

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli



Matija Hamer

**IZRADA UGRADBENOG RAČUNALNOG SUSTAVA ZA PRAĆENJE
FILTRIRANJA ŠKOLJKAŠA POMOĆU HALL SENZORA**

Završni rad

Pula, rujan 2022.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Fakultet informatike u Puli



Matija Hamer

**IZRADA UGRADBENOG RAČUNALNOG SUSTAVA ZA PRAĆENJE
FILTRIRANJA ŠKOLJKAŠA POMOĆU HALL SENZORA**

Završni rad

JMBAG: 0246075353, redoviti student
Studijski smjer: Informatika
Kolegij: Programsko inženjerstvo
Mentor: doc. dr. sc. Nikola Tanković

Pula, rujan 2022.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani **Matija Hamer**, kandidat za **prvostupnika informatike** ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljeni način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

Matija Hamer

U Puli, _____ 6.09.2022.



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, **Matija Hamer** dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom

**“ Izrada ugradbenog računalnog sustava za praćenje filtriranja školjkaša
pomoću hall senzora“**

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 6.09.2022.

Potpis

Zahvala

Zahvaljujem svojem mentoru doc. dr. sc. Nikoli Tankoviću, na vođenju, ukazanoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovoga rada.

Hvala prof. dr. sc. Bojanu Hameru na voditeljstvu i savjetima tijekom stručne prakse koji su pridonijeli osmišljavanju ovog rada, njegovoj kvaliteti, kao i potencijalnoj primjeni.

Zahvalio bih obitelji, prijateljima i ostalim bližnjima koji su bili uz mene tijekom mogeg školovanja te mi pružali podršku i pomoć, motivaciju i snagu kako bi mogao ostvariti svoje ciljeve.

Sadržaj:

Sažetak.....	1
Cilj	2
1. Uvod.....	3
1.1. Modelni organizam - dagnja <i>Mytilus galloprovincialis</i>	4
2. Korištene tehnologije	6
2.1. Korištene komponente	7
a) Mikrokontrolerska platforma Arduino.....	7
b) Senzori.....	8
2.2. Spajanje senzora na VG-MM sustav putem UTP kabel.....	8
2.3. Povezivanje mikrokontrolera i računala te smještaj senzora	9
2.2. Softver	10
2.2.1. Arduino IDE.....	10
2.2.2. WebSocket protokol	11
2.2.3. Korisničko sučelje.....	13
3. Opis prikupljenih podataka otvorenosti ljuštura (VG) dagnji.....	14
3.1. Očitavanje vrijednosti hall senzora magnetskog toka.....	14
3.1. Obrada prikupljenih podataka	16
3.2. Design laboratorijskog experimenta s dagnjama	16
3.3. Rezultati mjerenja VG filtriranja dagnji tijekom aklimacije	17
3.4. Rezultati praćenja VG filtriranja dagnji tijekom izlaganja predaciji.....	18
4. Zaključak.....	19
5. Literatura	20
6. Popis korištenih dijelova i opreme.....	22
7. Prilozi	23
7.1. Shema glavnog kućišta.....	23
7.2. Programski kod VG-MM WiFi sustava.....	24

Sažetak

Školjkaši (bivalvia) su pogodni indikatorski organizmi za biomonitoring i procjenu kvalitete okoliša jer hrane se i dišu pomoću škrga, filtriraju velike količine morske vode, fitoplanktona i partikularne organske tvari te tako akumuliraju i prisutna zagađivala, a ujedno pročišćuju okoliš. Sukladno uvjetima u okolišu i prisutnom zagađenju školjkaši reagiraju na stresne uvjete promjenom ponašanja, zatvaranjem i otvaranjem ljuštura mjenjajući intenzitet filtriranja. Uslijed izloženosti zagađivalima nastaju i drugi biološki učinci, od oštećenja i promjena na razini molekula, organela, stanica, tkiva, organa, organskih sustava, do cijelog organizma.

Komunikacijom i suradnjom s znanstvenicima Centra za istraživanje mora u Rovinju Instituta Ruđer Bošković, ukazala se potreba za razvojem ugradbenog računalnog sustava koji bi mjerio odabrane parametre okoliša i pratio funkciju filtriranja mjerenjem otvorenosti ljuštura engl. *Valve Gaping* (VG) tijekom eksperimentalnih izlaganja školjkaša, prvenstveno dagnji *Mytilus galloprovincialis*.

Za tu potrebu razvijen je VG-MM engl. *Valve Gaping - Mussel Monitor* sustav na bazi Arduino mikrokontrolera prvenstveno namijenjenom za laboratorijski eksperimentalni rad s školjkašima. VG-MM sustav omogućava ovisno o potrebi spajanje 6 ili 12 Hall senzora i praćenje VG funkcije istog broja školjkaša spojenih na uređaj ili 6 senzora spojenih putem UTP kabla dužine 20 m za mjerenje VG dagnji u vanjskim bazenima, odnosno putem WIFI mreže.

Kao osnova za izradu ugradbenog računalnog sustava odabrana je mikrokontrolerska platforma Arduino zbog višestruke funkcionalnosti: male potrošnje struje, velike modularnosti i dostupnosti-dobavljalivosti komponenti. Za mjerenje VG funkcije filtriranja tj. otvorenosti ljuštura školjkaša odabrani su analogni Hall senzori magnetskog toka, vodeći računa da sustav bude robustan, praktičan i funkcionalan, uz mogućnost daljnje nadogradnje, usavršavanja i potencijalne široke primjene nastalog prototipa ugradbenog računalnog sustava VG-MM-a.

Razvijen VG-MM sustav uspješno je primijenjen za praćenje VG funkcije tj. normalnog filtriranja dagnji tijekom višednevnog laboratorijskog držanja u bazenima (0-24 sata) te real time opažanja napada i predacije dagnji nakon izlaganja invazivnom grabežljivom plaštenjaku *Imogine mediterranea* kao primjeru racentne prijetnje u uzgajalištima školjkaša na području Istarske županije.

Cilj

U Hrvatskoj znanstvenoj zajednici do sada nisu se provodila *in vitro* i *in situ* istraživanja filtriranja školjkaša putem takvog sustava. U svijetu, u literaturi ima različitih rješenja za mjerenje otvorenosti ljuštura engl. *Valve Gaping* (VG) školjkaša, većinom primijenjena rješenja i računalni sustavi su kompleksni, skupi i/ili nedostupni.

Komunikacijom i suradnjom s znanstvenicima Centra za istraživanje mora u Rovinju Instituta Ruđer Bošković, ukazala se potreba za razvojem ugradbenog računalnog sustava koji bi mjerio odabrane parametre okoliša i pratio funkciju filtriranja školjkaša mjerenjem otvorenosti ljuštura (VG).

Dizajn i izrada VG-MM prototipa uređaja za kontinuirano praćenje otvorenosti ljuštura kao funkcije filtriranja dagnji napravljen je za potrebe dokumentiranja i određivanja učinka čimbenika stresa iz okoliša, modelnih zagađivala (PAH, PCB, teški metali, nanočestice, nano/mikroplastika), mješavina zagađivala (uzorci iz okoliša) na filtriranje školjkaša tijekom eksperimentalnih izlaganja u laboratoriju, kao i drugih ugroza.

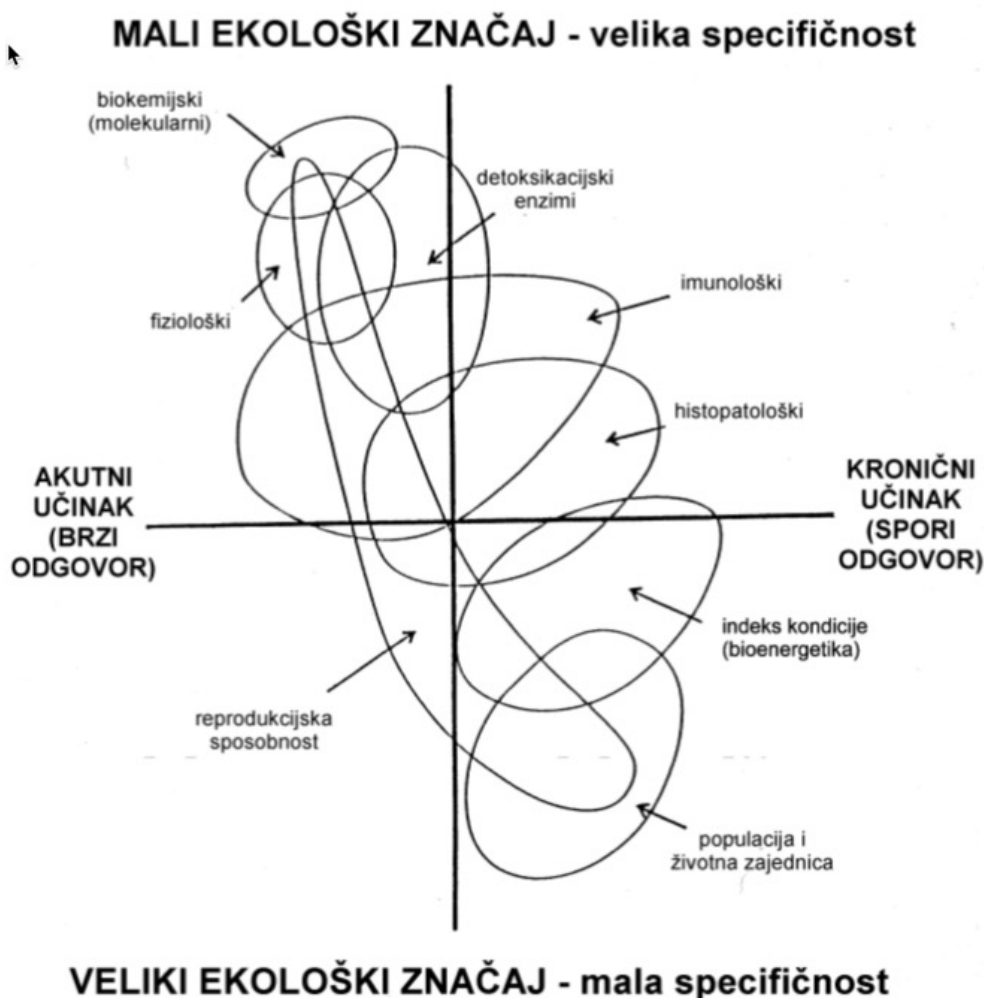
Za demonstraciju funkcioniranja VG-MM sustava i mjerenje funkcije filtriranja, odnosno VG otvorenosti ljuštura odabrano je laboratorijska aklimacija dagnji laboratorijskim uvjetima (bazen, protočna morska voda normalnog saliniteta 37 psu uz aeraciju) i *real time* monitoring VG ponašanja dagnji tijekom napada i predacije od strane invazivnog plošnjaka *Imogine mediterranea*.

