

Универзитет у Београду - Грађевински факултет

Катедра за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство



МАСТЕР РАД

Тема: Развој и испитивање тежинског кишомера састављеног од комерцијално доступних компоненти

Кандидат:
Јована Лакичевић 515/22

Ментор:
Др. Дамјан Иветић

Београд, 2024. година

Садржај:

1.	Увод	4
1.1.	Предмет истраживања	4
1.2.	Задаци и циљ истраживања	4
2.	Преглед литературе	5
2.1.	Начин мерења интензитета падавине.....	5
2.1.1.	Опште карактеристике кишомера	6
2.1.2.	Извори грешака заједнички за акумулационе кишомере	15
2.1.3.	Извори грешака специфичних за одређени тип кишомера	16
2.2.	„DIY“ кишомер	17
3.	Методологија.....	19
3.1.	Конструктивни део опреме.....	19
3.2.	Електронски део опреме	21
3.3.	Методологија израде кишомера	31
3.3.1.	Повезивање електронских компоненти	31
3.3.2.	Повезивање конструктивних компоненти	39
3.4.	Испитивање кишомера	40
3.4.1.	Статички тест ваге	40
3.4.2.	Температурна осетљивост резултата статичког теста ваге	41
3.4.3.	Динамички тест.....	42
3.4.4.	Тестирање прототипа кишомера у лабораторијским условима	44
3.4.5.	Тестирање прототипа кишомера у реалним условима	44
3.5.	Обрада података.....	45
3.5.1.	Методологија обраде података коришћена за DIY кишомер 2018.године	45
3.5.2.	Унапређена методологија обраде података коришћена за DIY кишомер 2018.године.....	46
4.	Резултати и дискусија	47
4.1.	Резултати испитивања кишомера	47
4.1.1.	Резултати статичког тест	47
4.1.2.	Резултати температурне осетљивости статичког теста ваге	48
4.1.3.	Резултати динамичког теста.....	49
4.1.4.	Резултати тестирања прототипа кишомера у лабораторијским условима.....	50
4.2.	Резултати обраде података	53
4.2.1.	Резултати обраде података за DIY кишомер из 2018.године	53

4.2.2.	Резултати тестирања прототипа кишомера у реалним усовима	54
4.2.3.	Резултати обраде података методологијом DIY кишомера из 2018.године ...	58
5.	Закључци и препоруке за будући рад	61
5.1.	Препоруке за израду конструктивног дела кишомера у будућем раду	61
5.2.	Препоруке за израду и повезивање електронског дела кишомера у будућем раду	61
6.	Литература.....	62
Прилози	63

1. Увод

1.1. Предмет истраживања

Информација о падавина је један од битних параметара приликом моделирања и управљања атмосферским водама. Падавине обухватају све видове воде која се из атмосфере таложи на површину земље и главни су снабдевачи сливова водом. На територији Републике Србије Републички Хидрометеоролошки завод пружа потребне информације о падавинама. Кишомер је инструмент намењен мерењу количине падавина у неком одређеном временском интервалу. Услед развоја тржишта и технологије израда самосталних кишомера постаје све лакше доступна, тако да се падавине могу лако измерити на жељеној локацији. Потреба за већом резолуцијом и временски приступачнијим подацима доводи до развоја разних врста кишомера о којима ће бити нешто више речено у наставку.

1.2. Задачи и циљ истраживања

Услед доступности технологије и опреме приступили смо изради тежинског, преносивог и једноставног кишомера. Конкретно заинтересовани смо за количину и интензитет падавина, које можемо мерити у складу са жељеном временском и просторном потребом. У склопу овог мастер рада, конструисан је један кишомер који ради на тежинском принципу, коришћењем комерцијално доступних компоненти и уз помоћ техничара и наставника са Катедре са хидротехнику и водно еколошко инжењерство, Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Пре саме конструкције кишомера било је неопходно парцијално сваки део опреме добро упознати и испитати његову тачност помоћу тестова о којима ће бити више речено у наставку. Приликом обраде резултата биће тестирана и резолуција коришћеног уређаја, поређењем са референтним кишомером из дворишта зграде факултета. Циљ је да се уз једноставну конструкцију, мало опреме и труда прикаже поузданост тежинског кишомера, који ће у поређењу са подацима о падавинама добијених од стране референтног кишомера дати резултате прихватљиве тачности. На овај начин помогао би се даљи развој „јефтених“ кишомера и обезбедила боља просторна резолуција мерења количина и интензитета падавина.

2. Преглед литературе

2.1. Начин мерења интензитета падавине

Интензитет падавина (kg/sm^2) M_w је флуks масе воде у течном или чврстом стању кроз јединичну хоризонталну површину у јединици времена. Представља уједно и дубину воде којом би била покривена хоризонтална површина у јединици времена, ако не би било отицаја, испаравања или процеђивања.

Запремински интензитет падавина је:

$$I = \frac{M_w}{\rho_w} \quad (1)$$

у јединицама ms^{-1} , или mmh^{-1} или mmdan^{-1} (В.Вучковић 2015).

Интензитет падавина које долазе из облака зависи од следећих фактора:

- интензитета замене влаге коју односе већ формиране падавине новом воденом паром,
- интензитета којим се влага претвара из водене паре у капљице воде или кристале леда довољне величине да почну да падају, што посредно утиче на брзину хлађења ваздуха, брзину подизања ваздушних маса, интензитет кондензације и раста капљица (Ј. Плавшић 2019).

Падавине варирају у времену и простору у складу са глобалном атмосферском циркулацијом (према којој се ваздушне масе крећу) и у складу са локалним факторима. Поред глобалних фактора, као што су географска ширина или доба године, на падавине утичу и низ других фактора. Рељеф има један од кључних утицаја на количину падавина, што се огледа кроз орографски ефекат већег излучавања падавина на падинама планина окренутим ка ветру (приветринска страна) у односу на падине које су заклоњене од ветра (заветринска страна). Близина океана, мора и великих језера такође утиче на повећање падавина у некој области због већег испаравања које допуњује атмосферску влагу. (Ј. Плавшић 2019).

Падавине се могу мерити техником тачкастих мерења (мерење прикупљених узорака кише) или мерењима, на даљину, углавном радаром (за процену падавина изнад области великих површина). Кишомер би могао да буде једноставан отворен суд на тлу који прикупља кишу, снег или град, међутим то не би био практичан инструмент за процену количина падавина. (В.Вучковић 2015).

Мерење параметара кише може бити засновано на мерилима кише, дисдрометрима, временским радарима или микроталасним везама који дају улазне податке за моделирање, управљање и планирање урбане дренаже и атмосферских вода. (Patrick Willems, Thomas Einfalt).

