

Avtomatsko odčitavanje prestopa v horizontalnih skokih

Aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Sekundarno področje: elektrotehnika, elektronika

Šola: Srednja elektro-računalniška šola Maribor

Avtorji: Aljoša Krajnc, Kamilo Kronvogel in Vladimir Januš

Mentorja: Bojan Skok in Aleš Bezjak

Vsebina

Povzetek	4
Summary	4
Zahvala	5
1. Uvod	6
Odrivna deska in horizontalni skoki v atletiki	6
1.1 Kaj so horizontalni skoki	6
1.2 Kaj je odrivna deska pri atletiki	6
1.3 Postopek določanja pravilnosti skoka	7
1.4 Avtomatsko odčitavanje	7
1.5 Idejna zasnova projekta in končnega produkta	8
2. Opis problema	9
2.1 Izbira komponent	9
2.2 Namestitev	9
2.3 Izbira mikrokrmilnika	9
2.4 Programiranje	10
3. Načrt	11
3.1 Rešitve in priprava projekta	13
5. Izvedbeni del	17
5. Tehniška izvedba	20
5.1. Faza - priprava komponent	20
Piezo senzorji	20
Laserski senzor	21
Mikrokrmilnik	22
Rele	23
Deska	23
Priključne žice	24
LED diode	24
5.2. Faza - testiranje komponent	25
Piezo senzorji	25
Laserski senzor	26
5.3. Faza - namestitev in priključitev komponent	26
5.4. Programski jezik	27
6. Testiranje končnega izdelka	31
7. Družbena odgovornost	32
8. Zaključek	33

9. Literatura in viri	34
-----------------------------	----

Kazalo slik

Slika 1: Odrivna deska	6
Slika 2: Tekmovalec ne naredi prestopa Slika 3: Tekmovalec naredi prestop	7
Slika 4: Načrt postavitve piezo senzorjev	11
Slika 5: Načrt postavitve laserskega senzorja.....	11
Slika 6: Načrt celotne deske	12
Slika 7: Piezo senzor (Vir: Lasten vir)	13
Slika 8: Testiranje piezo senzorja z osciloskopom (Vir: Lasten vir)	13
Slika 9: 1. del laserja Slika 10: 2. del laserja	14
Slika 11: Laserski senzor (oba dela)	14
Slika 12: Mikrokrmilnik.....	15
Slika 13: Senzorji pod desko	17
Slika 14: Približana slika senzorja pod desko	17
Slika 15: Postavitev laserskega senzorja.....	18
Slika 16: Približana slika postavitve laserskega senzorja	18
Slika 17: Piezo senzor.....	20
Slika 18: Senzorji pod desko	21
Slika 19: Oba dela laserskega senzorja	21
Slika 20: Namestitev laserskega senzorja	22
Slika 21: Mikrokrmilnik Pripravljen za delovanje	22
Slika 22: Rele s priključenimi vodniki.....	23
Slika 23: Odrivna deska – zgoraj.....	23
Slika 24: Odrivna deska – spodaj	23
Slika 25: Priključne žice	24
Slika 26: Rdeča in zelena LED dioda	24
Slika 27: Priključitev z osciloskopom.....	25
Slika 28: Testiranje laserskega senzorja z mikroprocesorjem.....	26
Slika 29: Prototip deske	27
Slika 30: Začetek programiranja.....	28
Slika 31: Programiranje izpisa informacij.....	29
Slika 32: Programiranje regulacije skoka.....	29
Slika 33: Programiranje setup-a in loop-a.....	30
Slika 34: Testiranje deske na atletskem stadionu Poljane Maribor (Vir:Lasten vir)	31

Povzetek

Na podlagi lanskoletnih izkušenj, kjer smo želeli raziskati in oblikovati teoretični model avtomatizacije odzivne deske, smo se odločili, da bomo v letošnjem letu poskušali inovativni model sestaviti in vzpostaviti kot samodejni avtomatični sistem za zaznavanje prestopa v fazi odziva pri horizontalnih skokih v atletiki.

Popolnoma avtomatični sistem zajema senzorsko pokritost, kalibracijo in njihovo povezavo preko procesorjev, za kar v ozadju skrbi naš lasten računalniški program, ki nam na osnovi vseh prejetih informacij v čim krajšem času sporoča ali je športnik v fazi odziva naredil prestop ali ne.

Cilj inovacijskega predloga je bil izdelava in povezava vseh komponent v zaokroženo in delujočo celoto, ki je praktična, lahko prenosljiva in široko uporabna na atletskih tekmovanjih.

Summary

Based on last year's experiences, where we aimed to explore and develop a theoretical model for the automation of the takeoff board, we have decided to try and create an innovative model this year and establish a fully automated system for detecting a foul during the takeoff phase in horizontal jumps in athletics.

The complete automated system includes sensor coverage, calibration, and their connection via processors, which are managed by our own computer program. This program is able to quickly inform us, based on all the received data, whether the athlete committed a foul during the takeoff phase.

The goal of the innovation proposal is to design and connect all components into a coherent and functional whole, which is practical, easily portable, and widely applicable at athletic competitions.

Ključne besede: elektrotehnika, elektronika, atletika, odzivna deska.

Zahvala

Iskreno se zahvaljujemo mentorjema za njune izvirne ideje in neprecenljivo spodbudo pri oblikovanju inovacijskega predloga. Posebna zahvala gre tudi profesorjema za elektrotehniko, ki sta nam pomagala pri iskanju ustreznih tehničnih rešitev.

1. Uvod

Odrivna deska in horizontalni skoki v atletiki

1.1 Kaj so horizontalni skoki

Horizontalni skoki v atletiki so vrsta disciplin, kjer tekmovalci izvajajo skoke, da dosežejo čim večjo horizontalno (vodoravno) razdaljo. V to kategorijo spadata naslednji disciplini:

Skok v daljino: Tekmovalec teče po zaletni stezi in nato poskuša po odzivu skočiti čim dlje v horizontalni smeri. Pri tem se odzine z eno nogo in pristane v doskočišču (jama napolnjena s peskom). Pomembno je, da skakalec v fazi odziva ne naredi prestopa, sicer skok ni veljaven.

Troskok: Troskok je sestavljen iz poskoka, koraka in skoka v tem vrstnem redu. Pri poskoku atlet po odzivu doskoči na isto nogo, s katero se je odznil; pri koraku pristane na drugo nogo, s katero se odzine v skok. (Citirano iz: 29. in 30. člen Tehničnih pravil, 2020. 186. Člen, maj 2020, str. 185.)

Skupno obema disciplinama je, da se tekmovalci odzivajo z odzivne deske.

1.2 Kaj je odzivna deska pri atletiki

Odrivna deska je pripomoček, ki se uporablja pri atletiki za določanje prestopa pri horizontalnih skokih.

Iz kakšnega materiala je narejena deska?

Odrivna deska je izdelana iz utrjenega umetnega materiala in tartana. Na koncu odzivne deske je vgrajena indikatorska ploščica za prestop, ki je široka 10 cm.



Slika 1: Odrivna deska

(Vir: Lasten vir)

1.3 Postopek določanja pravilnosti skoka

Pri horizontalnih skokih je ključnega pomena, da tekmovalec pravilno izvede vse faze skoka, saj se sicer njegov poskus lahko šteje za neveljavnega. Eden od najpomembnejših trenutkov v skoku je faza odziva, kjer se tekmovalec odrine z odzivne deske. Pravilen odziv se šteje, ko tekmovalec na odskoku ne pohodi prestopne deščice na odzivni deski, kar pomeni, da njegovo stopalo ne sme prečkati meje, ki jo določa deščica na začetku zaleta. Če atlet med odzivom stopi preko oziroma nad to deščico, ali jo celo pohodi, se skok šteje kot neveljaven.