1. Uvod

Vođeni idejom primjene stečenih znanja iz informatike i računarstva odlučili smo odabrati temu završnog rada „Izrada ugradbenog računalnog sustava za praćenje filtriranja školjkaša pomoću Hall senzora“ u sklopu suradnje i odrađivanja stručne prakse u Centru za istraživanje mora Rovinj, jednim od zavoda Instituta Rurđer Bošković, Zagreb.

Praćenje filtriranja školjkaša u svrhu određivanja dobrog stanja okoliša i vitalnosti samih školjkaša ima široku primjenu (Goldberg i sur., 1978; Gosling, 1992). Zadnjih desetak godina istraživanja odstupanja od normalnog ponašanja kao reakcije na stres i izloženost zagađivalima su se intenzivirala dostupnošću raznih računalnih sustava i senzora (Robson i sur., 2009; Przymus i sur., 2014; Miller i Dowd, 2017; Gleason i sur., 2017).

Zagađivala djeluju na biološke sustave na više razina, ali sva kemijska zagađivala moraju početno djelovati tako što mijenjaju strukturu i/ili funkcionalna svojstva molekula neophodnih za stanične aktivnosti (**Slika 1**).



Slika 1. Razine biološkog odgovora organizma na izloženost stresu i zagađivalima u okolišu u ovisnosti o vremenu nastanka učinka i ekološkoj značajnosti (specifičnosti) (Prema Adams i sur., 1989).

1.1. Modelni organizam - dagnja *Mytilus galloprovincialis*

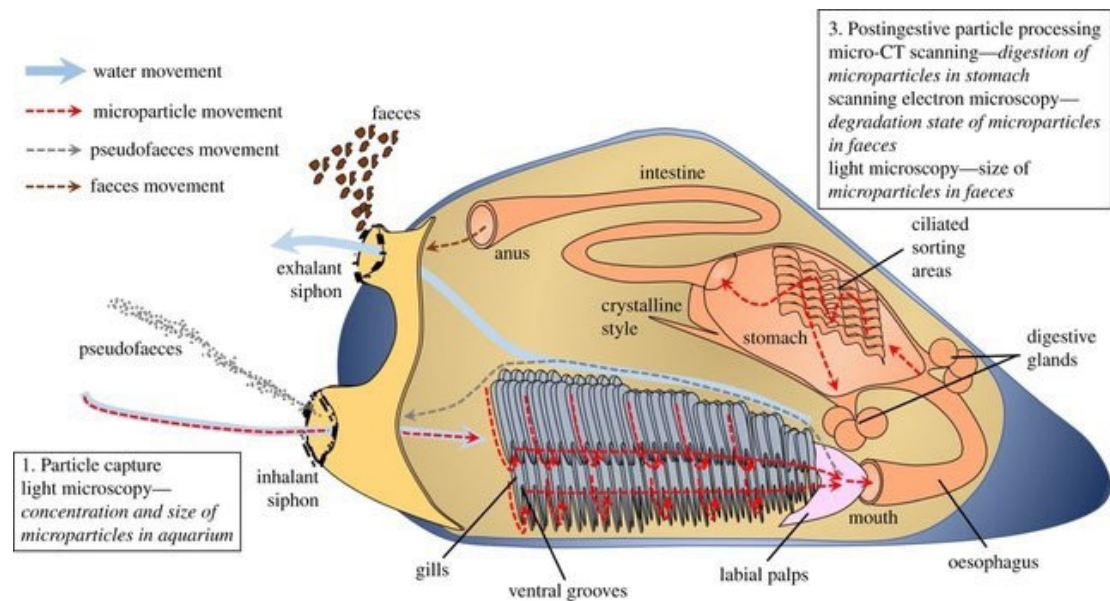
Mediterranska dagnja *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Koljeno: Mollusca, Razred: Bivalvia, Red: Filibranchia, Porodica: *Mytilidae*, Rod: *Mytilus*) filtrira velike količine morske vode (do 4 L/h) pomoću škrga te se tako hrani i diše, a uz put akumulira i zagađivala iz okoliša. Stoga se dagnje koriste kao dobar modelni, indikatorski organizam za praćenje ekoloških uvjeta i onečišćenja, a dagnja je komercijalno važna vrsta te se uzgaja uzduž hrvatske obale Jadrana i šire (**Slika 2**).

Sukladno s uvjetima u okolišu i izloženosti zagađivalima dagnja reagira na više različitih načina: od promjene u ponašanju (otvorenost ljuštura, intenzitet filtriranja) do promjene u građi i sastavu stanica i tkiva (**Slika 1**). Temperatura mora i salinitet morske vode su odlučujući abiotički čimbenici rasprostranjenosti te utječu na niz životnih procesa od intenziteta filtriranja i disanja (**Slika 3**), sazrijevanja gonada i početak mrijesta, razvoja i preživljavanja odraslih jedinki, kao i razvojnih stadija. Dagnje za razliku od kamenica, podnose široki raspon vrijednosti ekoloških čimbenika, tako da samo ekstremni uvjeti u okolišu naročito temperature tijekom ljeta i zime mogu uzrokovati povećanu smrtnost prirodnih populacija i onih u uzgajalištima. Unatoč tome što je dagnja prilagođena na ekstremne uvjete života (litoralno područje, zona plime i oseke) za vrijeme ekstremnih okolišnih uvjeta, natprosječno toplih ili kišovityh perioda, uslijed nedostatka hrane i povećane potrošnje pričuvne tvari, brzo se iscrpe, smanjuje im se udio mesa, kao i vitalnost te nakon kroničnog stresa i ugibaju (Hamer i sur., 2008; 2010; Pavičić-Hamer i sur., 2016)

Istraživanja otkucaja srca i otvorenosti ljuštura (filtriranje) školjkaša pokazuju postojanje cirkadijskog ritma kojem podliježu svi organizmi od jednostaničnih mikroorganizama do čovjeka (Gosling, 1992). Biološki sat je vezan za svjetlosno-hormonalni ritam te izmjenu dana i noći. Antropogeno zagađenje kao i promjena fizikalno-kemijskih parametara okoliša (temperatura, salinitet, pH) imaju posljedice na ponašanje školjkaša, što se onda uz poznavanje „normalnog“ ponašanja može koristiti kao pokazatelj/biomarker dobrog stanja okoliša.



Slika 2. Dagnja *Mytilus galloprovincialis*: A) tradicionalni uzgoj u pergolarima, B) prerezana otvorena dagnja, C) zatvorena dagnja, D) shematski prikaz dagnje koja filtrira (pogled od gore).

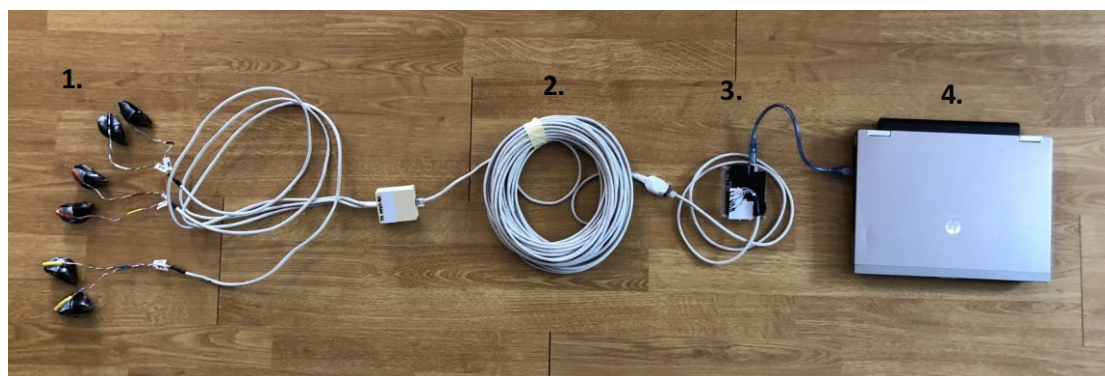


Slika 3. Shematski prikaz građe i filtriranja dagnje (Willer i Aldridge, 2017).