Општи назив уређаја којима се мери висина падавина је кишомер. Разликујемо две основне врсте кишомера:

- Нерегиструјући кишомер, којим се мери укупна висина пале кише у неком временском периоду (користе се називи тотализатор или само кишомер) и
- Региструјући кишомер, којим се региструју промене интензитета кише током времена (обично се назива плувиограф или омброграф)

Нерегиструјући кишомери се користе за мерење дневних висина падавина или укупних висина падавина за неки дужи временски период. По конструкцији су слични, али су они који мере падавине у дужем периоду већи како би примили веће количине воде. Састоје се од металног цилиндра отвореног с горње стране. У цилиндру се налази левак из кога се вода прихвата у посуду са поделом. Пошто је површина отвора позната, запремина воде у суду се дели са површином отвора да би се добила висина (слој) пале кише. Подела може бити направљена тако да се читавањем одмах добија висина кише.

Региструјући кишомери (плувиографи) могу бити различитих конструкција. Код нас је плувиограф са пловком најзаступљенији тип региструјућих кишомера. Тежински плувиограф (или плувиограф са вагом) је други тип плувиографа који континуирано мери падавине. (Јасна Плавшић 2019).

2.1.1. Опште карактеристике кишомера

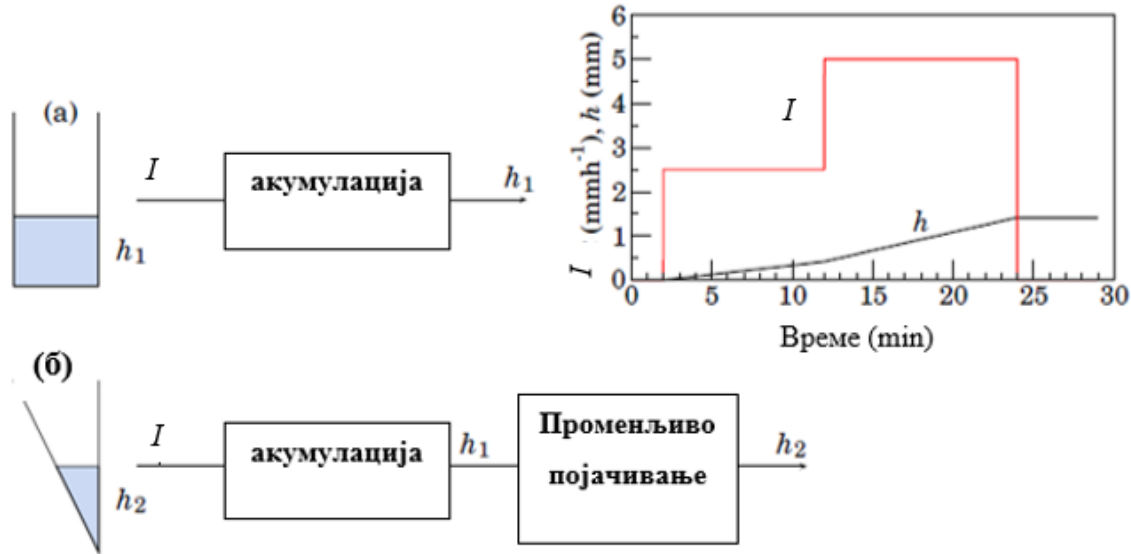
Акумулациони кишомер

Служе за прикупљање и задржавање падавина, обично у течном облику до времена пражњења које се може извршити ручно или аутоматски. Такође и бележење података може бити ручно или аутоматски. Мерена величина је интензитет падавина I , а излазни сигнал је дубина воде у кишомеру h_1 у mm .

$$h_1 = \int_0^t I(t)dt \quad (2)$$

Дубина воде се мери у правилним интервалима, јер I се добија диференцирањем функције $h_1(t)$.

$$I = \frac{dh_1(t)}{dt} \approx \frac{h_1(t + \Delta t) - h_1(t)}{\Delta t} \quad (3)$$



Слика 2.1. Шематски приказ једноставног акумулационог кишомера

Најједноставније мерило акумулације кише је приказано на слици 2.1 (а). На кишомеру који је шематски приказан на слици 2.1(б), хоризонтални попречни пресек је правоугаони, једна страна је вертикална, а супротно је под углом у односу на вертикалу. Мала количина падавине које падају у овом кишомеру чине h_2 већим од еквивалентног h_1 , чинећи га погоднијим за мерење киша слабијег интензитета. Појачање излазног сигнала, h_2

$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{2Hh_1}}{h_1} = \frac{\sqrt{2H}}{\sqrt{h_1}}$ је променљива, а смањује се како се кишомер пуни водом. N је максимална дубина кишомера. Овај тип кишомера има високу осетљивост на мале количине падавина и поред тога има прилично велики капацитет (В.Вучковић 2015).

Други начин да се поправи резолуција приказан је на слици 2.2(а). Падавине се сакупљају кишомером који има велику сабирну површину A_c и одводе се у унутрашњи цилиндар мањег пречника, површине попречног пресека A_m . Како A_m се не мења са висином, фактор појачања (h_3/h_1) је константан

$$V = A_c * h_1 = A_m * h_3 \text{ из чега следи да је } h_3 = \frac{A_c}{A_m} * h_1. \quad (4)$$

Типично је $A_c/A_m = 10$. Са стандардним ћелијским мерилем кише, површина којом се прикупљају падавине је 200 cm^2 , а површина попречног пресека чаше $A_m = 20 \text{ cm}^2$, па је тачност мерења $0,1 \text{ mm}$. Када је унутрашњи цилиндар пун, вода се сипа у спољни цилиндар, па је капацитет кишомера веома велики. Као претходни и овај кишомер се мора празнити ручно, обично једном дневно. Излазни сигнал кишомера може се аутоматски снимити ако постоји претварач који претвара излазни сигнал h_3 у померај или напон.

Слика 2.2. (б) показује кишомер са таквим претварачем, уређај који мери тежину унутрашњег цилиндра и вода у њему. У оригиналном облику овог кишомера, тежина је преко опруга и полука конвертује у покретање пера које бележи траг на умотаној папирној

траци око ротационог добоша. У модернијем облику, померај се претвара у електрични напон који се може дигитализовати и снимити.

Тежина унутрашњег цилиндра је $W = (m_c + m_w)g = m_c g + A c \rho_w g h_1$, m_c је маса цилиндра, m_w је маса воде у њему, ρ_w је густина воде, а g је убрзање земљине гравитације. Интензитет падавина може се проценити као:

$$R_1 = \frac{dw}{dt} = \frac{d}{dt}(m_c g + A c \rho_w g h_1) = A c \rho_w g * \frac{dh_1}{dt}, \quad (5)$$

тако да тежина унутрашњег цилиндра не утиче на процену интензитета падавина.

Постоје и акумулациони кишомери који се могу аутоматски испразнити. То су кишомер притиска, кишомер са сифоном и кишомер у облику клацкалице (В.Вучковић 2015).