*Slika 2: Tekmovalec ne naredi prestopa
(Vir: Lasten vir)*



*Slika 3: Tekmovalec naredi prestop
(Vir: Lasten vir)*

Iz slike 2 je razvidno, da tekmovalec ni naredil prestopa, saj ni pohodil prestopne deščice, niti noben del njegovega stopala v fazi odziva ni prečkal navidezne črte prestopa (tako imenovani: optični prestop).

Iz slike 3 je razvidno, da je tekmovalec naredil prestop, četudi ni stopil na prestopno deščico, temveč je v fazi odziva stopalo prečkalo navidezno linijo prestopa.

1.4 Avtomatsko odčitavanje

Avtomatsko odčitavanje je tehnologija, ki omogoča zaznavanje, prepoznavanje in obdelavo podatkov brez neposrednega človeškega posredovanja. Gre za postopek, v katerem se informacije samodejno zajamejo in obdelajo s pomočjo različnih naprav ali sistemov, kot so

skenerji, senzorji, kamere, računalniški programi ali druge tehnologije za zajem podatkov. Avtomatsko odčitavanje omogoča hitrejšo, natančnejšo in bolj učinkovite procese.

1.5 Idejna zasnova projekta in končnega produkta

Pri pregledu načinov zaznavanja / odčitavanja prestopov pri skoku v daljino, ki se trenutno uporabljajo na uradnih tekmovanjih, smo dobili idejo na osnovi katere smo želeli izdelati produkt oz. sistem, ki je inovativen in edinstven na tem področju ter predstavlja razvoj v hitrosti ter natančnosti odčitavanja pravilnosti odziva. Tovrstnega sistema še nismo zasledili nikjer in po pogovorih s strokovnjaki na Atletski zvezi Slovenije dobili zagotovilo, da je sistem, kot smo si ga zamislili, unikat v uporabi ter celostnem iskanju rešitve pri tej disciplini.

Naš produkt je popolnoma samostojen in avtomatiziran sistem, ki nam v trenutku poda povratno informacijo ali je atlet pri svojem poskusu naredil prestop. Sistem smo po izdelavi testirali tudi na terenu ter ga imamo v prihodnje namen testno uporabiti na uradnih tekmovanjih atletske zveze Slovenije. Na tekmovanjih bomo naš sistem dvojno preverjali s sistemom, ki je trenutno uporabljen na tovrstnih tekmovanjih in tako dobili še bolj jasno sliko o njegovem delovanju in uporabnosti.

Verjamemo, da sta tako ideja, kot naš produkt edinstvena na tem področju in vodita k razvoju sodniškega dela in modernizaciji te športne discipline.

2. Opis problema

2.1 Izbira komponent

Na začetku smo se srečali z izzivom izbire primernih komponent. Preko spleta smo naredili analizo najprimernejših. Pri izbiri le teh smo morali upoštevati ceno, dobavljivost ter predvsem to, da bo komunikacija med njimi čim bolj enostavna. Upoštevati smo morali tudi njihove nazivne napetosti.

Glede na specifične skokov in odzivov atletov, kjer je čas dotika tekmovalca na deski zelo kratek (med 100 ms in 120 ms), smo morali izbirati tudi ustrezne komponente, ki so dovolj natančne obenem pa je njihova hitrost odzivnosti praktično brez zamika.

(Primerjalna analiza zaleta skoka v daljino med slovenskimi in tujimi skakalci, pridobljeno 3. 2. 2025 iz: <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:2a8bfaf0-0812-435b-921d-bedda3034276?viewer%21megaVerb=group-discover>)

2.2 Namestitvev

Pri namestitvi senzorjev smo naleteli na težavo, saj ima deska namesto ravnega dna vdolbine. To nam je otežilo namestitvev, saj piezo senzorji ne bi bili s svojo celotno površino pod trdimi deli deske. Ko smo jih testirali brez uporabe deske, smo s pridobljenimi rezultati ugotovili, da te vrste senzorjev zaznajo samo trenutno spremembo sile, kar pomeni da desko, ki bo bila nameščena na njih ne bodo zaznali.

Drugi problem se je pojavil pri namestitvi laserskih senzorjev. Deska mora ustrezati pravilom atletske zveze Slovenije, zato nam velike spremembe na deski niso bile dovoljene. Deska ima predpisane mere (širino, dolžino, globino), ki se prilagajajo vdolbini na stezi, v katero je nameščena deska, kar nam je otežilo namestitvev laserskih senzorjev.

2.3 Izbira mikrokrmilnika

Težava se je pojavila tudi pri iskanju ustreznega mikrokrmilnika, ki bi povezal komponente med seboj, tako da bi te med seboj pravilno komunicirale, ter da bi ta imel dovolj vhodov in izhodov. Paziti smo morali tudi na izhodno napetost mikrokrmilnika, da ne bi bila prevelika ali

premajhna. Prav tako smo imeli težavo z namestitvijo mikrokrmilnika, da ne bi bil preveč izpostavljen vremenskim vplivom in vplivom tekmovalcev.

2.4 Programiranje

Ker v svetu programiranja poznamo veliko različnih jezikov, smo morali razmisliti in preveriti kateri programski jezik bi bilo najbolj primerno uporabiti za programiranje našega mikrokrmilnika, saj vsi programski jeziki niso primerni za vse mikrokrmilnike.

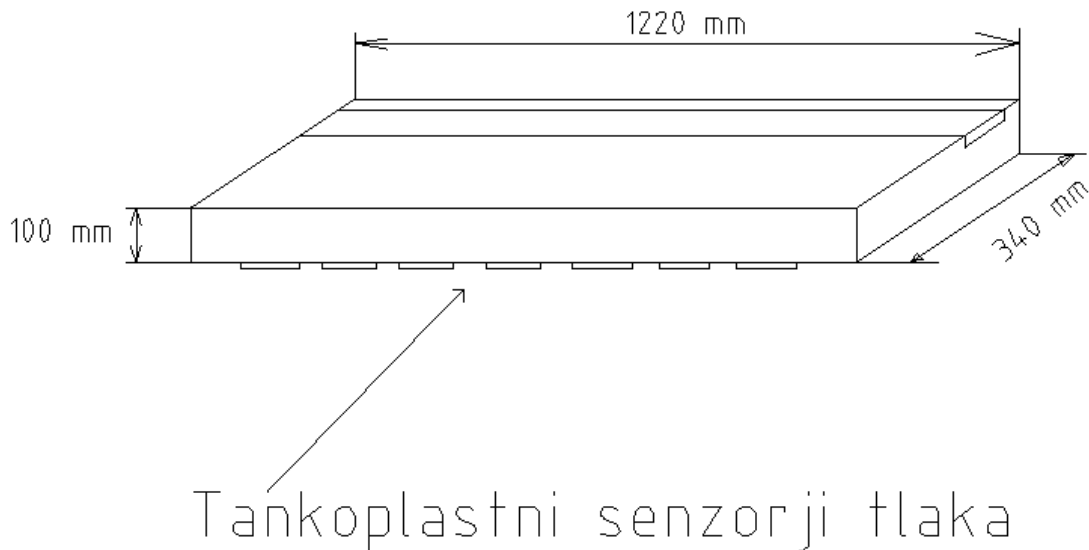
Problem so nam predstavljali tudi vodniki, ki bodo prišli pod desko in bodo povezovali komponente. Kljub temu, da imajo majhen prerez, bi bila deska zaradi tega privzdignjena. Pri tem senzorji ne bi imeli stika s tlemi in ob odzivu ne bi zaznali spremembe tlaka.

