poglavju 2.4. Pri takih izvedbah je kalibriranje naprave težavno v primerjavi z napravami, ki uporabljajo samo senzor obremenitve.

V nadaljevanju smo izdelali napravo za merjenje udarcev. Uporabili smo senzor obremenitve, mikrokrmilnik Arduino, modul Bluetooth za Arduino, pametni telefon in izdelali namenski ojačevalnik. Zajete podatke udarcev nam je uspelo uspešno poslati prek brezžične povezave Bluetooth. Iz podatkov smo na pametnem telefonu uspešno razbrali največjo silo udarca in izpisali na uporabniškem grafičnem vmesniku trenutno vrednost, največjo vrednost, povprečno vrednost, število udarcev v eni seriji in število udarcev na sekundo. Zgradili smo modela energije in hitrosti z znanih dejstev fizikalnega zakona o prostem padu s spuščanjem kovinskih krogel na napravo ter uspešno implementirali enačbe modela v napravo, ki zdaj prikazuje tudi energijo in hitrost udarcev atletov.

Mikrokrmilnik Arduino Uno se je pokazal kot dovolj zmogljiv za zastavljeno nalogo. Izbrani senzor obremenitve z maksimalno obremenitvijo 500 kg se je za zdaj pokazal ustrezen, ker smo do zdaj merili samo ročne udarce. Tabela 5 prikazuje seznam in cene uporabljenih komponent za izdelavo naprave za merjenje sile udarcev borilnih veščin.

Tabela 5: Seznam in cene uporabljenih komponent

Komponente	Cena
Senzor obremenitve 500 kg	40 €
Mikrokrmilnik Arduino UNO R3	6 €
Modul Bluetooth HC-06	5 €
Ojačevalnik INA125P	15 €
Oblazinjena udarna površina	15 €
Kovinska konstrukcija	10 €
Ostalo (vodniki, konektorji, vijaki)	5 €
Skupaj	96 €

Opravili smo testiranje in ugotovili, da je odstopanje v vrednostih vzorcev pri razbremenjenem senzorju ± 1 , pri obremenjenem senzorju s 101 kg utežjo $+ 1$ in $- 2$. Modela za ocenjevanje energije in hitrosti udarcev imata po metodi najmanjših kvadratov prileganje v primeru energije $R - square = 0,9974$ v primeru hitrosti pa je $R - square = 0,9608$.

Napravo bi bilo treba nadgraditi s shranjevanjem udarcev in profiliranjem uporabnikov, da bi lahko udarce in atlete primerjali med sabo. Tako bi lahko ocenili na primer napredke, ki smo jih dosegli z vadbo in kateri atlet je najmočneje udaril. Smiselno bi bilo tudi profiliranje udarcev, da bi imeli primerjavo določenih udarcev v borilnih veščinah.

7 LITERATURA

- [1] Android, "Bluetooth". [Na spletu]. Dostopno na: <https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html#TheBasics>. [Datum ogleda: 26.5.2018]
- [2] Android, "Handler". [Na spletu]. Dostopno na: <http://developer.android.com/reference/android/os/Handler.html>. [Datum ogleda: 26.5.2018]
- [3] Arduino, "Arduino Uno". [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Datum ogleda: 28.5.2018]
- [4] Bienemans's blog, "Punch Acceleration Sensor," April 2010. [Na spletu]. Dostopno na: <https://abieneman.wordpress.com/2010/04/04/punch-acceleration-sensor/>. [Datum ogleda: 23.5.2018]
- [5] Burr-Brown, "Instrumentation amplifire with precision voltage reference". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina125.pdf>. [Datum ogleda: 10.5.2018]
- [6] S. Chadli, N. Ababou, A. Ababou, "A New Instrument for Punch Analysis in Boxing," 2014. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581400589X>. [Datum ogleda: 25.5.2018]
- [7] L. Delvecchio, R. Stanton in P. Reaburn, "How to Measure Force on a Punching Bag," November, 2013. [Na spletu]. Dostopno na: http://www.researchgate.net/publication/262203950_Reliability_of_strikemate_impact_assessment_device. [Datum ogleda: 21.4.2018]
- [8] Instructables, "Add bluetooth to your Arduino project – Arduino HC-06". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.instructables.com/id/Add-bluetooth-to-your-Arduino-project-ArduinoHC-06/>. [Datum ogleda: 26.5.2018]
- [9] Loadstar sensors, "Boxer Training Software - Punch Force Measurement – Boxing". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.loadstarsensors.com/punch-force-measurement-boxer-training-boxing.html>. [Datum ogleda: 22.4.2018]
- [10] Loadstar sensors, "What is a Load Cell? How do Load Cells Work?". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html>. [Datum ogleda: 5.6.2018]

-
- [11] Strike research, "StrikeMate the measurement system". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.strike-research.org/?p=who>. [Datum ogleda: 25.4.2018]
- [12] Z. Vong, "The science of punching harder: why is speed more important than mass," Marec, 2011. [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.martiallife.com/index.php/component/content/article/4-personal-development/44-the-science-of-punching-harder-why-is-speed-more-important-than-mass.html>. [Datum ogleda: 10.5.2018]
- [13] Wikipedija, "Accelerometer". [Na spletu]. Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Accelerometer>. [Datum ogleda: 28.5.2018]
- [14] Wikipedia, "Android". [Na spletu]. Dostopno na: https://sl.wikipedia.org/wiki/Android_%28operacijski_sistem%29. [Datum ogleda: 26.5.2018]
- [15] Wikipedia, "Arduino". [Na spletu]. Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Datum ogleda: 23.5.2018]
- [16] J. Woloch, "How to Measure Force on a Punching Bag". [Na spletu]. Dostopno na: <http://www.livestrong.com/article/538379-how-to-measure-force-on-a-punching-bag/>. [Datum ogleda: 28.4.2018]
- [17] XFit, "Nexersys". [Na spletu]. Dostopno na: <http://nexersys.com/home-fitness/>. [Datum ogleda: 23.4.2018]