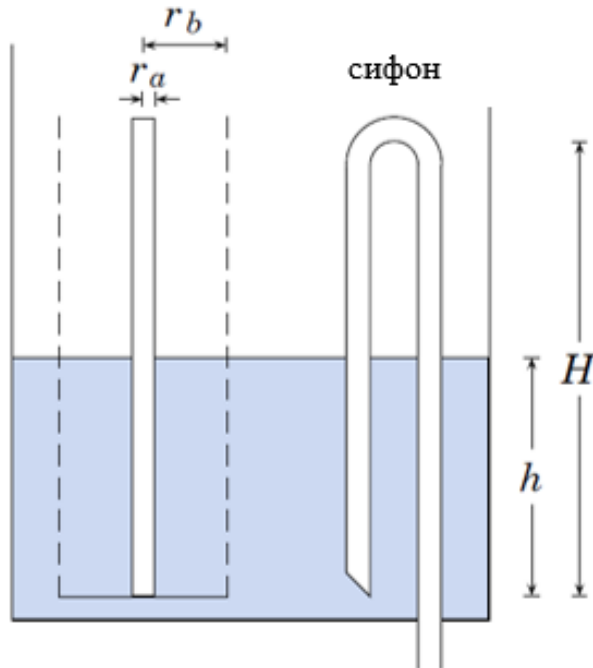
Слика 2.2. Шематски приказ других типова акумулационих кишомера

Притисни кишомер

Дубина воде у овом мерилу кише, као што је кишомер шематски приказан на слици 2.1. (а), може се мерити диференцијалним сензором за притисак. Овај сензор је повезан преко цеви на дно мерила кише и мери разлику између притиска на дну кишомера и атмосферског притиска. Измерена разлика може да се претвори у електрични напон. У овај кишомер се може уградити пумпа чији рад контролише микропроцесор. Када микропроцесор детектује стање да је кишомер пун, активира пумпу и кишомер се празни. Ако је температура испод одређеног прага, пумпа може убризгати одређену количину антифриза у мерило кише, што ће спречити замрзавање воде (В.Вучковић 2015).

Кишомер са сифоном

Овај тип кишомера се празни помоћу сифона.



Слика 2.3. Шематски приказ капацитивног кишомера са сифоном

На слици 2.3 приказан је шематски дијаграм кишомера са сифоном где се ниво воде мери капацитивним сензором. Капацитивни сензор се састоји од два вертикална коаксијална цилиндра обложена изолатором. Спољни цилиндар је перфорисан, а вода може ући у простор између два цилиндра. Спољни и унутрашњи цилиндар чине кондензатор, чији је диелектрик ваздух када је кишомер празан или вода када се кишомер напуни водом.

Капацитет празног кондензатора је:

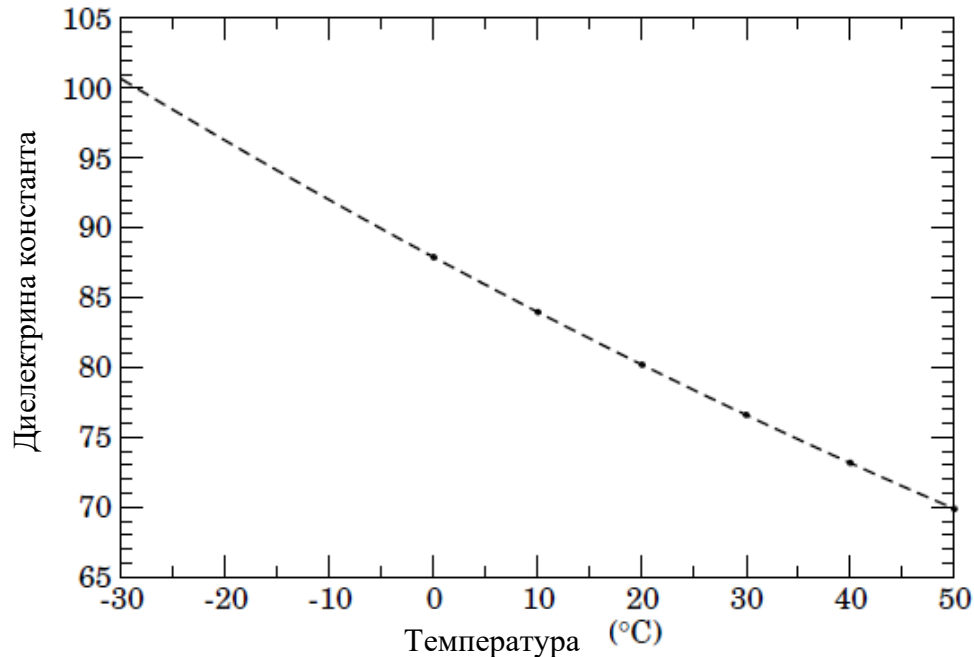
$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln \frac{r_b}{r_a}} \quad (6)$$

$\epsilon_0 = 8,854187817620 * 10^{-12} Fm^{-1}$ је диелектрична константа вакуума, H је висина цилиндра, r_a и r_b су полупречници унутрашњег и спољашњег цилиндра. Када су цилиндри делимично напуњени водом, ниво воде h може се написати у облику дела f укупне висине цилиндара $h = f H$.

Капацитет делимично напуњеног кондензатора је:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln \frac{r_b}{r_a}} [1 + f(k - 1)], \quad (7)$$

$K = \frac{\epsilon_{\omega}}{\epsilon_0}$ је релативна диелектрична константа и ϵ_{ω} је апсолутна диелектрична константа воде. Релативна диелектрична константа воде је функција температуре, а приказан је на слици 1.3.