2.5. Izpostavljenost vremenskim vplivom

Horizontalni skoki se lahko odvijajo znotraj neke dvorane ali zunaj na atletskem stadionu. Ker pa se v večini primerov ti skoki opravljajo zunaj, smo naleteli na problem kako zaščititi naše komponente pred različnimi vremenskimi razmerami (veter, dež, pesek, ...), saj bi lahko te povzročile različne poškodbe.

3. Načrt

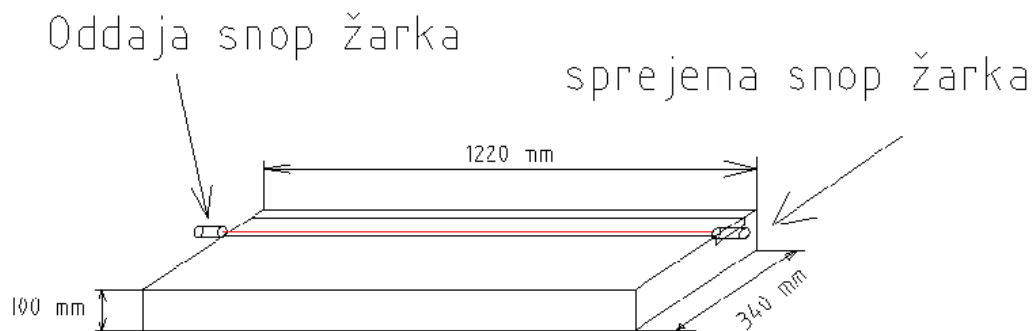
Pred začetkom izdelave in po pregledu stanja komponent na trgu, smo se odločili, kako bomo sistem postavili, kje bodo nameščeni senzorji in kako bodo povezani z mikrokrmilnikom. Pripravili smo tudi načrt v kakšnem jeziku in na kakšen način bo spisan računalniški program.



Slika 4: Načrt postavitve piezo senzorjev

(Vir: Lasten vir)

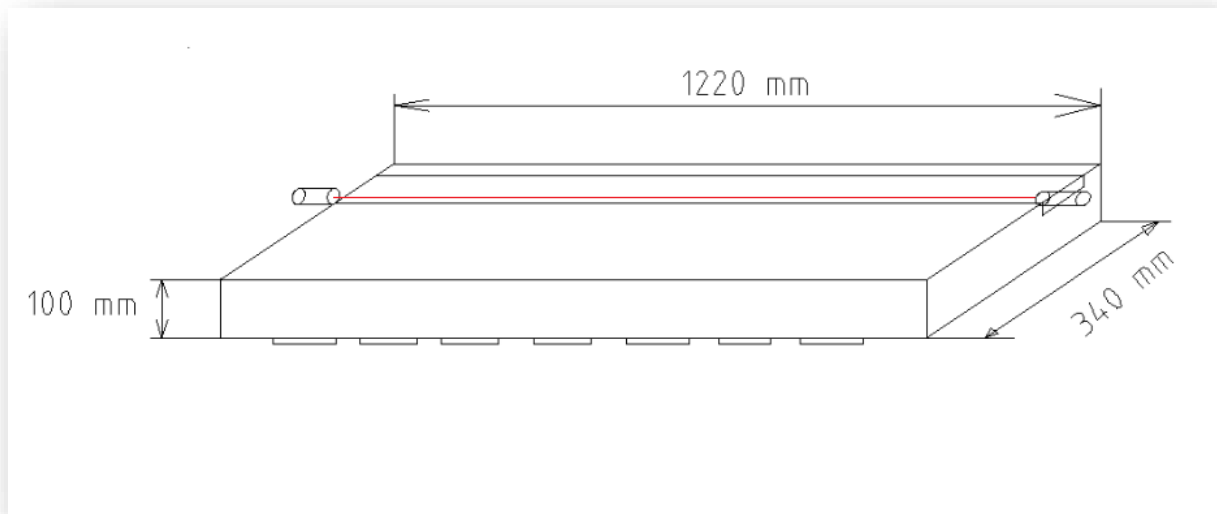
Na dnu deske bo pritrjenih sedem zaporedno vezanih piezo senzorjev.



Slika 5: Načrt postavitve laserskega senzorja

(Vir: Lasten vir)

Laserski senzor bo nameščen ob deski, tako da bo žarek potekal nad začetkom prestopne deščice



Slika 6: Načrt celotne deske

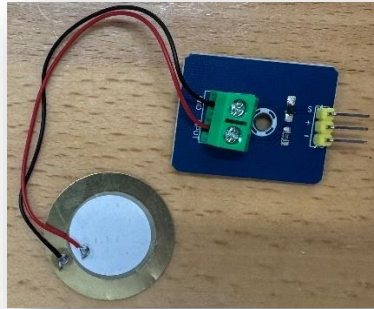
(Vir: Lasten vir)

Na sliki 6 je prikazan celoten načrt deske z obema senzorjema.

3.1 Rešitve in priprava projekta

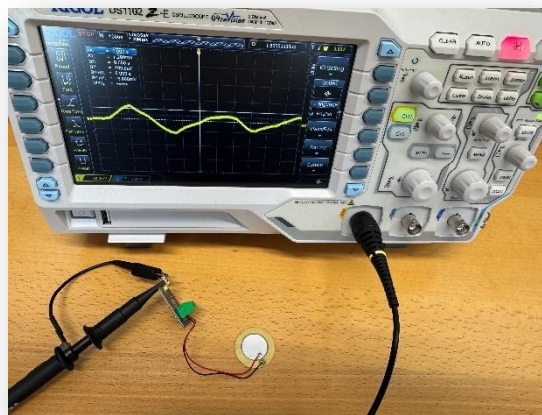
Ob pripravi in analizi komponent smo poiskali določene tehnične rešitve:

1. Pri iskanju komponent smo ugotovili, da so za našo desko najbolj primerni piezo senzorji (SF45-65), ki so veliko bolj občutljivi na spremembe, so tudi tanjši ter prožnostni.



Slika 7: Piezo senzor (Vir: Lasten vir)

Na dotik občutljivi piezo senzorji, znani tudi kot senzorji na dotik ali senzorji upogibanja, so senzorji, ki merijo spremembo upogibanja ali pritiska na določeni površini. Ti senzorji se pogosto uporabljajo v napravah na dotik, zaslonih na dotik in drugih aplikacijah, kjer je potrebno zaznavanje fizičnega stika ali pritiska. Piezo senzorji so naprave, ki zaznavajo mehanske spremembe, kot so pritisk, vibracije ali napetosti, in jih pretvarjajo v električne signale. Delujejo na principu piezoelektričnega učinka, kjer materiali, kot je kvarts, generirajo električni naboj ob deformaciji. Pogosto se uporabljajo v industriji, medicini in elektroniki za natančno merjenje in zaznavanje.



Slika 8: Testiranje piezo senzorja z osciloskopom (Vir: Lasten vir)

2. Pri laserskem senzorju smo se odločili za M12JG-30N1, saj lahko deluje na maksimalni razdalji 20 m. Tega laserja ne bodo zmotile niti vremenske razmere, niti morebitna zrnca peska, ki bi lahko padla iz tekmovalčeve športne obutve.