Dosadašnja istraživanja praćenja ponašanja VG školjkaša dagnji u stvarnim uvjetima okoliša (otkucaji srca i otvorenosti ljuštura) nekad su uključivala sofisticiranu i skupu tehnologiju (računala i senzore) koju je bilo teško, rizično i skupo postavljati na terenu (Borcherding, 2006). Ta se metodologija većinom koristila za praćenje odgovora dagnji na stres u eksperimentalnim uvjetima u laboratorijima (Cameau i sur., 2018).

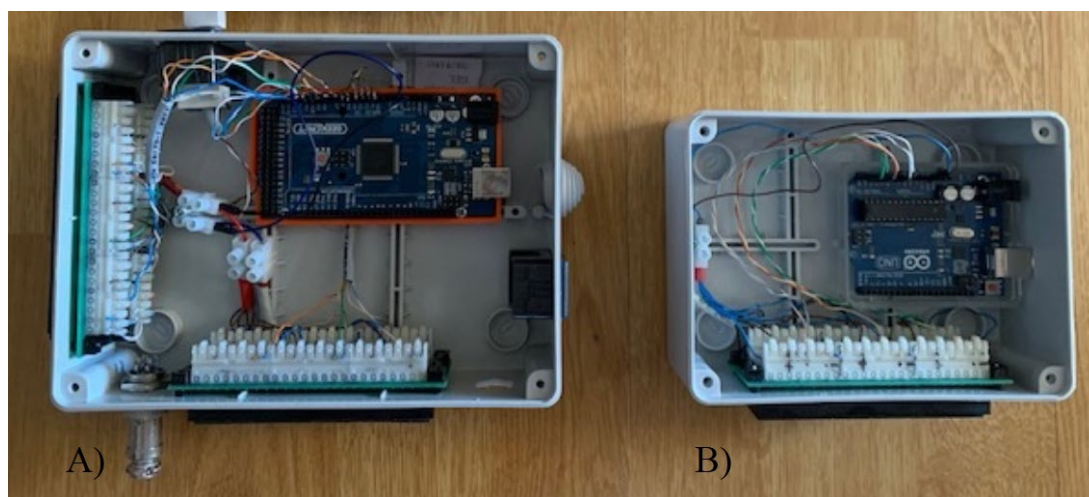
2. Korištene tehnologije

Kao osnova za izradu ugradbenog računalnog sustava odabrana je mikrokontrolerska platforma Arduino zbog funkcionalnosti, male potrošnje struje, velike modularnosti i dostupnosti-dobavljalivosti komponenti. Za mjerenje funkcije filtriranja VG tj. otvorenosti ljuštura školjkaša odabrani su analogni Hall senzori magnetskog toka, vodeći računa da sustav bude robustan, praktičan i funkcionalan, a uzimajući u obzir mogućnost potencijalne komercijalizacije nastalog prototipa VG-MM (engl. *Valve Gaping - Mussel Monitor*). Obzirom na potrebe znanstvenika, u dogovoru s mentrom odlučeno je da se mikrokontrolerski sustav VG-MM poveže direktno s prijenosnim računalom, što omogućava direktnu konfiguraciju tj. upravljanje sustavom, prijenos i pohranu podataka (Internet veza) na cloud (npr. Dropbox) (**Slika 4**).



Slika 4. Radni prototip mikrokontrolerskog sustava VG-MM za praćenje funkcije filtriranja (VG) dagnji: 1. dagnje s spojenim Hall sensorima (6); 2. Produžni UTP kabel; 3. Mikrokontroler Arduino; 4. Prijenosno računalo.

Za potrebe eksperimentalnog rada i praćenja VG razvijeno je nekoliko različitih sustava VG-MM (**Slika 5**).



Slika 5. Izvedeni laboratorijski mikrokontrolerski sustavi (VG-MM) za praćenje VG ponašanja, filtriranja za: A) 12 dagnji (6+6 kanala, UTP panel, Arduino Mega 2560 R3) uz mogućnost praćenja uvjeta u prostoru tijekom pokusa te temperature morske vode; B) 6 dagnji (6 kanala, UTP panel, Arduino Uno WIFI R2) koji ima mogućnost wifi povezivanja i prebacivanja podataka na lokalnu mrežu.

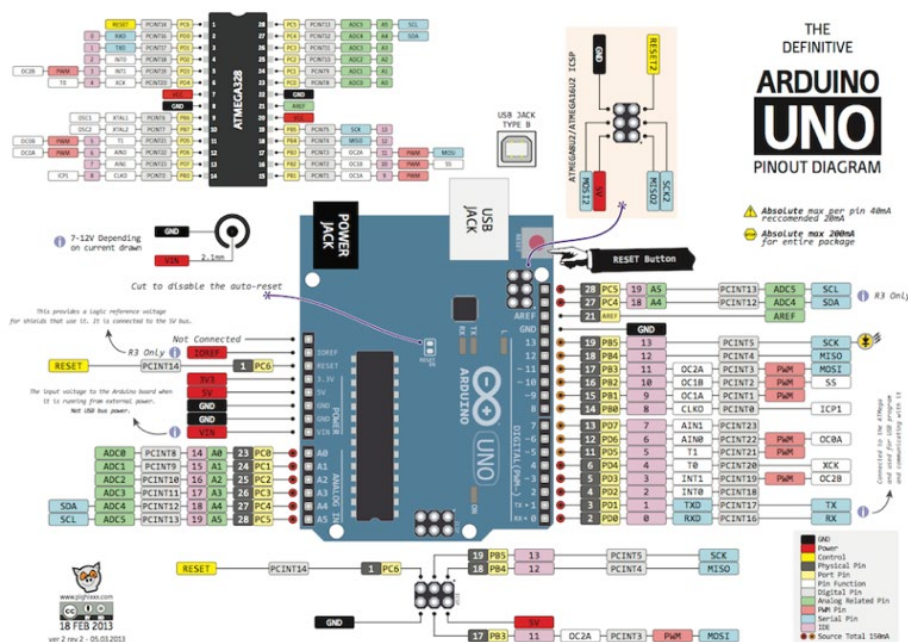
2.1. Korištene komponente

a) Mikrokontrolerska platforma Arduino

Pojavom jeftine i prije svega dostupne mikrokontrolerske platforme Arduino pokrenula se „revolucija“ automatizacije i kontrole različitih poslova, radnji i procesa u domaćinstvima i u poslovne svrhe. Ovim radom primijenio sam dostupnu tehnologiju mikrokontrolera (Arduino) i senzora/sondi (www.ebay.com) za praćenje zadanih parametara. Najpoznatija ploča iz mikrokontrolerske platforme Arduino je Arduino Uno (**Slika 6**). Arduino ima mikrokontrolerski čip (npr. ATMEGA328) koji radi na taktu 16 MHz, u koji je integrirana određena količina flash memorije (većinom 32 kB) za korisnički program i eventualne podatke te RAM od 2 kB (ovisno o modelu). Za razliku od računala i Raspberry Pi platforme na Arduino se ne instalira nikakav operacijski sustav (OS), nego korisnički program je jedini kod koji se izvršava na njemu, uz eventualno bootloader, mali program koji omogućuje programiranje mikrokontrolera preko USB porta i koji nakon uključivanja Arduina svu kontrolu daje korisničkom programu. Ploča Arduino Uno nema mogućnost povezivanja, ali na nju se mogu spojiti komponente prijavnika/odašiljača: Bluetooth, WIFI, GSM i radio 433 Hz i 2,4 mHz. Arduino nema video izlaz, nego se na platformu spajaju mali LCD ili OLED ekrani, prekidači, releji i senzori, a podaci se mogu pohranjivati direktno u memoriju mikrokontrolera ili prenositi na računalo.

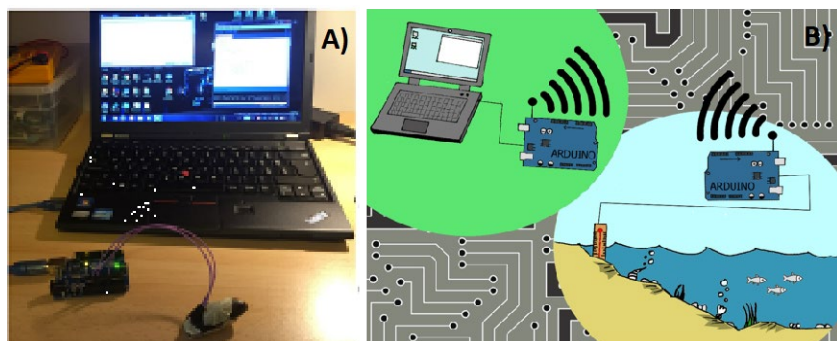
Uz cijenu, glavna prednost Arduino platforme za elektroničke projekte jest:

- troši dosta manje električne energije za razliku od računala i Raspberry platforme, tj. pogodan je za korištenje s baterijama koje se mogu po potrebi lako nadopunjavati solarnim ćelijama,
- ima analogno-digitalni konverter (ADC) sa barem 6 - 24 pinova,
- postoje biblioteke programa s primjerima za korištenje ogromnog broja raznoraznih senzora i elektroničkih komponenti,
- postoje 100% kompatibilni klonovi koji su značajno jeftiniji od originala.



Slika 6. Arduino Uno – najpoznatija ploča iz mikrokontrolerske platforme Arduino.

Prednost Arduino platforme je velika modularnost i mogućnost prilagodbe sustava konkretnom zadatku (**Slika 7**).