Слика 2.4. Диелектрична константа воде у функцији температуре

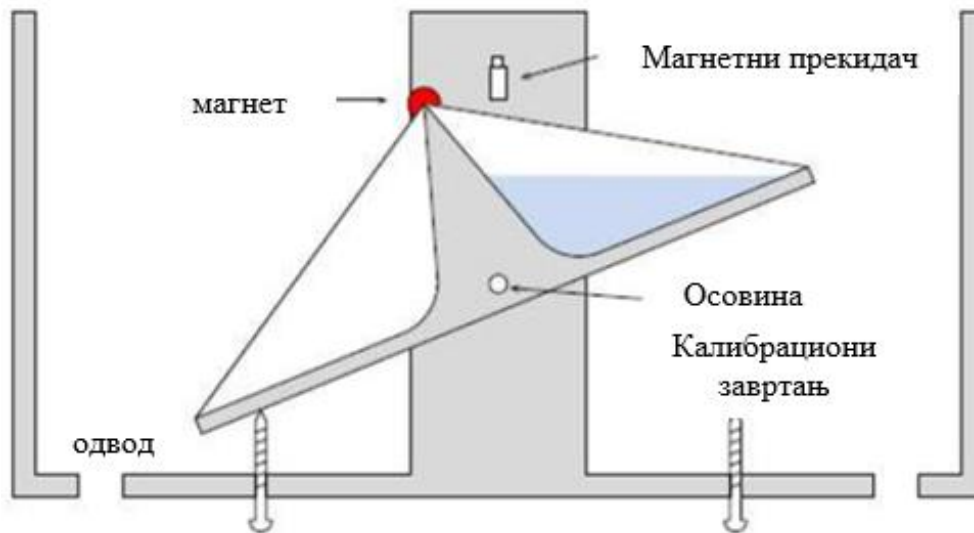
Овај кишомер је опремљен електричним колом који претвара капацитет у фреквенцију, а обично фреквенцију у електрични напон у облику $V = a_0 + a_1 h$. Излазни сигнал капацитивног мерила кише расте линеарно са дужином воде. Када се кишомер напуни водом, сифон се активира и аутоматски га празни. Сифонско мерило кише нема покретне делове и може се користити на бродовима и бовама. Капацитивни сензор нивоа воде се поставља у центар кишомера и тако спречава појаву нагиба. Овај тип кишомера не може да региструје падавине време пражњења воде кроз сифон, које обично траје око 30 секунди.

Кишомер са сифоном треба да буде изузетно чист, јер присуство прљавштине и масти може утичу на процес сифона. На ниским температурама, кишомер се мора загрејати како би се спречило смрзавање сифонског механизма и кондензатора (В.Вучковић 2015).

Кишомер са клацкалицом

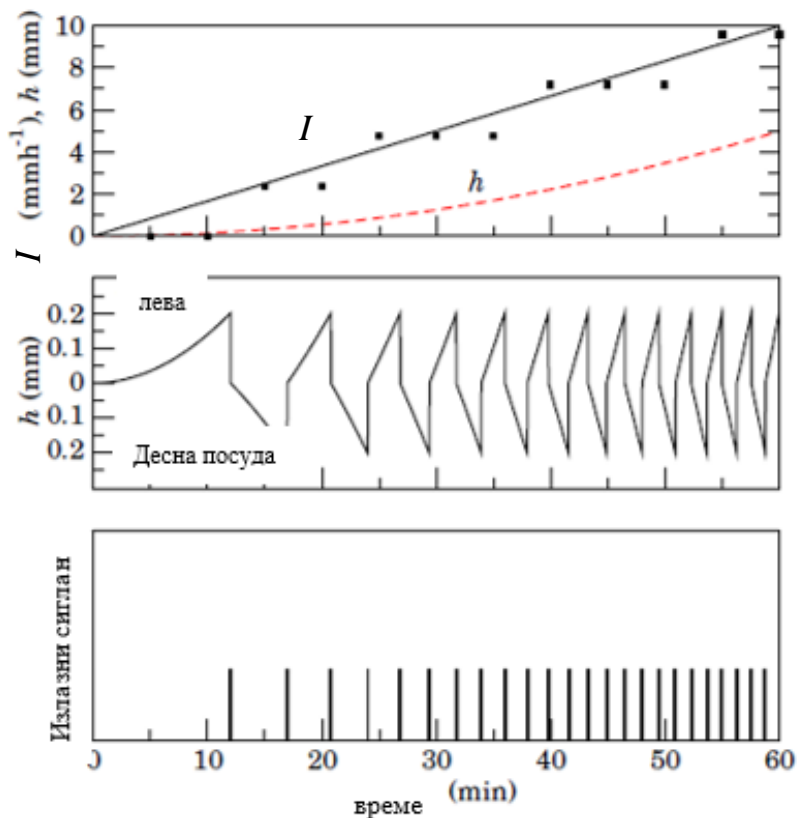
Са овом врстом кишомера, сакупљена вода се левком доводи до дводелне посуде која је приказана на слици 2.5. Када се једна страна посуде напуни водом, њено тежиште се помера на ту страну. Када се центар масе нађе изван тачке ослонца, посуда се извлачи и празни, а истовремено се отвор другог дела поставља под левак.

Запремина једног дела контејнера је V_b . Ако је сабирна површина кишомера A_c , промена висине падавина при сваком отклону је $\Delta h = \frac{V_b}{A_c}$.



Слика 2.5. Кишомер са клацкалицом

У зависности од дизајна кишомера, Δh може имати различите вредности $0,1 \text{ mm}$, $0,2 \text{ mm}$ или друге. При сваком отклону, магнетни или живин прекидач се затвара. Сирови резултат овог кишомера је број отклона клацкалице, тј. затварање магнетног прекидача, као што је приказано на слици испод 2.6.



Слика 2.6. Шематски приказ карактеристика кишомера са клацкалицом при линеарном повећању интензитета падавина. Запремина појединачног суда кишомера је $0,2 \text{ dm}^3$. Квадратићима је обележен интензитет падавина процењен на основу броја затварања контакта прекидача у петоминутним интервалима.

Време T_b за које се пуни једна страна посуде одређено је изразом:

$$V_b = A_c \int_0^{T_b} I(t) dt . \quad (8)$$

Ако је интензитет падавина константан, онда је

$$V_b = A_c I T_b , \quad (9)$$

из чега следи:

$$T_b = \frac{V_b}{A_c I} = \frac{\Delta h}{I} . \quad (10)$$

Учесталост затварања контакта прекидача,

$$f_c = \frac{1}{T_b} = \frac{R}{\Delta h} = \frac{A_c I}{V_b} , \quad (11)$$

пропорционалан је интензитету падавина. Пошто се непрекидно мења са променом интензитета падавина, можемо рећи да је излазни сигнал кишомера са клацкалицом аналогни сигнал. Ово мерило кише може се лако аутоматизовати. За процену интензитета падавина потребно је пребројати догађаје затварања контакта током одређеног периода и помножити тај број у јединици времена са Δh . Бројање догађаја затварања контакта у правилним временским интервалима је облик конверзије аналогног сигнала у дигитални. Ако су падавине веома слабе, вода која се акумулира у кишомеру може у великој мери да испари за време које је потребно да се кишомера напуни. У случају током обилних падавина, капљице се распрскавају ван кишомера. Такође, падавине прикупљене приликом пражњења кишомера не могу се регистровати. (В.Вучковић 2015).

Оптичко мерило кише

Рад оптичког кишомера заснива се на оптичком детектовању проласка кишних капи и пахуља кроз сноп светлости.