*Slika 9: 1. del laserja
(Vir: Lasten vir)*



*Slika 10: 2. del laserja
(Vir: Lasten vir)*

Laserski senzor deluje tako, da uporablja laserski žarek za merjenje razdalje ali zaznavanje objektov. Senzor pošlje laserski žarek in meri čas, ki je potreben, da se žarek odbije od cilja in se vrne nazaj do senzorja. Na podlagi časa, ki je pretekel od pošiljanja žarka do njegove vrnitve, senzor lahko izračuna razdaljo do cilja. Ob tem pa nam tak senzor lahko sporoči tudi ali je bil žarek prekinjen.

Laserski senzor, pridobljeno 22. 12. 2024 iz: <https://www.baumer.com/us/en/precise-laser-sensor-for-detection-of-very-small-objects-to-0-05-mm/n/O200-miniature-sensors-reliable-precise-simple-and-digital>



*Slika 11: Laserski senzor (oba dela)
(Vir: Lasten vir)*

3. Odločili smo se za mikrokrmilnik (ELEGOO UNO R3) z USB priključkom, ki je kompatibilen s programsko opremo Arduino IDE. Za brezhibno zaznavanje prekinitve laserja smo uporabili preklopni rele, ki nam je v primeru prekinitve laserskega žarka preklopil pošiljanje informacij na vhod mikrokrmilka, ki zazna, da je žarek prekinjen.

Mikrokrmilnik (MCU) je majhen računalnik na enem integriranem vezju, ki vključuje procesorska jedra, pomnilnik in programabilne vhodno/izhodne naprave. Poleg tega pogosto vsebuje tudi pomnilnik NOR flash, OTP ROM ali feroelektrični RAM ter majhno količino RAMa. Mikrokrmilniki so zasnovani za vgrajene aplikacije, ki zahtevajo specifično in pogosto enostavno obdelavo podatkov, v nasprotju z mikroprocesorji, ki se uporabljajo v osebnih računalnikih ali splošnih aplikacijah, kjer so potrebni različni diskretni čipi.

V sodobni terminologiji so mikrokrmilniki podobni sistemom na čipu (SoC), vendar so manj izpopolnjeni. SoC lahko vključuje mikrokrmilnik kot eno od svojih komponent, vendar običajno integrira tudi napredne zunanje naprave, kot so grafična procesna enota (GPU), Wi-Fi modul ali soprocesorji.



Slika 12: Mikrokrmilnik

(Vir: Lasten vir)

Mikrokrmilniki se uporabljajo v različnih napravah, kot so avtomatsko krmiljeni sistemi, naprave za krmiljenje avtomobilskih motorjev, medicinske naprave za vsaditev, daljinski upravljalniki, pisarniški stroji, električna orodja, igrače in številni drugi vgrajeni sistemi. Z zmanjšanjem velikosti in stroškov v primerjavi z zasnovo, ki uporablja ločen mikroprocesor, pomnilnik in vhodno/izhodne naprave, mikrokrmilniki omogočajo učinkovito digitalno krmiljenje različnih naprav in procesov. Mikrokrmilniki z mešanimi signali vključujejo tudi

analogne komponente, kar omogoča njihovo uporabo pri krmiljenju ne digitalnih elektronskih sistemov.

V kontekstu interneta stvari (IoT) so mikrokrmilniki priljubljeni zaradi svoje ekonomičnosti in nizke porabe energije, saj omogočajo zbiranje podatkov, zaznavanje in aktiviranje fizičnih svetov kot robne naprave. Nekateri mikrokrmilniki delujejo pri nizkih frekvencah, do 4 kHz, in so zasnovani za nizko porabo energije, kar je idealno za dolgotrajne baterije. Drugi mikrokrmilniki pa so bolj zmogljivi in omogočajo naloge, ki so kritične za zmogljivost, ter lahko delujejo kot digitalni signalni procesor (DSP) z višjimi takti in večjo porabo energije.

(Mikrokrmilnik, pridobljeno 27. 1. 2025 iz: <https://www.delko.si/sl/blog/nekaj-malega-o-mikrokrmilnikih/>)

4. Za zaščito naših komponent bi na dnu deske uporabili tanko plast umetne mase, ki bi vse naše komponente zaščitila pred različnimi vremenskimi vplivi. To bi pripomoglo k temu, da se naše komponente ne bi pokvarile, ali ne delovale po pričakovanjih.

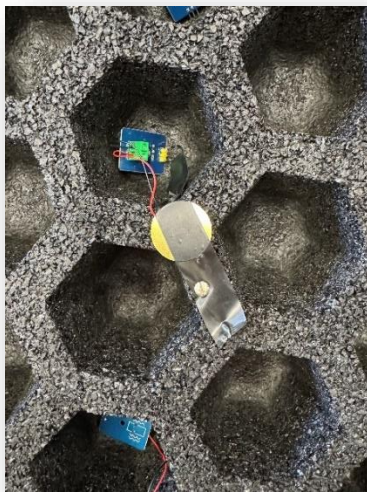
5. Izvedbeni del

Izdelali smo desko, ki je popolnoma avtomatizirana. Z njeno pomočjo lahko na enostaven način določimo ali je tekmovalec naredil prestop oz. če je bil skok izveden pravilno. Uporabili smo različne elektronske elemente, ki imajo svoje specifične lastnosti. Prvi element, ki smo ga uporabili je bil peizo senzor. Uporabili smo ga, da nam zazna dotik tekmovalčevega stopala s tlemi. Pomemben element, ki smo ga uporabili je bil tudi laserski senzor, ki nam poda informacijo o prestopu tekmovalca. Najpomembnejši element pa je bil mikrokrmilnik. Zaradi njega so vsi elementi med seboj povezani, saj omogoča komunikacijo med njimi.



Slika 13: Senzorji pod desko

(Vir: Lasten vir)



Slika 14: Približana slika senzorja pod desko

(Vir: Lasten vir)

Pri namestitvi senzorjev smo morali upoštevati namen uporabe in da njihova namestitev ne bo motila oziroma ovirala tekmovalcev. Zato smo piezo senzorje namestili pod desko, da jih

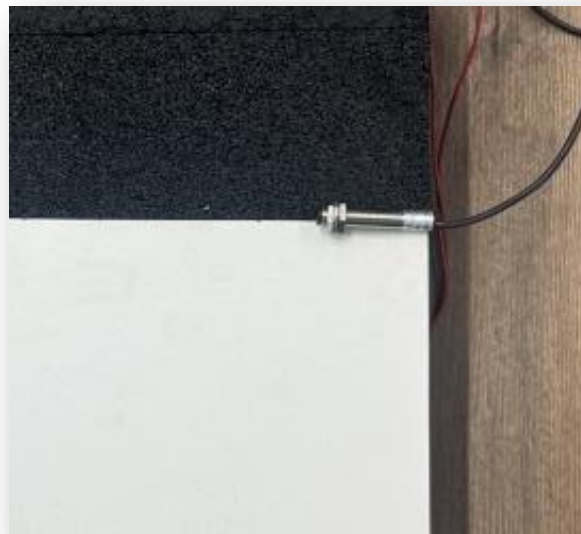
tekmovalci ob odzivu ne morejo poškodovati z njihovo posebno obutvijo. V tem primeru so skriti in nemoteči za tekmovalce.