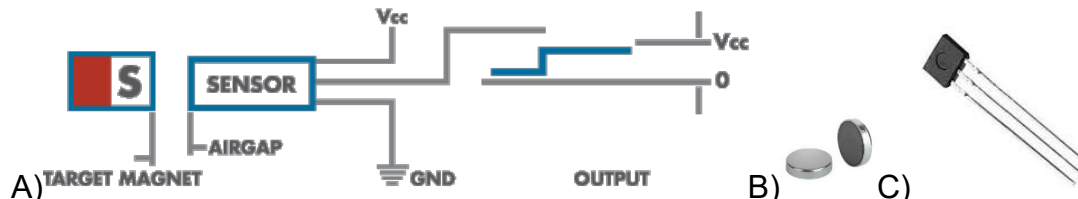


Slika 7. Moj prvi demonstracijski sustav za mjerenje otvorenosti ljuštura dagnje *M. galloprovincialis*: A) računalo, mikrokontroler, dagnja s Hall senzorom razvijen za početne demonstracijske potrebe mjerenja; B) hipotetski planirani mikrokontrolerski sustav za online praćenje ponašanja dagnji za potrebe terenskih istraživanja.

b) Senzori

Hall senzori za mjerenje funkcije filtriranja - otvorenosti ljuštura (VG)

Funkcija filtriranja (otvorenost /zatvorenost školjke) je praćena pomoću Hall senzora magnetskog toka (engl. *Hall effect proximity switch*) koji je vodootporno izveden i prilagođen radu u morskoj vodi te pričvršćen na suprotnoj ljušturi od magneta na školjki dagnje (**Slika 8 i 9**).



Slika 8. Mjerenje otvorenosti ljuštura dagnji pomoću Hall senzora magnetskog toka: A) princip rada Hall senzora; B) magneti; C) Hall senzor.

2.2. Spajanje senzora na VG-MM sustav putem UTP kabel

Zbog jednostavnosti i unaprijed riješenih problema koristio sam kruti UTP kabel sa 8 žica koje su umotane tako da uklone nastanak smetnji i pojednostave spajanje zasebnih žica. Tijekom testiranja mogućih rješenja spajanja ovih 8 žica napravljen je prototip za spajanje dva senzora po kabelu, te su tri takva UTP kabla (ukupno 6 senzora) spojeni na jedan UTP razdjelnik koji na suprotnom kraju završava ženskom UTP utičnicom.

Obzim da bazeni-akvariji s dagnjama znaju biti udaljeni od računala te zbog mogućeg prskanja i prolijevanja morske vode, napravljen je dodatni produžni UTP kabel (20 m) koji omogućuje mjerenje funkcije VG sa sigurne udaljenosti.

Za potrebe narednih prototipova VG-MM spajanje senzora je izvedeno na kablove ISDN telefonskih priključaka (4 žice), dužine 1 m s muškom ISDN

stopicom, koja se jednostavno utakne u ISDN/UTP switch panel na kutiji glavnog kućišta (**Slika 5**).

Pokazalo se vrlo funkcionalno izkoristiti za spajanje ISDN telefonske kablove zajedno s originalnom stopicom i ISDN/UTP switch panele. Navedeni materijal je moguće kupiti, a i nabaviti preko npr. Njuškala (www.njuskalo.hr). Također je moguće putem odgovarajućeg kabela (UTP, ISDN) ovisno o broju potrebitih žica i priključka na sustav se mogu spojiti i druge analogne i digitalne senzore npr. za saliniteta, pH, kisik itd. (**Slika 9 i 5**).



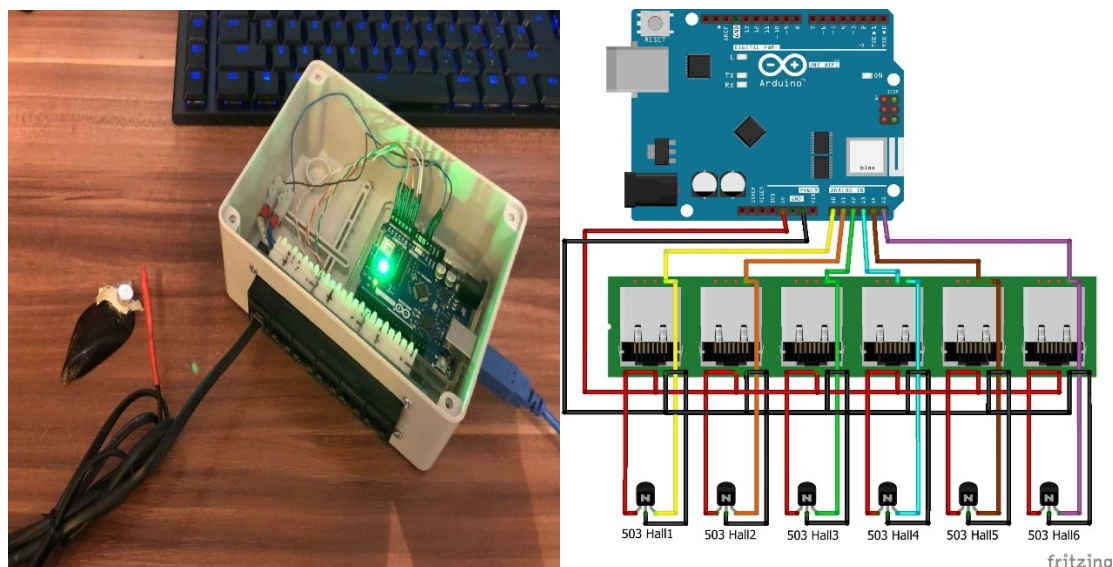
Slika 9. Različiti načini pričvršćivanja senzora i magneta na ljušturu dagnji.

2.3. Povezivanje mikrokontrolera i računala te smještaj senzora

Za dizajn VG-MM glavnog kućišta/sustava s mikrokontrolerom, UTP/ISDN pach/switch panela i računala te smještaj senzora korišten je program Sketch up, koji služi za konstrukciju objekata u 3D-u.

U glavnoj kutiji je smješten VG-M sustav za online praćenje ponašanja dagnji na kojega se spajaju hall senzori za svaku pojedinu dagnju, a u zasebnom kućištu su smješteni senzori za mjerenje uvjeta u okolišu.

Glavno kućište sadrži, mikrokontroler, ISDN patch panel i sve potrebite priključke (UTP i cinch). Kućište osigurava lako spajanje i zamjenu komponenti, a napravljena je od prilagođene električarske nadžbukne kutije (dimenzija 15x11x7 cm, DxŠxV) (**Slika 10**).



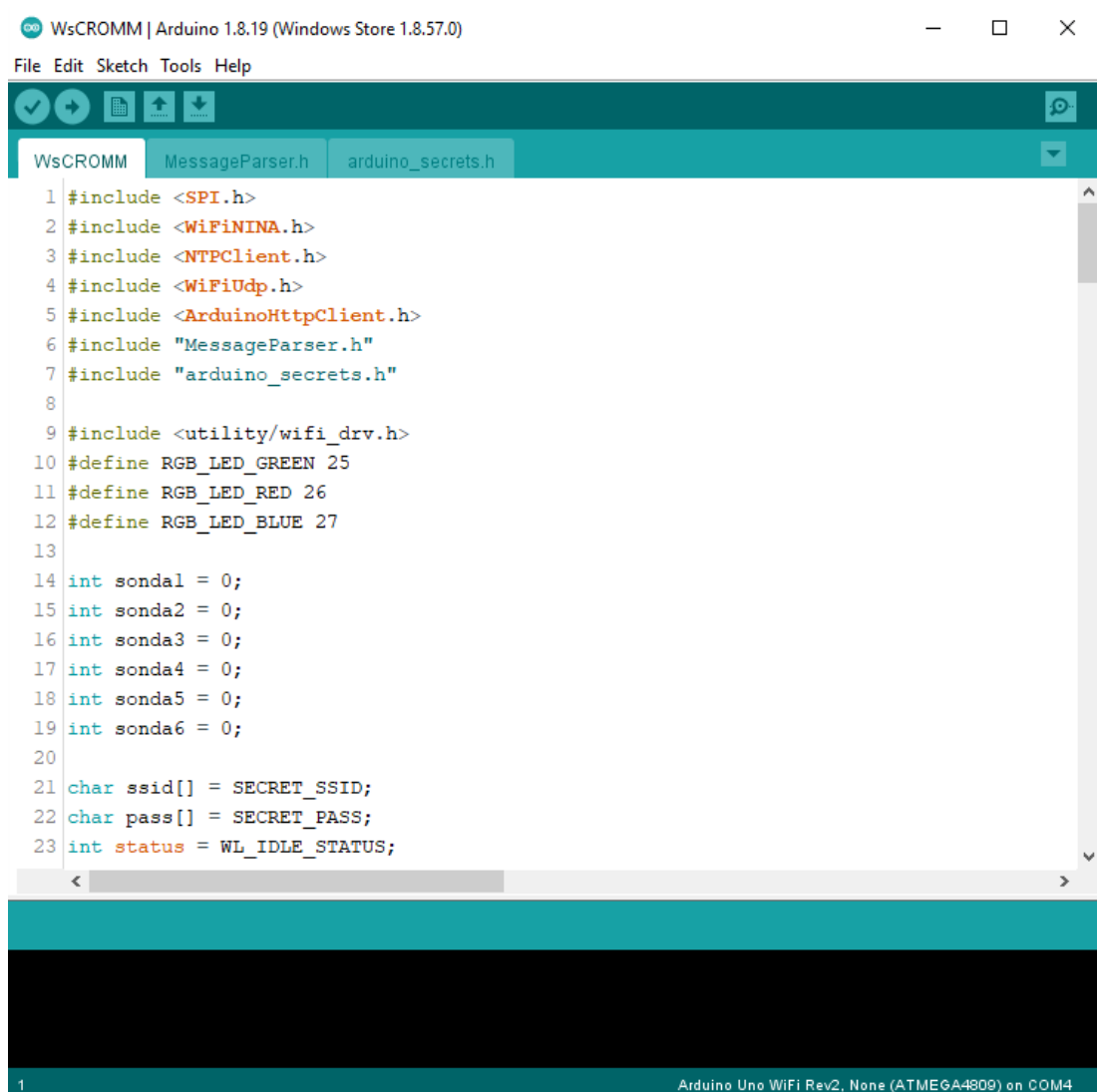
Slika 10. Centralno kućište i shema spajanja Hall senzora na mikrokontroler.