Слика 2.7. Мерило унапред расуте светлости

Извор светлости је инфрацрвена ЛЕД диода. Она се напаја електричном струјом чији напон осцилује фреквенцијом од око 50 КHz. Емитована светлост се усмерава сочивом кроз слој атмосфере дужине 1m и затим се фокусира ка фотодетектору. Излазни сигнал из фотодетектора се филтрира и појачава у АСЦ блоку (кондиционирање аналогног сигнала), затим се дигитализује и шаље у микропроцесор. Фотодетектор је заштићен од директне сунчеве светлости. Околна светлост се не може уклонити, али пошто је извор светлости модулисан на високој фреквенцији, могуће је користити високопропусни филтер (уредај који пропушта високе фреквенције и пригушује /смањује амплитуде/ фреквенције које су мање од граничне)за њено елиминисање.

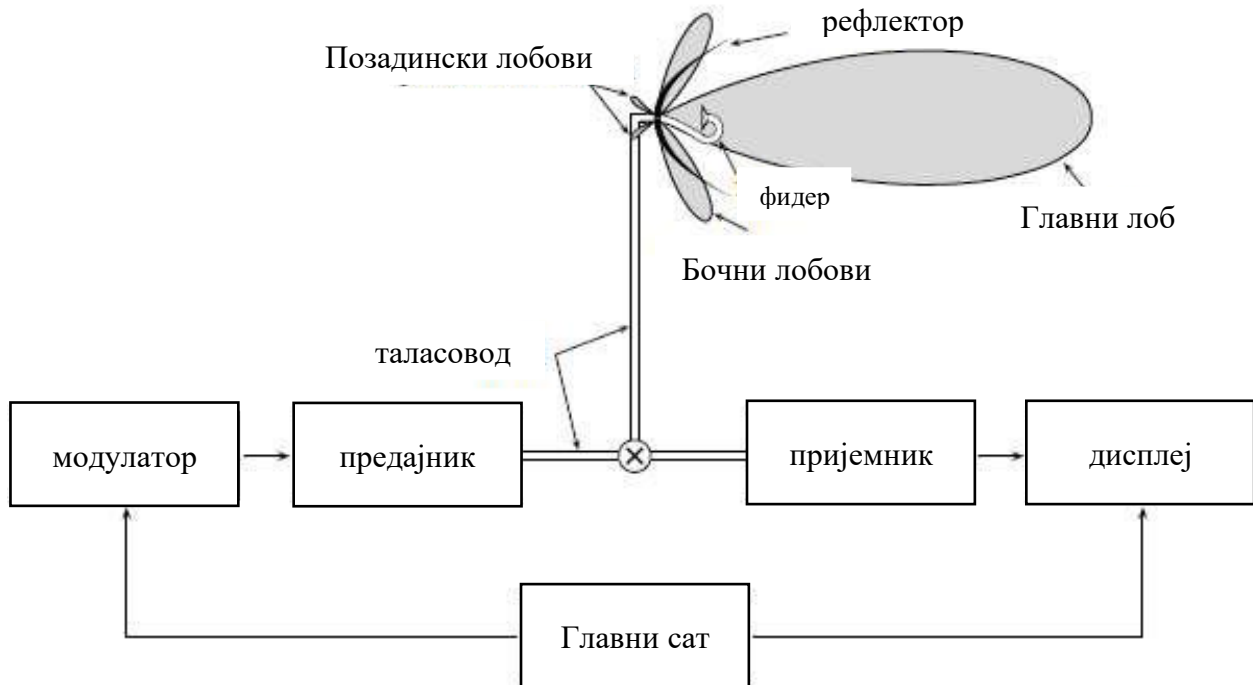
Падавинске честице (киша, снег и друге) приликом проласка кроз сноп светлости узрокују јаке флукуације светлости коју прима детектор. Амплитуда и фреквенција осцилација зависе од величине и брзине падања капи и њиховог броја у снопу светлости у датом тренутку. Једна велика кап има већу површину и брзину пада од мале капи па ће при проласку сноп светлости изазивати високофреквентну флукуацију. Мала кап пролази кроз

сноп много спорије, па ће изазвати слабу нискофреквентну осцилацију. Када у снопу постоји више капи, свака од њих изазива флукуацију светлости при уласку и изласку из снопа. Фреквенција осцилација је функција запремине капи и њиховог броја у снопу. Такође, производ броја капи који прођу кроз сноп у јединици времена и запремина капи је пропорционалан интензитету падавина, па се интензитет падавина може повезати са фреквенцијом осцилација примљеног сигнала.

Оптичко мерило кише рачуна спектралну варијансу осцилација у два таласна опсега: од 1 kHz до 4 kHz и од 25 Hz до 250 Hz. Интензитет флукуација у првом опсегу је сразмеран интензитету падавина кише. Количник снаге сигнала у првом и другом опсег се користи за разликовање кишних падавина од падавина снега. Овај количник се може користити за компензацију слабљења снаге сигнала изазваног променом извора светлости, прљањем сочива итд. Пахуље падају много спорије од кишних капи и због тога изазивају осцилације ниске фреквенције. Оптички кишномер може детектовати појаву падавина, одредити врсту падавина (киша или снег) и да измери њихов интензитет. (В.Вучковић 2015).

Мерење падавина метеоролошким радаром

Радар је електронски уређај који емитује електромагнетне таласе (у радио опсегу) у простор, прима таласе рефлектоване од радарске мете и на основу примљених сигнала одређује карактеристике мете. У метеорологији се користи за детекцију олуја, торнада, за процену количине и врсте падавина, мерење ветра итд. Реч радар је скраћеница од енглеских речи *Radio Detection and Ranging* што значи откривање и мерење удаљености помоћу радио таласа.



Слика 2.8. Шематски приказ компонената радара

2.1.2. Извори грешака заједнички за акумулационе кишомере

- *Репрезентативност*

Да ли количина падавина измерена кишомером одговара средњој количина падавина у некој области?

Ако је у области од $30 \text{ km} \times 30 \text{ km} = 900 \text{ km}^2$, постоји само један кишомер са отвором од $200 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, тада је покривеност површине кишомером $\frac{2 \times 10^{-2} \text{ m}^2}{9 \times 10^8 \text{ m}^2} \approx 2 \times 10^{-11}$. Ово је лоше узорковање за било коју врсту падавина и биће потпуно неадекватно за олујно време. Ако невреме не прође изнад кишомера, постојаће велико потцењивање количине падавина.

- *Ветар*

Због поремећаја струјања ваздуха око кишомера долази до скретања малих капи са њиховог пута и пада ван кишомера, што доводи до потцењивања падавина на сливу. Код пахуљица овај ефекат је још израженији. Магнитуда потцењивања падавина је у функцији врсте падавина (киша или снег), распореда капи по величини (велике капи се одбијају много мање од малих), брзине ветра на нивоу отвор кишомера и тип поклопца кишомера. Кишомер би требало да буде некако заклоњен од ветра и постављен близу земље где је брзина ветра мања у Србији се кишомер поставља тако да му је отвор на висини од један метар.