Laserski senzor smo namestili ob stransko robovo desko, tako da lahko snop žarka potuje po meji med površino odziva in površino prestopa. Laser smo zamaknili za 4 cm, tako da čez desko poteka le snop žarka.



Slika 15: Postavitev laserskega senzorja

(Vir: Lasten vir)



Slika 16: Približna slika postavitve laserskega senzorja

(Vir: Lasten vir)

Deska deluje tako, da ob stiku z odzivno površino piezo senzorji zaznajo spremembo pritiska. V času, ko je pritisk spremenjen, laserski senzor odčita ali se je snop prekinil ali pa je ostal nespremenjen.

Ob veljavnem skoku, ko se tekmovalec pravilno odrine z deske in ob tem laserski senzor ne beleži prekinitve, saj ni bilo prestopa, zasveti zelena LED dioda.

Ob neveljavnem skoku, ko se tekmovalec dotakne odrivne površine in prekine laser, pa zasveti rdeča LED dioda.

V primeru, če se tekmovalec ne dotakne deske, ne zasveti nobena LED dioda. Kar pomeni, da se je tekmovalec v celot odrinil pred ali za odrivno desko. Sodnik pa potem odloča o veljavnosti le tega.

Rešitve pri nameščanju komponent:

1. Pri namestitvi piezo senzorjev smo uporabili tanko plast umetne mase in jo pritrdili z lepilom, tako da jih obdrži na svojem mestu in jim nudi zaščito pred poškodbami.
2. Odločili smo se pritrditi laserski senzor na desko s pomočjo kovinskih nosilcev, ki pa smo jih zamaknili za 4 centimetre od deske. S tem smo dosegli, da snop žarka potuje le čez desko, senzor pa ne ovira tekmovalcev.
3. Po temeljitem razmisleku smo se odločili, da mikrokrmilnik namestimo pod desko in sicer na delu prestopa ter v kotu, kjer je čim manj izpostavljen mehanskim vplivom tlaka, vibracijam in udarcem. Zaradi namestitve pod desko je mikrokrmilnik bližje komponentam na katere je povezan.

Ker je naš mikrokrmilnik (ELEGOO UNO R3) kompatibilen s programsko opremo Arduino IDE smo le to tudi uporabili.

Za namestitev vodnikov smo morali na spodnji strani odrivne deske vrezati kanale, skozi katere smo povezali kable, tako da sistem deluje čim bolje in da smo hkrati ohranili osnovne karakteristike deske.

5. Tehniška izvedba

Naša izdelava deske je potekala v štirih fazah:

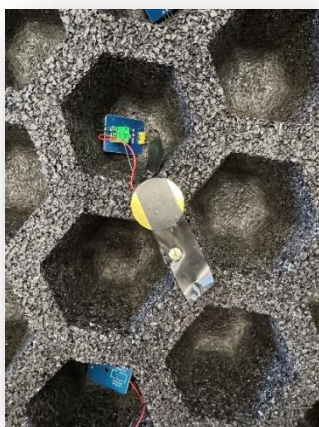
1. Faza – priprava komponent
2. Faza – testiranje komponent
3. Faza – namestitev in priključitev komponent
4. Faza – programiranje komponent

5.1. Faza - priprava komponent

Na začetku smo si pripravili vse potrebne komponente oziroma materiale, ki smo jih potrebovali za izdelavo deske.

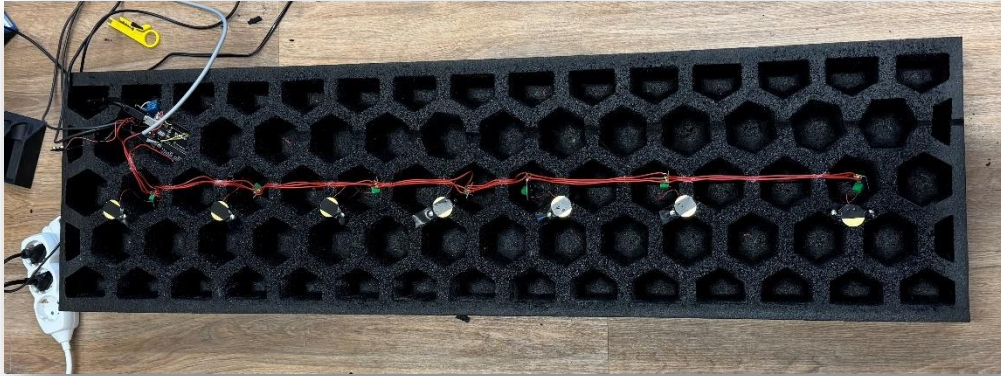
Piezo senzorji

Pri pripravi piezo senzorja smo si morali najprej narediti načrt, kako bodo nameščeni, kolikšna bo razdalja med senzorji ter kakšno vezavo bomo uporabili. Odločili smo se, da uporabimo 7 senzorjev, ki smo jih glede na vdolbine deske lahko enakomerno razporedili. Uporabili smo vzporedno vezavo, saj bi pri zaporedni dobili preveliko skupno upornost in sistem ne bi deloval po pričakovanjih.



*Slika 17: Piezo senzor
(Vir: Lasten vir)*

Senzorje smo z metodo spajkanja in vodniki vezali vzporedno ter jih namestili pod desko.



Slika 18: Senzorji pod desko

(Vir: Lasten vir)

Laserski senzor

Laserski senzor smo na desko pritrdili z aluminijastimi nosilci. Deske ni bilo možno razširiti, saj je deska vgradna in narejena na mero odprtine v katero se na tekmovališču položi. Zato smo tanke nosilce privili z vijaki. Laserji so že imeli svoje osnovne nosilce s katerimi smo jih nato pritrdili na aluminijaste nosilce.



Slika 19: Oba dela laserskega senzorja

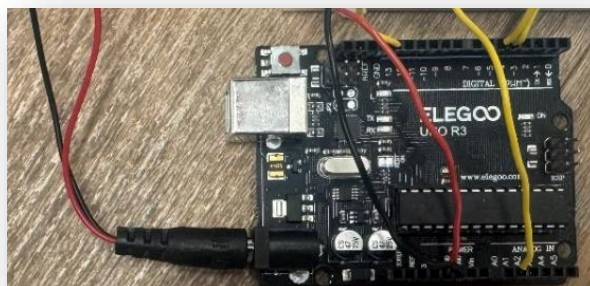
(Vir: Lasten vir)



*Slika 20: Namestitev laserskega senzorja
(Vir: Lasten vir)*

Mikrokontrolnik

Mikrokontrolnik smo morali med izvedbo programa in priključevanjem na testno ploščico spreminjati zaradi pravilne priključitve ostalih komponent na posamezen PIN.



*Slika 21: Mikrokontrolnik Pripravljen za delovanje
(Vir: Lasten vir)*

Rele

Rele smo morali povezati z ustreznimi PIN-i. To smo storili z vodniki.



Slika 22: Rele s priključenimi vodniki

(Vir: Lasten vir)

Deska

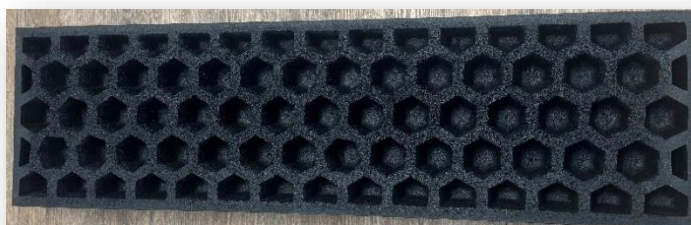
Na spodnji strani deske smo morali izrezati majhen prekat, kamor smo namestili mikrokrmilnik.