2.2. Softver

2.2.1. Arduino IDE

Za programiranje Arduino mikrokontrolera korišten je Arduino kodni jezik. Arduino jezik se temelji na C/C++ i najosnovniji izvršni program treba samo dvije funkcije, `setup()` i `loop()`, za pokretanje. Arduino pruža besplatno i jednostavno integrirano razvojno okruženje (IDE) (**Slika 11**). Ovaj je alat razvijen kako bi pomogao upoznati s programiranjem ljude koji nisu navikli na razvoj softvera, što ga je učinilo savršenim razne projekte.

Arduino IDE uglavnom se sastoji od uređivača koda i kompajlera, ali ima i neke izvrsne značajke koje korisniku olakšavaju učitavanje programa na uređaje i čitanje ulaza koji se šalje natrag s uređaja kroz serijski komunikacijski priključak.



Slika 11. Arduino integrirano razvojno okruženje.

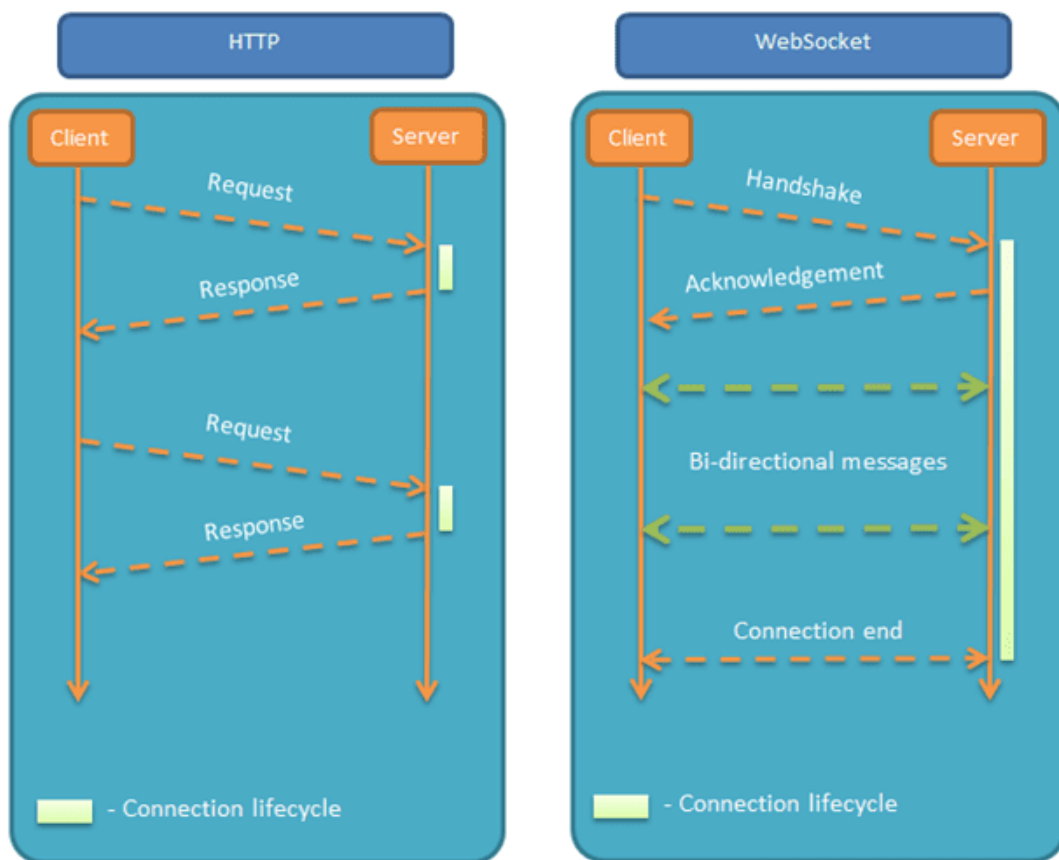
2.2.2. WebSocket protokol

Tijekom inicijalne faze programiranja Arduina sa WiFi-jem uspostavili su se problemi HTTP veze između Arduina i preglednika. Ti problemi su bili Zahtjev/Odgovor, stateless stanje i Half duplex protokol. Ukratko šta se točno događa je da web klijent šalje zahtjev web poslužitelju, web poslužitelj šalje odgovor i veza se zatvara. Ako klijent želi znati kontinuiranu promjenu stanja na poslužitelju, mora poslati zahtjev poslužitelju svaki određeni put kako bi dobio promjenu stanja na poslužitelju. Za moj primjer to je neučinkovito i rasipa resurse. Kao odgovor se pojavio WebSocket protokol.

WebSocket je stalna veza između klijenta i poslužitelja koja omogućuje dvosmjernu komunikaciju između obje strane koristeći TCP vezu. To znači da može slati podatke s klijenta na poslužitelj i s poslužitelja na klijenta u bilo kojem trenutku.

Klijent uspostavlja WebSocket vezu s poslužiteljem kroz proces poznat kao WebSocket rukovanje (eng. handshake). Rukovanje počinje HTTP zahtjevom/odgovorom, dopuštajući poslužiteljima da rukuju HTTP vezama kao i WebSocket vezama na istom portu. Nakon što se veza uspostavi, klijent i poslužitelj mogu slati WebSocket podatke u full duplex modu.

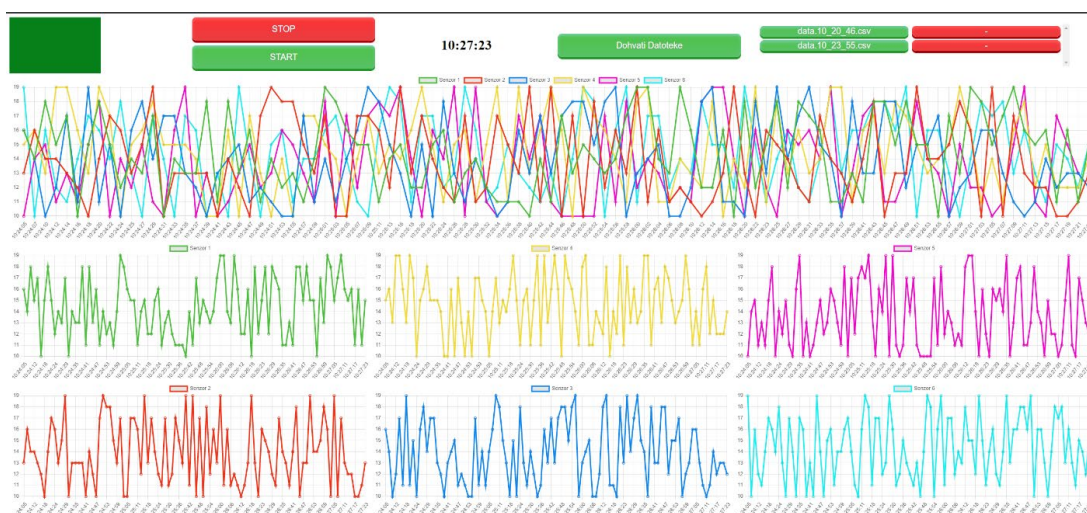
Koristeći WebSocket protokol, poslužitelj (Arduino ploča) može poslati informacije klijentu ili svim klijentima bez zahtjeva (**Slika 12**). To nam također omogućuje slanje informacija web pregledniku kada dođe do promjene. Ova promjena može biti nešto što se dogodilo na web stranici (kliknuli ste gumb) ili nešto što se dogodilo na strani Arduino, poput pritiskanja fizičkog gumba na strujnom krugu.



Slika 12. Razlike HTTP i WebSocket protokola.

2.2.3. Korisničko sučelje

Korštena su dva sučelja za praćenje mjerenja. Prvo sučelje je bilo razvijeno da radi na lokalnom računalu sa podacima koje prima sa serijskog komunikacijskog priključakaka, sastojilo se od trenutanih očitavanja senzora u brojčanom obliku i vremena. Kasnije je pozadinsko pokretanje sučelja prebačeno na vanjski server te su dodane razne funkcionalnosti kao što su grafovi, interaktivni elementi, preuzimanje datoteka (**Slika 13**) i mogućnost otvaranja sučelja na raznim uređajima preko web preglednika.



Slika 13. VG-MM Web sučelje za praćenje ponašanja-filtriranja dagnji.