- *Влажење и испаравање*

Када слаба киша почне да пада у суви кишомер, мало воде ће остати на зидовима левка. Зато ће бити одложена забележена појава падавина. Ако је кишомер био врућ нешто воде ће испарити. Грешка испаравања је уобичајена мала, али кашњење у регистравању почетка падавина може бити значајна грешка у неким применама, посебно ако преовладавају краткорочне појаве киша са малом количином падавина.

- *Прскање капи*

Када велике капи кише ударе у горњи део левка, оне пукну чак и део њих може да се избаци из левка.

- *Зачепљење левка*

Најужу део левка се може зачепити комадима траве или лишћа. Такође, снег и лед се могу акумулирати у левку и потпуно га затворити. Понекад су кишомери опремљени грејачем који спречава блокирање левка снегом или ледом. Када се кишомер вештачки загрева, губици се повећавају услед испаравања.

- *Накупљање росе*

Може се открити интензивно накупљање росе у кишомеру као мала количина падавина. Регистровање падавина, чак и ако су стварне није било, представља прецењивање падавина. Ако акумулација росе није довољно интензивна да се региструје, обично испари током дана.

2.1.3. Извори грешака специфичних за одређени тип кишомера

- *Губици мерила кише са клацкалице у веома јаким падавинама*

Код овог типа кишомера постоји коначан, мали интервал времена, који протиче од тренутка када је једна страна кишомера пуна до тренутка када је друга страна пуна. Потребно је поставити страну у положај да може да сакупља падавине. За то време капи које падну у кишомер не могу се регистровати. Зато кишомер са клацкалицом, потцењује вредности током интензивних падавина. Ова грешка може се делимично компензовати одговарајућом калибрацијом.

- *Заглављивање мерила кише на клацкалицу*

У случају да је клацкалица кишомера заглављена, излазни сигнал ће бити једнак нули за све интензитета падавина. Ово се може десити због механичког квара, присуства паучине која може бити довољно јака да спречи кретање клацкалице или због присуства мале жабе у клацкалицу.

- *Притисни, тежински и кишомер са сифоном*

Сви кишомери који дају континуирано излазни сигнал који је пропорционалан дубини воде у кишомеру може бити осетљив на промену температуре. Њихов излазни сигнал ће имати дневни температурни циклус. Проток ваздуха око ових кишомера може довести до краткотрајног повећања излазног сигнала који се може регистровати као падавине. Ови кишомери не могу да региструју падавине током пражњења. Искусни посматрачи релативно лако препознају промене у облику излазног сигнала изазване испаравањем вода, пражњењем кишомера, ветром, променом температуре итд. Међутим, аутоматизација читања односно писања програма који би могао да препозна ове сигнале није лак задатак. (В.Вучковић 2015).

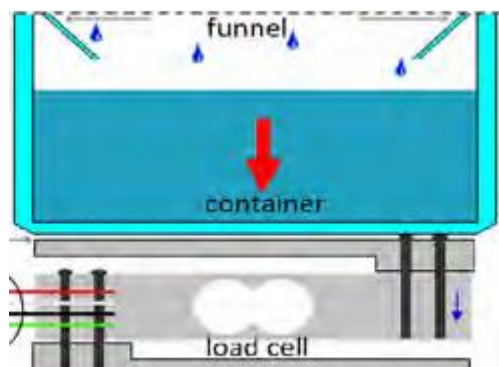
2.2. „DIY“ кишомер

Уз помоћ иновативних идеја и изобиља опреме у свету све је заступљенија примена израде комерцијалних, лако преносивих и релативно јефтених кишомера. Доступност података на тачно одређеном месту и велика поузданост тих података покренули су и многе друге истраживаче да се баве овом врстом пројекта.

На Грађевинском факултету Универзитета у Београду Мр. Предраг Војт, Др. Драгутин Павловић и Проф. Др. Душан Продановић бавили су се развојем сопственог тежинског кишомера. Развијена су два једноставна кишомера на тежинском принципу. Компоненте за израду кишомера су расположиве у фонду научно – истраживачких установа и лако се могу набавити на тржишту. Принцип рада кишомера на тежинском принципу базира се на коришћењу мерне ћелије за масу. Кишница сакупљена левком пролази ка посуди за сакупљање. Запремина сакупљене воде V мери се гравиметријском методом као

$$V = M / \rho_{\text{воде}} . \quad (12)$$

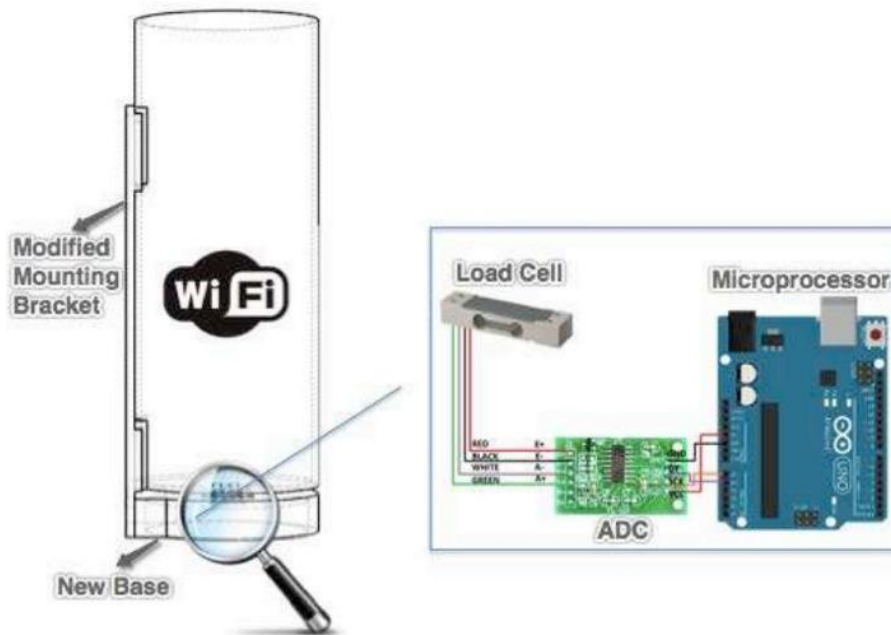
Маса M се мери мерном ћелијом, а висина пале кише h добија се преко површине левка A као $h = V/A$. Мерна ћелија ради на принципу деформација мерног елемента, а те деформације мере се мерним тракама које су постављене у пуни мерни мост. Мерна трака за одређену промену деформације има промену отпорности које се може измерити у конфигурацији мерног моста. Све промене преведене су помоћу низа електронике у податке који су задатак истраживања. Као микропроцесор за обраду података користио се АрдуиноУно.