Vrezali smo tudi vdolbine kjer potekajo vodniki.



Slika 23: Odrivna deska – zgoraj

(Vir: Lasten vir)



Slika 24: Odrivna deska – spodaj

(Vir: Lasten vir)

Priključne žice

Priključne vodnike smo morali narezati na ustrezne dolžine in jim na koncih odstraniti izolacijo, da smo lahko z njimi povezali komponente.



Slika 25: Priključne žice

(Vir: Lasten vir)

LED diode

LED diodi smo vezali vsako na svoj izhod mikrokrmilnika, glede na to, kdaj mora katera svetiti.



Slika 26: Rdeča in zelena LED dioda

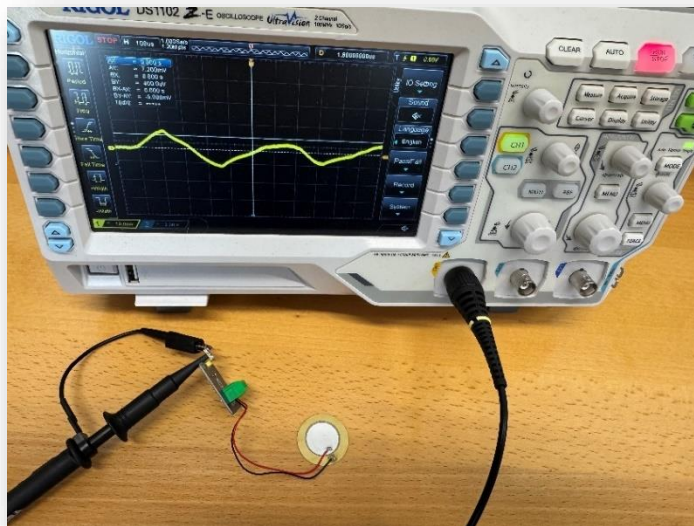
(Vir: <https://www.amazon.co.uk/Sourcingmap-Diffused-Lighting-Electronic-Components/dp/B07G3TM4MS>, 2. 2. 2025)

5.2. Faza - testiranje komponent

Pri drugi fazi smo testirali komponente, da smo videli ali delujejo pravilno, kot smo želeli.

Piezo senzorji

Prvi del testiranja piezo sensorja je bilo namenjeno preizkusu delovanja sensorja. Nanj smo vezali osciloskop in nato začeli s testiranjem. Sensor smo testirali z dotikom, kar je povzročilo, da je ta zaznal spremembo v pritisku ter jo pretvoril v elektronski signal. To spremembo je bilo mogoče videti tudi na osciloskopu, kar je pomenilo, da deluje kot smo si zamislili.



Slika 27: Priključitev z osciloskopom

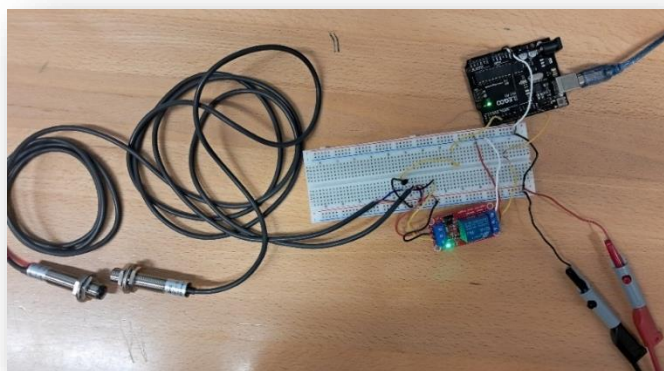
(Vir: Lasten vir)

V naslednji fazi smo testirali ali piezo sensor zazna spremembo, ko je nanj odložena deska. Kasneje smo tudi preverili, ali sensor zazna silo, če je nameščen pod desko in ko nekdo stopi na površino deske. Ugotovili smo, da deluje tako kot smo si želeli.

Nazadnje smo še morali testirati ali mikrokrmilnik zazna spremembo na piezo sensorju. S pomočjo programa in releja smo naredili manjše vezje za testiranje sensorja. Ko je bilo vezje pripravljeno smo s pritiskom na senzor opazovali spremembo na releju. Ob spremembi tlaka je rele preklopil svoj izhod (output) in je posledično na njem zasvetila rdeča LED dioda.

Laserski senzor

Laserski senzor smo prav tako testirali s pomočjo manjšega pomožnega vezja. Z njegovo pomočjo smo videli ali komponente zaznajo spremembo, kadar je laser prekinjen. Ko smo usmerili snop žarka na njegov sprejemnik je na releju svetila zelena LED dioda, kar je pomenilo, da sta žarek in sprejemnik med seboj povezana in delujeta. Ob prekinitvi laserja, je na releju zasvetila rdeča LED dioda, ki je pomenila, da je bila sprememba zaznana.



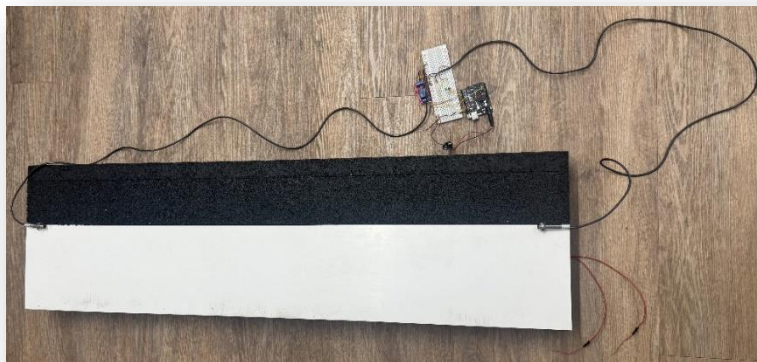
Slika 28: Testiranje laserskega senzorja z mikroprocesorjem

(Vir: Lasten vir)

5.3. Faza - namestitvev in priključitev komponent

Najprej smo tankoplastne senzorje tlaka med seboj povezali v vzporedno vezje in jih namestili na desko, tako da so bili razporejeni drug za drugim. Ta konfiguracija omogoča, da senzorji zaznajo silo na različnih mestih na deski. Sprva smo načrtovali, da bodo senzorji povezani v zaporedno vezje, vendar smo med testiranjem ugotovili, da se upornosti senzorjev v tej vezavi seštevajo, kar je povzročilo povečanje skupne upornosti sistema. Posledično je bila upornost tako visoka, da senzorji niso bili sposobni zaznati sile, kar je onemogočilo pravilno delovanje.

V naslednjem koraku izdelave deske, ob deski namestimo tudi laserski senzor, ki nam pomaga pri regulaciji skoka.



*Slika 29: Prototip deske
(Vir: Lasten vir)*

Ko smo imeli vse komponente povezane, smo jih priključili na mikroprocesor, ki je omogočil obdelavo signalov iz tankoplastnih senzorjev tlaka in laserskega senzorja ter omogočil nadaljnje testiranje in optimizacijo delovanja deske.

Ko smo zaključili izdelavo deske, smo izvedli dodatna testiranja, da smo preverili, ali bo novi sistem zaznavanja sile deloval po pričakovanjih in zagotavljal pričakovane rezultate.