Sučelje se većinom sastoji od Javascript programskog koda, dok je komunikacija obrađena u Pythonu. Programski kod prikazanog sučelja (**Slika 13**) i WiFi očitavanja Hall senzora (VG-MM)(**Slika 5B**) je pohranjen na GitHub repozitoriju pod nazivom „Modul za kontinuirano slanje podataka“ (<https://github.com/mathamer/MCS>).

3. Opis prikupljenih podataka otvorenosti ljuštura (VG) dagnji

3.1. Očitavanje vrijednosti hall senzora magnetskog toka

Preliminarni rezultati testiranja su pokazali da se analogni Hall senzor i magnet može uspješno namjestiti tako da daje zadovoljavajući signal tijekom normalnog, fiziološkog razmaka ljuštura (zatvorena – otvorena školjka) ca 1 cm uz izmjerene vrijednosti (min-max) senzora signal 215-340; 305-476; 500-650 ovisno o položaju senzora i magneta, odnosno veličini/broju magneta (**Slika 9**).

Orijentacija senzora i korištenih magneta je izvedena tako da se prilikom otvaranja ljuštura, vrijednost signala senzora povećava (215->340; 305->476; 500->650) sa smanjenjem magnetskog toka između Hall senzora i magneta.

Mjerenjem otvorenosti školjke VG dagnji tijekom aklimacije na uvjete u bazenu utvrđeno je da je VG funkcija otvaranja-zatvaranja ljuštura dagnji spora promjena koja traje 3-6 sekundi. Usporedbom frekvencija očitavanja rezultata (2 - 0,5 Hz), odnosno mjerenja senzora od 0,5 – 2 sekunde, utvrđeno je da frekvencija mjerenja jednom u sekundi dostatna da se zabilježi i najbrže zatvaranje ljuštura direktnim vanjskim podržajem. Navedena frekvencija AD konverzije 0.5 Hz ne dovodi do aliasinga rezultata mjerenja, te smo time izbjegli bespotrebno povećavanje broja podataka-mjerenja uz posljedično manje opterećenje računala prilikom analize istih. Platforma Arduino zadovoljava tehničke zahtjeve online monitoringa ponašanja VG školjkaša.

Npr. u slučaju mjerenja otvorenosti ljuštura - filtriranja 6 dagnji kroz 24 sata (1 dan) stvori se impozantna količina podataka:

- 6 dagnji x 24 sata x 60 minuta x 60 sekundi uz 2 Hz frekvenciju mjerenja = **259.200**
- 6 dagnji x 24 sata x 60 minuta x 60 sekundi uz 1 Hz frekvenciju mjerenja = **518.400**
- 6 dagnji x 24 sata x 60 minuta x 60 sekundi uz 0,5 Hz frekvenciju mjerenja = **1.036.000**

Za usporedbu, obzirom na male varijacije postavljanja senzora i magneta i time povezanih dobivenih rezultata mjerenja VG vrijednosti pojedinih dagnji tijekom vremena nije moguće direktno uspoređivati. Nakon oduzimanja minimalne vrijednosti i određivanja maksimalne vrijednosti kao pokazatelja maksimalne otvorenosti školjke, primjenom postotnog računa možemo usporediti otvorenost ljuštura školjke pojedinih jedinki dagnji i dagnji iz različitih pokusa (**Tablica 1, Slika 14**).

Tablica 1. Rezultatni mjerenja otvorenosti ljušta dagnji (VG) od 9:04 sata (15.10.2021.) do 11:35 sata (16.10.2021.) uz frekvenciju mjerenja 1 Hz.

15.-16.10.2021.		Otvorenost ljuštura dagnji (VG)		
Vrijeme (H:M:S)	Vrijeme (s)	A	B (A-B min)	C (%)
09:04:14	0	416	111	64,9
09:04:15	1	416	111	64,9
09:04:16	2	416	111	64,9
09:04:17	3	416	111	64,9
09:04:18	4	416	111	64,9
09:04:19	5	416	111	64,9
09:04:20	6	416	111	64,9
09:04:21	7	416	111	64,9
09:04:22	8	416	111	64,9
09:04:23	9	416	111	64,9
09:04:24	10	416	111	64,9
...
11:23:34	94818	388	83	48,5
11:23:35	94819	388	83	48,5
11:23:36	94820	388	83	48,5
11:23:37	94821	388	83	48,5
11:23:38	94822	389	84	49,1
11:23:39	94823	389	84	49,1
11:23:40	94824	390	85	49,7
11:23:41	94825	391	86	50,3
11:23:42	94826	391	86	50,3
11:23:43	94827	392	87	50,9
11:23:44	94828	392	87	50,9
11:23:45	94829	392	87	50,9
11:23:46	94830	393	88	51,5
Average				78,0
Median				81,9
Min		305	0	0
Max		476	171	100

A = vrijednost izmjenog analognog signala, B = A – minimalna vrijednost, C = % B vrijednosti u odnosu na maksimalnu vrijednost B.



Slika 14. Prikaz rezultata mjerenja otvorenosti ljuštura dagnje *M. galloprovincialis*: vrijednosti VG izračene u postotku (C %).

3.1. Obrada prikupljenih podataka

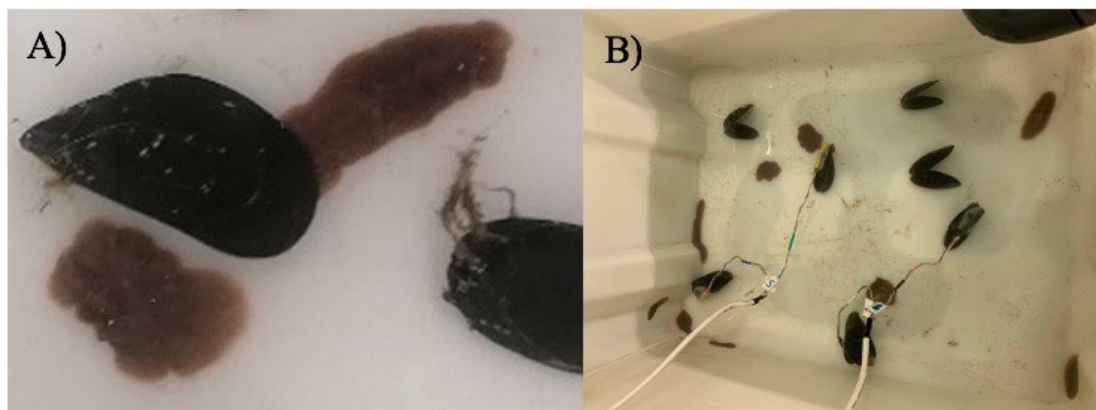
S obzirom da mjerenje VG-MM-a generira veliku količinu podataka (frekvencija mjerenja VG 0.5Hz) za 6-12 hall senzora te potencijalno temperatura mora i parametra u prostoru (6 svake minute) tijekom planiranog (24 sata / 7 dana) mjerenja. Nužno je bilo spremati podatke s nazivima pojedinih parametara i vremenom mjerenju u zasebnu csv datoteku (**Slika 15**) za daljnju obradu i analizu podataka. S mentorom i neposrednim voditeljem odlučio sam raditi dnevna mjerenja 0-24 sata ili od početka pojedinog tretmana 9-9 sata radi lakšeg baratanja i prikazivanja podataka VG dagnji. Nakon očitavanja podataka (import csv, coma) svi podaci su se objedinili u MS Excel bazi te tako bili dostupni za daljnje analize i izračune VG dagnji (**Tablica 1**).

```
data.10_20_46.csv - Notepad
File Edit Format View Help
s1,s2,s3,s4,s5,s6,timestamp
297,293,275,266,258,255,1657009248
253,250,248,245,247,246,1657009250
244,247,245,245,240,236,1657009252
261,259,258,257,257,254,1657009254
220,221,219,217,214,212,1657009256
271,270,271,268,269,264,1657009258
208,209,206,203,202,202,1657009260
289,289,289,289,287,280,1657009262
193,191,190,186,187,190,1657009264
282,285,284,285,281,272,1657009266
```

Slika 15. Izgled csv datoteke s vrijednostima otvorenosti ljuštura 6 dagnji i vremena mjerenja.

3.2. Design laboratorijskog eksperimenta s dagnjama

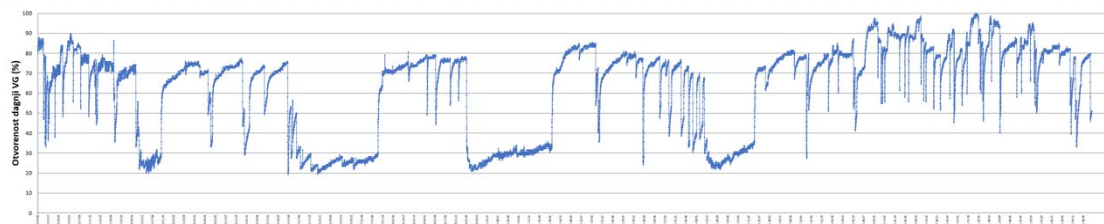
Dagnje su aklimatizirane na laboratorijske uvjete (bazeni, protočna morska voda, aeracija) tijekom 7 dana. Nakon toga su pričvršćeni HAL senzori te je nakon sušenja silikona-ljepila, svih 6 dagnji vraćeno u bazen na praćenje normalnog VG ponašanja (filtriranja) dagnji. Nakon 2 dana mjerenja normalnog VG filtriranja dagnji, 4 dagnje su izložene predaciji 12 jedinki plošnjaka *Imogine mediterranea* (**Slika 16**). Mjerenje VG ponašanja dagnji je iskorišteno za otkrivanje i dokumentaciju do sad nepoznate strategije napada grabežljivca *I. mediterranea* (Gammoudi i sur., 2017) i određivanje faza predacije dagnji (**Slika 16**).