Слика 2.9. Шематски приказ конструкције и принципа рада кишомера на тежинском принципу са површином левка $310, 24 \text{ cm}^2$

Конструисани кишомери испуњавају предвиђену намену, очитавања су задовољавајућа у поређењу са референтним кишомерима. Приказ слагања и обраде прикупљених података, опширније је приказано у поглављу резултати. Потребно је у наредном периоду ставити фокус на трајање батерије за напајање електронике и на побољшавање алгорита за обраду података. Поред бројних предности овај тип уређај има и мане, а то су компоненте ниске класе тачности, ћелија са ниском резолуцијом, без температурне компензације и аквизициони систем и даље сумњив на сметње динамичке силе и вибрација.

Студент Универзитета у Колораду на одсеку за машинство Јиеки Лин као своју мастер тезу представио је: Доказ концепта аутоматизованог кишомера „*CoCoRaHS*“ (Колаборативна мрежа заједнице за кишу, град и снег). „*CoCoRaHS*“ је дизајниран као аутоматизован кишомер заснован на тежинском принципу. Циљеви које треба да задовољи овај кишомер су добијање висококвалитетних података о падавинама у одговарајућем времену, повећавање просторне густине извора података и подизање свести заједници о важности оваквих врста пројеката. „*CoCoRaHS*“ је пластично мерило кише који се састоји од левка, мерне цеви, преливне цеви пречника 4 инча (10,8 центиметра) и носача за монтажу. Материјал од којег је направљен носач је поликарбонат. За конструкцију модела коришћен је 3D штампач. Кључне компоненте за рад кишомера у целости је базирано на сензор силе, претварачу сигнала, микропроцесору и *Wi-Fi* комуникационом подсистему. Ћелија оптерећења служи за мерење тежине падавина, а за тестирање мерила коришћене су ћелије капацитета 0-2 kg и 0-5 kg . Аналогни сигнал из ћелије оптерећења помоћу претварача се појачава и преводи у дигитални сигнал. Дигитални подаци се микропроцесорским програмом конвертују у висину падавина. Одабран микропроцесор је АрдуиноУно. Напајање уређаја врши се путем батерије чији је животног век пола године.



Слика 2.10. Дизајн новог мерила кише „*CoCoRaHS*“

Тестирано аутоматско мерило кише засновано на тежини има довољну резолуцију од око 0,5 g и способност за бежични пренос података о падавинама. Тестирања су се обављала у лабораторијским условима и у затвореном простору, што оставља даљу могућност за прилагођавање овог модела теренским условима мерења.

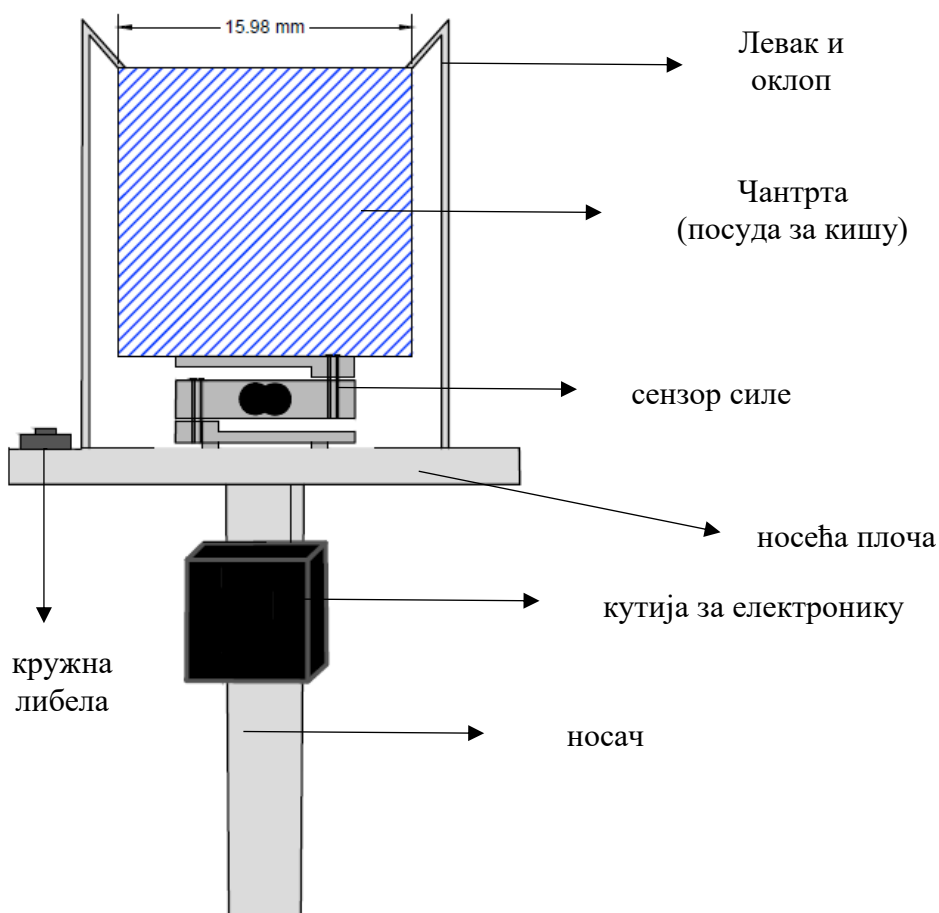
3. Методологија

Опрема за прављење кишомера

Елементи коришћени за израду кишомера се могу поделити у две категорије: носећи/конструктивни и електронски.

3.1. Конструктивни део опреме

Конструктивни део се састоји од резервоара (посуде за прикупљање кишнице), носеће конструкције, левка за усмеравање кише и оклопа за заштиту електронике.



Слика 3.1. Скица конструкције кишомера са пратећом опремом

Посуда за прикупљање кише требало би да буде стандардизованих димензија површине светлог отвора од 200 cm^2 , и запремине такве да се може прихватити годишња количина падавина. Посуда нема механизам за аутоматско пражњење. Материјал од којег је израђена треба да буде од нерђајућег челика (прохрома) или сличног слабокорозивног, а довољно чврстог материјала. Постоје и комерцијална решења за избор посуде за кишу, важно је само

да површински и запремински услови буду испуњени. У сврху овог рада коришћено је буренце од пива које је својим пречником и запремином од 5 l одговарало стандардима.



Слика 3.2. Комерцијално решење посуде за кишу

Посуда мора бити постављена на носећу конрукцију тако да њен базис заузима хоризонтални положај, што се може прецизно поставити кружном либелом, која се поставља на носећу плочу.

Левак који усмерава кишу у посуду је комерцијални левак за гориво који се својим пречником уклопио у стандарде. Неопходно је његов завршетак мало скратити како се не би ослањао на чантру за воду већ на заштитини оклоп. Овај део опреме је направљен од прохрома. Заштитни оклоп конструкције и сензора силе (ваге) је канализациона ПВЦ цев пречника 190 mm. Цев је потребно причврстити за носећу плочу помоћу одговарајућих, Л⁴ профила.