5.4. Programski jezik

Sistem temelji na treh vhodno-izhodnih komponentah: laserskega senzorja, piezo senzorja in vizualnih izhodov (LED diod), ki jih nadzira Arduino mikrokrmilnik. Sistem napaja 9V baterija. Laserski senzor, priključen na digitalni pin 13, služi za zaznavanje prestopov, torej v situacijah, ko skakalec prekorači črto pred ali med skokom. Piezo senzor, povezan preko analognega vhoda (A0), meri pritisk na desko z ustvarjanjem napetosti pod mehansko silo. Vrednost spremembe napetosti se primerja z mejno vrednostjo, če jo presega, se registrira veljaven dotik in se začne merjenje časa skoka in preverjanje prestopa med dotikom odzivne deske. Za krmiljenje višjih tokov (npr. laserja). Sistem uporablja tudi 5V rele, NPN tranzistor (npr. BC547) in dodatne upornike za zaščito komponent.

Uspešen skok se zgodi, ko uporabnik desko zapusti pred aktivacijo laserskega senzorja. V tem primeru sistem prižge zeleno LED diodo na pinu 4, ki trikrat utripa v hitrem ritmu. Ta vizualni signal pomeni, da je bil skok izveden pravilno. Hkrati se prek serijske povezave izpiše podrobnost o času odziva, na primer "Čas odziva: 320 ms!". Serijski izpis je namenjen predvsem

diagnostiki, saj sistem deluje neodvisno od zunanjega računalnika. Po uspešnem skoku sistem samodejno preide v stanje pripravljenosti po času, določenem s parametrom »restartDelay«.

Prestop pred dotikom deske se zgodi, če tekmovalec prekorači lasersko črto, še preden v celoti stopi na desko. Laserski senzor zazna prekinitev žarka, sistem pa takoj aktivira rdečo LED, ki ostane stabilno prižgana. Prestop se evidentira, merjenje časa odriva pa se ne sproži. Sistem čaka na ponastavitev, medtem ko uporabnik prejme jasen signal o napaki.

Prestop med dotikom deske je scenarij, kjer uporabnik med skokom (tj. med pritiskom na desko) prekorači lasersko črto. V tem primeru laserski senzor prekine merjenje časa odriva in takoj aktivira rdečo LED. Sistem razveljavi morebiten upad upornosti piezo senzorja, saj je skok razvrščen kot neveljaven. Rdeča LED dioda ostane prižgana do ponastavitve.

Nastavljivi parametri omogočajo kalibracijo sistema. Ti so prej omenjeni »restartDelay«, in »jumpTreshold«.

```
1 #define LASERPOWER 3
2 #define GREENPOWER 4
3 #define REDPOWER 5
4 #define LASEROUT 13
5 #define PIEZOOUT A1
6
7 struct SensorStatus {
8     bool touch;
9     bool laser;
10 };
11
12 SensorStatus status;
13 const int restartDelay = 2000;
14 const int touchStuckTreshold = 1000;
15 const int jumpOhmsTreshold = 100;
16 const int dividerResistor = 1000;
17 void updateSensors() {
18     int touch = analogRead(PIEZOOUT);
19
20     if (touch) {
21         buffer = touch * 5;
22         int Vout = (buffer) / 1024.0;
23         buffer = (5 / Vout) - 1;
24         int R2 = dividerResistor * buffer;
25         if (R2 < jumpOhmsTreshold) {
26             status.touch = true;
27         } else {
28             status.touch = false;
29         }
30     } else {
31         status.touch = false;
32     }
33     status.laser = digitalRead(LASEROUT);
34 }
35 }
```

Slika 30: Začetek programiranja

(Vir: Lasten vir)

```

36 void prestop(unsigned long casMedPristankomInPrestopom = 0) {
37   digitalWrite(REDPPOWER, 1);
38   Serial.println("Prestop!");
39   if (casMedPristankomInPrestopom != 0) {
40     Serial.print("Zgodil se je prestop, ko je noga še bila na deski. To se je zgodilo ");
41     Serial.print(casMedPristankomInPrestopom);
42     Serial.println("ms po prvem dotiku deske.");
43   }
44   delay(restartDelay);
45   digitalWrite(REDPPOWER, 0);
46 }
47 void doberSkok(unsigned long casOdriva) {
48   digitalWrite(GREENPOWER, 1);
49   Serial.println("Skok uspesen!");
50   Serial.print("Cas odriva: ");
51   Serial.print(casOdriva);
52   Serial.println("ms!");
53   delay(restartDelay);
54   digitalWrite(GREENPOWER, 0);
55 }
56 void nadaljuj() {
57   Serial.println("Cakanje na skok.\n\n");
58   digitalWrite(GREENPOWER, 1);
59   delay(50);
60   digitalWrite(GREENPOWER, 0);
61   delay(50);
62   digitalWrite(GREENPOWER, 1);
63   delay(50);
64   digitalWrite(GREENPOWER, 0);
65   delay(50);
66 }

```

Slika 31: Programiranje izpisa informacij

(Vir: Lasten vir)

```

68 void cakaJodriv() {
69   unsigned long startTime = millis();
70
71   while (true) {
72     updateSensors();
73     if (!status.touch) {
74       doberSkok(millis() - startTime);
75       break;
76     }
77     if (!status.laser) {
78       prestop(millis() - startTime);
79       break;
80     }
81     if (millis() > startTime + touchStuckTreshold) {
82       touchStuck();
83       break;
84     }
85     delay(1);
86   }
87   nadaljuj();
88 }
89
90 void touchStuck() {
91   Serial.print("Piezo senzor je pod pritiskom za več kot: ");
92   Serial.print(touchStuckTreshold);
93   Serial.println("ms!");
94   while (status.touch) {
95     digitalWrite(REDPPOWER, 1);
96     delay(100);
97     updateSensors();
98     digitalWrite(REDPPOWER, 0);
99     delay(100);
100  }
101  digitalWrite(REDPPOWER, 0);
102  Serial.println("Piezo senzor izpuščen!");
103 }

```

Slika 32: Programiranje regulacije skoka

(Vir: Lasten vir)

```

104
105 void setup() {
106   Serial.begin(9600);
107   pinMode(LASEROUT, INPUT);
108   pinMode(PIEZOOOUT, INPUT);
109   pinMode(LASERPOWER, OUTPUT);
110   pinMode(GREENPOWER, OUTPUT);
111   pinMode(REDPOWER, OUTPUT);
112
113   digitalWrite(LASERPOWER, 1);
114 }
115
116 void loop() {
117   updateSensors();
118   if (!status.laser) {
119     prestop();
120     nadaljuj();
121   }
122   if (status.touch) {
123     cakajOdriv();
124   }
125 }
126 }
127

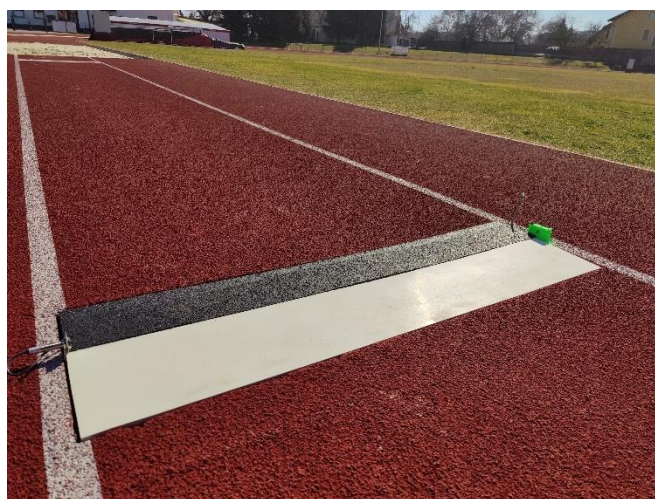
```

Slika 33: Programiranje setup-a in loop-a

(Vir: Lasten vir)

6. Testiranje končnega izdelka

Ko je bil izdelek končan, smo ga testirali tudi na terenu, na Atletskem stadionu Poljane. Našo desko smo namestili v vdolbino, tako kot so postavljene deske med tekmovanji. Sledilo je preverjanje komponent ter zagon programa. Testirali smo s tremi zaporednimi koraki, nato smo naredili test ali delujejo piezo senzorji in če laserski senzor zazna prekinitvev kadar piezo senzorji ne zaznajo spremembe in ali ob stiku s piezo senzorji ter s prekinitvijo laserskega senzorja zazna prestop. Ko smo videli, da v osnovi vse deluje, smo naredili še dvanajst skokov, od katerih približno polovico veljavnih in polovico neveljavnih s prestopom. Po končanih skokih smo bili z delovanjem deske zelo zadovoljni, saj je naš sistem deloval učinkovito in atraktivno, predvsem pa zanesljivo iz vidika določanja veljavnih oz. neveljavnih skokov.