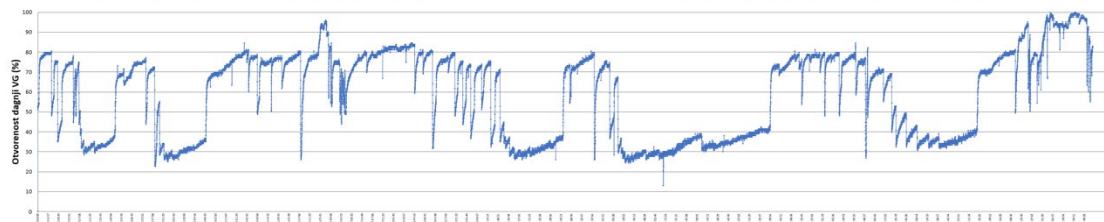
Slika 16. Dagnja *M. galloprovincialis* okužena plošnjakom *I. mediterranea*; B) eksperimentalno praćenje napada i faza predacije.

3.3. Rezultati mjerenja VG filtriranja dagnji tijekom aklimacije

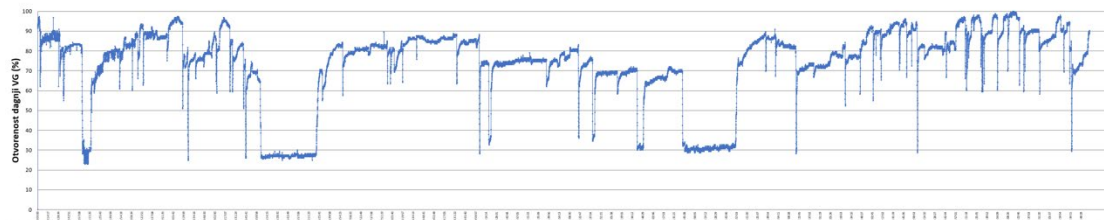
Dagnja 1, prvi dan



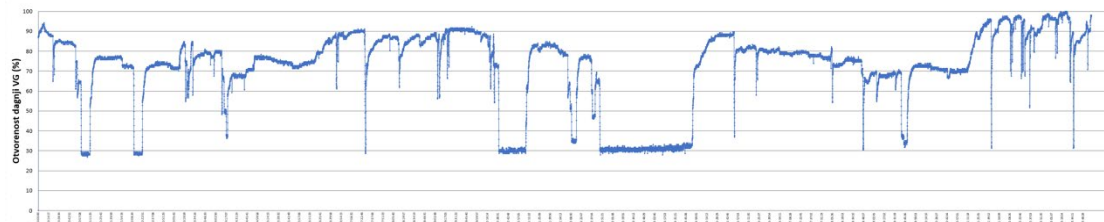
Dagnja 1, drugi dan



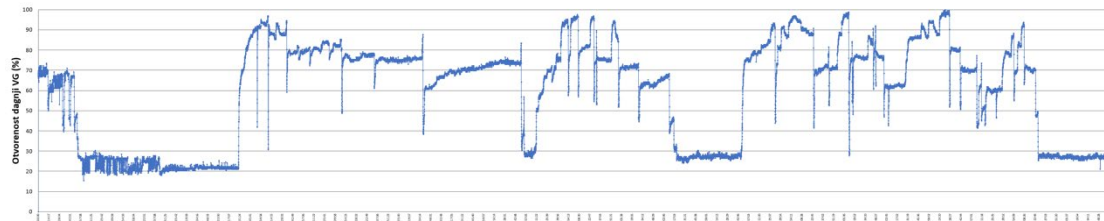
Dagnja 4, prvi dan



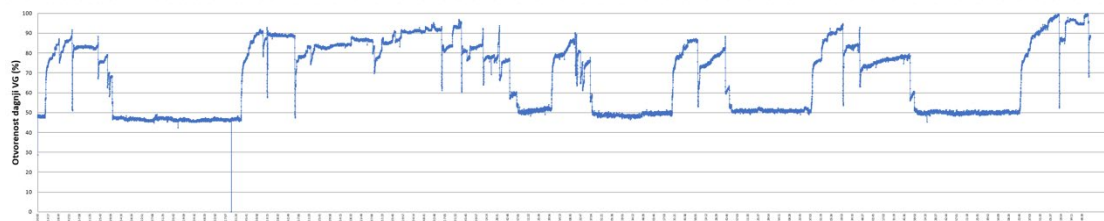
Dagnja 4, drugi dan



Dagnja 6, prvi dan

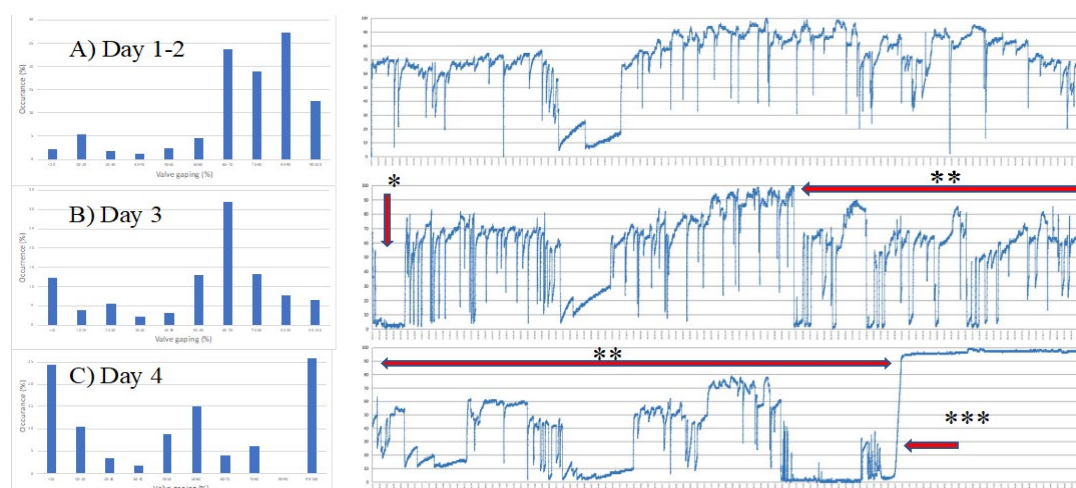


Dagnja 6, drugi dan



Slika 17. Rezultati mjerenja VG filtriranja odabranih 3 jedinki dagnji tijekom aklimacije 26.-27.06.2022., 0-24 sata.

3.4. Rezultati praćenja VG filtriranja dagnji tijekom izlaganja predaciji



Slika 18. Real time praćenje predacije dagnji od strane plošnjaka *I. mediterranea* pomoću VG-MM sustava: A) Dan 1-2, aklimacija dagnji; B) Dan 3, početak izlaganja dagnji predaciji (*); C) Dan 4, ulazak i prvi napad plošnjaka u dagnju i odgovor dagnje na unutaranju predaciju (**) i uginuće dagnje (***). Stupičasti grafovi predstavljaju dnevnu kumulativnu postonu VG otvorenost ljuštura (0-100%, min-max otvorenost ljuštura) tijekom 24 sata mjerenja (9:00 – 9:00 sati).

4. Zaključak

Dagnja predstavlja pogodan bioindikatorski organizam za praćenje kvalitete/stanja određenog morskog ekološkog sustava uz iznimno važan ekonomski značaj za marikulturu, stoga je predmet mnogih istraživanja.

Praćenjem aktivnosti filtriranja školjkaša putem mjerenja parametra otvorenosti ljuštura (VG) utvrđeno je:

- Da se dagnje u izrazito nepovoljnim uvjetima okoliša (nagle promjene osvjetljenosti, buka, ekstremne vrijednosti abiotičkih uvjeta i/ili prisutnosti zagađivala) zatvore i čekaju da ugroza prođe;
- Dagnje dobrog fiziološkog statusa-vitalnosti (indeks kondicije-udio mesa 15-25%) imaju dnevni ritam filtriranja tj. otvorenosti ljuštura (VG) uz 1-5 pauza kad su ljuštura djelomično ili skroz zatvorene;
- *Real time* praćenjem ponašanja dagnji i predacije od strane plošnjaka *I. mediterranea* pomoću VG-MM sustava utvrđeno je vrijeme ulazaka i zabilježen prvi napad plošnjaka te odgovor dagnje na unutaranju predaciju kao i samo uginuće dagnje.

Laboratorijski ugradbeni računalni sustav VG-MM za praćenje filtriranja školjkaša pomoću Hall senzora može se uspješno primjeniti prilikom ekofizioloških, ekotoksikoloških i primjenjenih istraživanja u u laboratorijskim istraživanjima, kao i u marikulturi, ali uz razumijevanje ograničenja metodologije i specifičnosti VG kao pokazatelja stresa/izloženosti.

Međutim sama eksperimentalna testiranja i mjerenja u laboroatoriju nemogu zamijeniti mjerenja na terenu (moru), stoga ono što nam slijedi je razvoj sustava za online terenska mjerenja od uzgajališta, luka, marina, gradskih plaža do odobalnih objekata u Sjevernom Jadranu. Daljnjim razvojem VG-MM mikrokontrolerskog sustava za online praćenje filtriranja dagnji i uvjeta u okolišu došlo bi se do novih spoznaja o ponašanju školjkaša u uvjetima antropogenog zagađenja i osnovnih oceanografskih parametara koje mogu pomoći da procijenimo kvalitetu i promjene u okolišu.