Slika 34: Testiranje deske na atletskem stadionu Poljane Maribor (Vir:Lasten vir)

Elektronska modifikacija naše deske je bila relativno poceni, saj je nakup vseh komponent stal okoli 150 evrov. Podobne komponente bi lahko nameščali na že obstoječe deske v preostalih atletskih klubih, tako jim ne bi bilo potrebno kupovati novih. Morebitna težava bi se pojavila pri starejših tipih deske, ki nimajo dna in so dvignjene le s pomočjo okvirja. V takšnem primeru bi nastal problem s tankoplastnimi senzorji tlaka, saj ob odzivu ne bi zaznali spremembe tlaka. Še en problem bi bila namestitve laserskega senzorja, ki ga zaradi tanke odzivne površine ne bi mogli pritrditi na desko. V takšnih primerih bi kupec moral za izvedbo deske uporabiti našo standardno desko in bi ga material skupaj z desko stali okvirno 400 do 500 eur.

7. Družbena odgovornost

Z izdelavo deske smo želeli atletske disciplino skoka v daljino narediti še bolj atraktivno in sodnikom omogočiti elektronski nadzor pri regularnosti skokov. Čeprav je v atletske disciplini skoka v daljino takšnih napak malo, bi lahko z našo odzivno desko te napake zmanjšali na minimum. Sodnik bo tako lahko sprejel odločitev o prestopu s pomočjo elektronske odzivne deske, ki bo 100% zanesljiva. S tem bi tudi bistveno skrajšali čas, ki je potreben za odčitavanje odtisa, kar posledično pomeni, da lahko tudi režiser v TV prenosu v živo, bistveno hitreje preklaplja med disciplinami in tako gledalcu omogoči zanimivejši ogled prenosa tekme.

Prav tako smo prepričani, da bo naša senzorična odzivna deska, ki bo ob odzivu tekmovalca takoj odreagirala s svetlobnimi signali, velika atrakcija tudi za gledalce. S takšnimi zanimivimi elektronskimi posodobitvami lahko šport le pridobi na gledanosti. Večja gledanost pomeni več sponzorjev, kar posledično pomeni več denarja in s tem boljše pogoje za razvoj športa, v našem primeru - atletike.

Hkrati bi lahko s tovrstnim sistemom zmanjšali nepotreben odvečni čas med skokom enega in nastopom naslednjega tekmovalca. Tekmovanje bi potekalo hitreje in bi bilo bolj dinamično. Točno tako, kot si to želijo gledalci in medijske hiše, ki v živo prenašajo tekmovanja.

(Povzeto iz: Kronvogel, Kamilo in Krajnc, Aljoša. 2024. Senzorična odzivna deska: inovacijski predlog. Maribor, [K. Kronvogel in A. Krajnc].)

8. Zaključek

Pri raziskovanju našega inovacijskega predloga smo se srečevali s kar nekaj izzivi, tako s strani tehnike kot tudi s strani izvedbe. Tako smo na primer testirali več senzorjev in laserjev, ter preizkušali njihovo povezljivost z mikrokrmilniki. Ker večina ni bila primernih, smo se odločili za sistem, ki se nam je zdel najbolj optimalen oz. natančen. Ta sistem, ki smo ga sestavili, je plod delovanja več sistemov, ki omogočajo dvojno preverjanje in je tako enostavno uporaben za vse deležnike, ki sestavljajo tekmovanje (športniki, sodniki, gledalci). V vseh fazah raziskovanja smo torej našli ustrezno rešitev in tudi v celoti prišli do zaključka, da je izdelava takšne odrivne deske mogoča. Ta naloga je bila še toliko bolj zapletena, saj ničesar takšnega zaenkrat še ni na tržišču. Produkta, ki bi bil podoben našemu, da bi ga lahko proučili ter na nek način le izboljšali, nismo našli nikjer. Izdelava in kasneje uporaba takšne odrivne deske, bo tako na tržišču povsem nekaj novega in bo atletske discipline ter sojenje le teh predstavila v drugačni obliki. Idejo in njeno predstavitev smo predstavili tudi Tehnično tekmovalni komisiji, delovnemu telesu Atletske zveze Slovenije. Nad samo zamisljivo so bili navdušeni in nam ob izdelavi za svetovanje ponudili tudi svojo strokovno pomoč. Sistem, ki smo ga izdelali nameravamo v prihodnje še dodelati in patentirati, pri čemer smo se že pozanimali pri verifikacijskem delovnem telesu Svetovne atletske federacije (WA). Glede na pozitiven odziv Atletske zveze Slovenije, atletske sodnikov, športne javnosti in tekmovalcev, pa se veselimo, ko bomo odrivno desko z vsemi senzorji in laserji tudi v več klubih lahko predstavili in jih morda tudi prepričali v modifikacijo/nadgradnjo njihove že obstoječe deske ali pa v nakup našega izdelka.

(Prirejeno po: Kronvogel, Kamilo in Krajnc, Aljoša. 2024. Senzorična odrivna deska: inovacijski predlog. Maribor, [K. Kronvogel in A. Krajnc].)

9. Literatura in viri

- Atletska pravila, pridobljeno in citirano 3. 2. 2025 iz: https://slovenska-atletika.si/wp-content/uploads/2020/10/Tekmovalna-in-tehnicna-pravila_2020_koncna_pop_webAZS.pdf
- Kronvogel, Kamilo in Krajnc, Aljoša. 2024. Senzorična odrivna deska: inovacijski predlog. Maribor, [K. Kronvogel in A. Krajnc].
- Laserski senzor, pridobljeno 22. 12. 2024 iz: <https://www.baumer.com/us/en/precise-laser-sensor-for-detection-of-very-small-objects-to-0-05-mm/n/O200-miniature-sensors-reliable-precise-simple-and-digital>
- Mikrokrmilnik, pridobljeno 27. 1. 2025 iz: <https://www.delko.si/sl/blog/nekaj-malega-o-mikrokrmilnikih/>
- LED diode, pridobljeno 2. 2. 2025 iz: <https://www.amazon.co.uk/Sourcingmap-Diffused-Lighting-Electronic-Components/dp/B07G3TM4MS>
- Primerjalna analiza zaleta skoka v daljino med slovenskimi in tujimi skakalci, pridobljeno 3. 2. 2025 iz: <https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:EU:2a8bfaf0-0812-435b-921d-bedda3034276?viewer%21megaVerb=group-discover>