5. Literatura

- Adams, S.M., Shepard, K.L., Gredley, Jr. M.S., Jimenez, B.D., Ryon, M.G., Shugart, L.R., McCarthy, J.F. (1989) The use of bioindicators for assessing the effects of pollutant stress on fish. *Marine Environmental Research*, 28: 459-464.
- Borcherding, J. (2006) Ten years of practical experience with the Dreissena-Monitor, a biological early warning system for continuous water quality monitoring. *Hydrobiologia*, 556: 417-26.
- Cameau, L.A., Babarro, J.M.F., Longa, A., Padin, X.A. (2018) Valve-gaping behaviour of raft-cultivated mussels in the Ria de Arousa, Spain. *Aquaculture Reports*, 9: 68-73.
- Gammoudi, M., Ahmed, R.B., Bouriga, N., Ben-Attia, M., Harrath, A.H. (2017) Predation by the polyclad flatworm *Imogine mediterranea* on the cultivated mussel *Mytilus galloprovincialis* in Bizerta Lagoon (northern Tunisia). *Aquaculture Research*, 48(4): 1608-1617.
- Gleason, L.U., Miller, L.P., Winnikoff, J.R., Somero, G.N., Yancey, P.H., Bratz, D., Dowd W.W. (2017) Thermal history and gape of individual *Mytilus californianus* correlate with oxidative damage and thermoprotective osmolytes. *Journal of Experimental Biology* 220(22): 4292-4304.
- Goldberg, E.D., Bowen, V.T., Farrington, J.W., Harvey, G., Martin, J.H., Parker, P.L., Risebrough, R.W., Robertson, W., Schneider, E., Gamble, E. (1978) The mussel watch. In: *Environmental Conservation, the foundation of environmental conservation*, La Jolla, CA, 101-125.
- Gosling, E. (1992) *The Mussel Mytilus, Ecology, Physiology, Genetics and Developments in Aquatic Culture and Fishers Science*, 25, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- Hamer, B., Jakšić, Ž., Pavičić-Hamer, D. i sur. (2008) Effect of hypoosmotic stress by low salinity acclimation of Mediterranean mussels *Mytilus galloprovincialis* on biological parameters used for pollution assessment. *Aquatic Toxicology*, 89(3): 137-151.
- Hamer, B., Majnarić, N., Pavičić-Hamer, D., Jaklin, A., Suman, D., Brumnić, L., Labura, H., Hamer, M., Tanković, N. (2022) REAL TIME OBSERVATION OF MEDITERRANEAN MUSSEL *Mytilus galloprovincialis* PREDATION BY FLATWORM *Imogine mediterranea* USING VALVE GAPING MUSSEL MONITOR (VGMM), 27-29th September 2022, Rimini, Italy, *Aquaculture Europe 2022* (prihvaćeno postersko priopćenje).
- Hamer, B., Medaković, D., Pavičić-Hamer, D., Jakšić, Ž., Štifanić, M., Nerlović, V., Travizi, A., Precali, R., Kanduč, T. (2010) Estimation of Freshwater Influx Along Eastern Adriatic Coast as a Possible Source of Stress for Marine Organisms, *Acta Adriatica*, 51(2): 181-194.
- Miller, L.P. i Dowd, W.W. (2017) Multimodal in situ datalogging quantifies inter-individual variation in thermal experience and persistent origin effects on gaping behavior among intertidal mussels (*Mytilus californianus*). *Journal of Experimental Biology*, 220(22): 4305-4319.

- Pavičić-Hamer, D., Kovačić, I., Košćica, L., Hamer, B. (2016) Physiological indices of maricultured mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 in Istria, Croatia: Seasonal and transplantation effect. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(6): 768-778.
- Programski kod VG-MM WiFi sustava „Modul za kontinuirano slanje podataka“ GitHub repozitorij (<https://github.com/mathamer/MCS>), pristupljeno 03.09.2022.
- Przymus, P., Rykaczewski, K., Winiewski, R. (2014) Zebra mussels' behaviour detection, extraction and classification using wavelets and kernel methods. *Future Generation Computer Systems*, 33: 81-89.
- Robson, A.A., Thomas, G.R., Garcia de Leaniz, C., Wilson, R.P. (2009) Valve gape and exhalant pumping in bivalves: optimization of measurement. *Aquatic Biology*, 6: 191-200.
- Willrt, D. i Aldridge, D.C. (2017) Microencapsulated diets to improve bivalve shellfish aquaculture. *Royal Society Open Science*, 4: 171142.

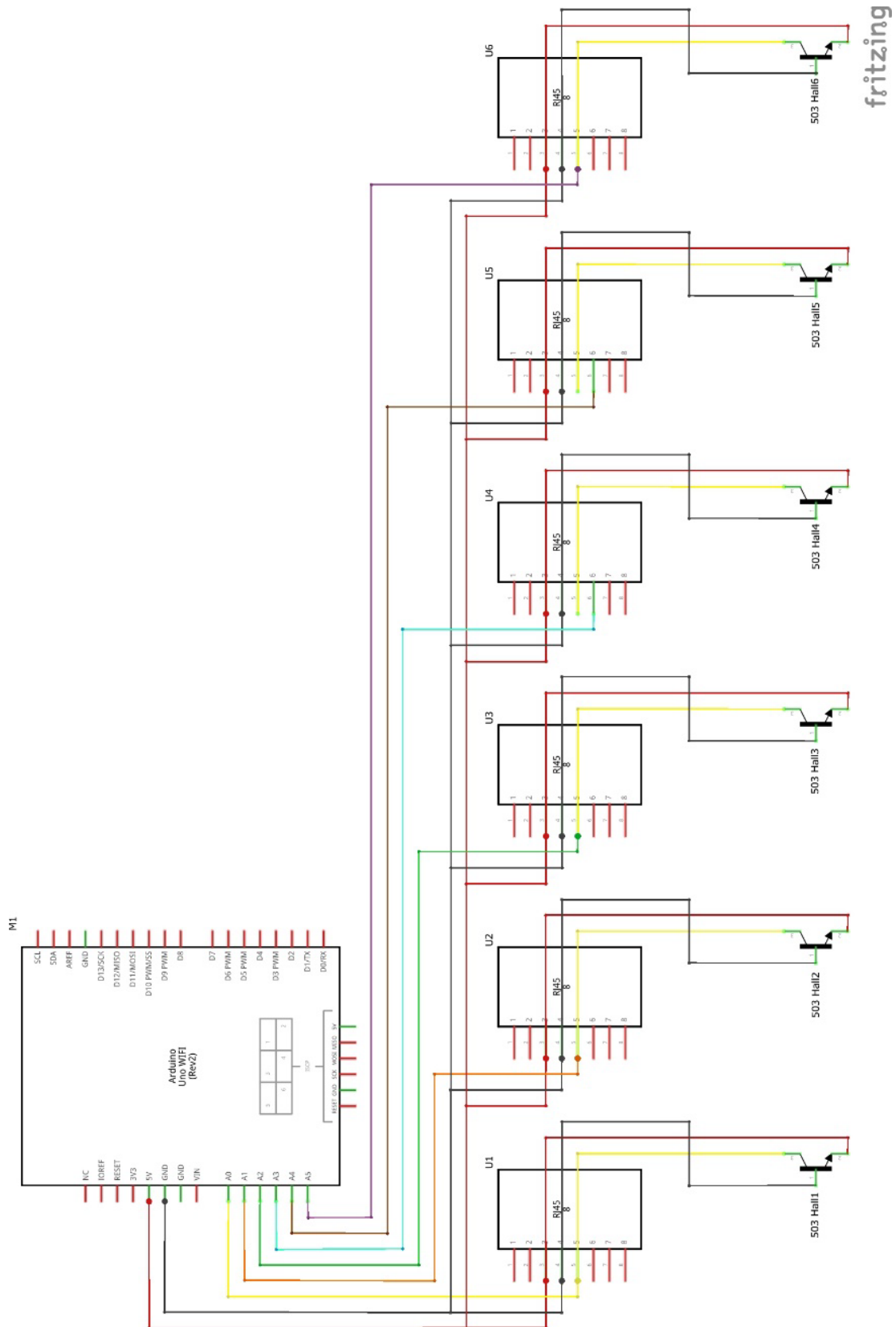
6. Popis korištenih dijelova i opreme

1. Arduino mikrokontroler	3 kom.
2. Prijenosno računalo (MS Win 10 Pro)	1 kom.
3. UTP kabel 20 metara	2 kom.
4. Analogni HALL senzori	12 kom.
5. Kutija električarska nadžbukna (19x14x7 cm, DxŠxV)	1 kom.
6. Kutija električarska nadžbukna (15x11x7 cm, DxŠxV)	1 kom.
7. UTP kućni priključak (8 žica)	1 kom.
8. UTP panel swich/pack modul (6 utičnica)	3 kom.
9. UTP stopice (M)	10 kom.
10. UTP stopice (F)	4 kom.

Ukupno utrošeno radnih sati za izradu projekta, testiranja i eksperimentalna mjerenja: 50 dana x 8 sati = 400 sati

7. Prilozi

7.1. Shema glavnog kućišta



fritzing

7.2. Programski kod VG-MM WiFi sustava

Programski kod VG-MM WiFi sustava „Modul za kontinuirano slanje podataka“ pohranjen je na GITHUB repozitoriju (<https://github.com/mathamer/MCS>).