Слика 3.3. Комерцијална решења: Левак за гориво (лево) и ПВЦ цев од канализације (десно)

Електрични део се састоји од мерила напрезања тј. сензора силе (ваге), појачивача и АД конвертера НХ711, АрдуиноУна тј. контролног микропроцесора, дисплеја за приказ података, соларне батерије, уређаја за похрану СД картице и два тастера са задатим функцијама. Електрични део опреме је осетљив на влагу па се из тог разлога налази у кутији која је водонепропусна са декларисаним нивоом заштите IP67 (разводна кутија 175x151x95). Као највећи изазов у овом делу израде кишомера било је постављање уводница на кутију ради спровођења каблова тако да се очувао квалитет њене водонепропусности.

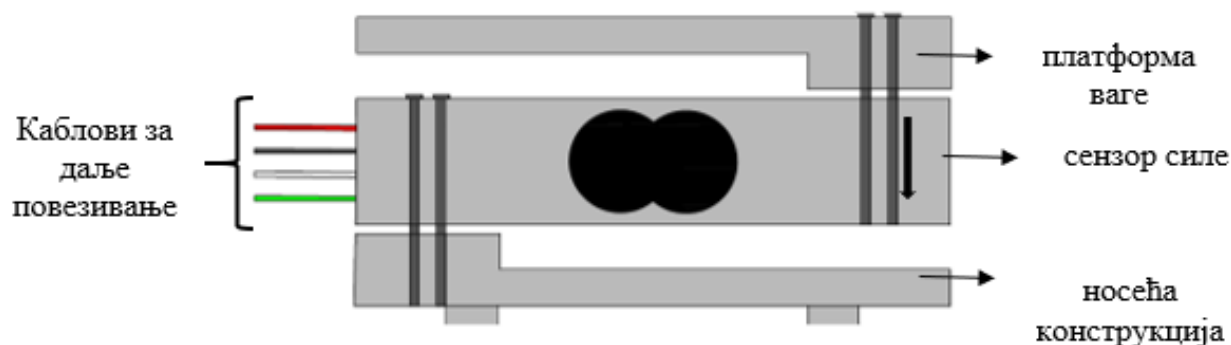


Слика 3.4. Заштитна кутија за електрични део опреме и уводнице

3.2. Електронски део опреме

Мерило напрезања – сензор силе

Мерило напрезања се састоји од платформе ваге, мерне ћелије тј. сензора силе, носеће конструкције и каблова за даље повезивање са појачивачем. Сама носећа конструкција и платформа ваге могу се израдити у 3D штампачу, купити као готови елементи или израдити ручно у зависности од врсте потребе за коју се користи сензор силе.



Слика 3.5. Скица мерила напрезања (ваге)

Сензор мења своје електрично својство под утицајем неке физичке појаве тј. неке њене бројне вредности. Детектује неку појаву и производи одговарајући излаз. Ако је излаз електрична величина (напон, струја, отпор) у питању је електрични сензор. Пасивни сензори су претварачи који захтевају спољашњи извор напајања (енергије).

За мерење тежине падавина потребан је сензор силе довољног капацитета да издржи саму посуду за прикупљање кише и њену максималну испуњеност, али исто тако да буде довољне прецизности како би детектовао и мале промене тежине. Коришћена мерна ћелија је „безимена“ мерна ћелија тежине до 5 kg са класом D1 и резолуцијом $5000/1000 = 5 g$. Овај модел је дизајниран у металној структури, са малим елементима који се називају мерила напрезања, монтирани на прецизно одређеним местима.

Референтни кишомер *OTT pluvio2* има мерну ћелију од познатог произвођача *HBM Z6 50kg* са $50000/6000=8,3$ g резолуцијом. *OTT pluvio2* налази се у дворишту Грађевинског факултета у Београду и његови подаци ће бити употребљени за проверу тачности кишомера који је предмет овог истраживања.



Слика 3.6. *OTT pluvio2* (Д.Продановић, П.Војт и Д. Павловић 2018).



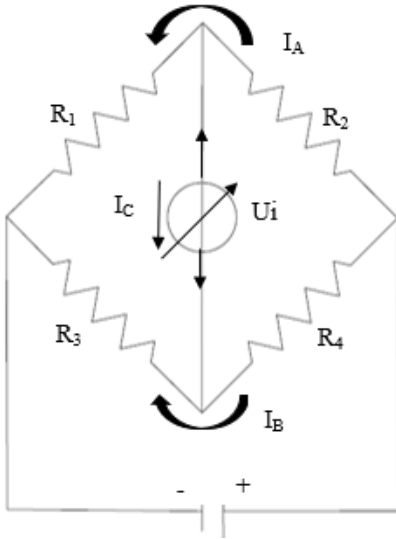
Слика 3.7. Кишомери на тежинском принципу *HBM* на простору метеоролошког подручја Грађевинског факултета у Београду (Д.Продановић, П.Војт и Д. Павловић 2018).

Мерило напрезања се деформише када се на њега делује оптерећење, а док је оно деформисано његов електрични отпор се мења пропорционално оптерећењу. Мерно оптерећење се претвара у електрични сигнал. Место где делује сила није критично, јер мерна ћелија оптерећења мери ефекат смицања на греду, а не савијања.

Максимална тежина која се сме применити на вагу у случају овог рада је 5 kg у супротном, сензор силе би се деформисао пластично тј. трајно.

Мерна ћелија ради по принципу мерила напрезања спојеног на Витстонов (енг. Wheatstone). Мерне траке (као и већина других електричних претварача) су осетљиве не само на истезање (корисна осетљивост) већ и на температуру, влазност, електрично сметње и друге утицаје (Д. Продановић 2022).

Пијезорезистивне траке услед деформације мењају отпорност која се рефлектује као разлика напона, тада сензор даје спољну струјну величину. Излазни напон ће тада бити пропорционалан само издужењу мерне траке. Када дође до истезања или скупљања приликом деформације магнитуда отпорности зависи од материјала, специфичне отпорности, круте дужине, а обрнуто је пропорционална површини попречног пресека. Затегнуте жице имају већу отпорност од скупљених жица.



Слика 3.8. Витстонов мост

U_i је излазни напон моста.

Да би Витстонов мост био у равнотежи $U_i=0$ треба да је :

$$U_1=U_3$$

$$U_2=U_4,$$

што значи ако је:

$$R_1 I_A = R_3 I_B$$

$$R_2 I_A = R_4 I_B$$

тада излазни напон $U_i=0$. Из тога следи да је:

$$U_i = U_1 - U_3 = R_1 I_A - R_3 I_B$$

$$I_A = \frac{U}{R_1 + R_2};$$

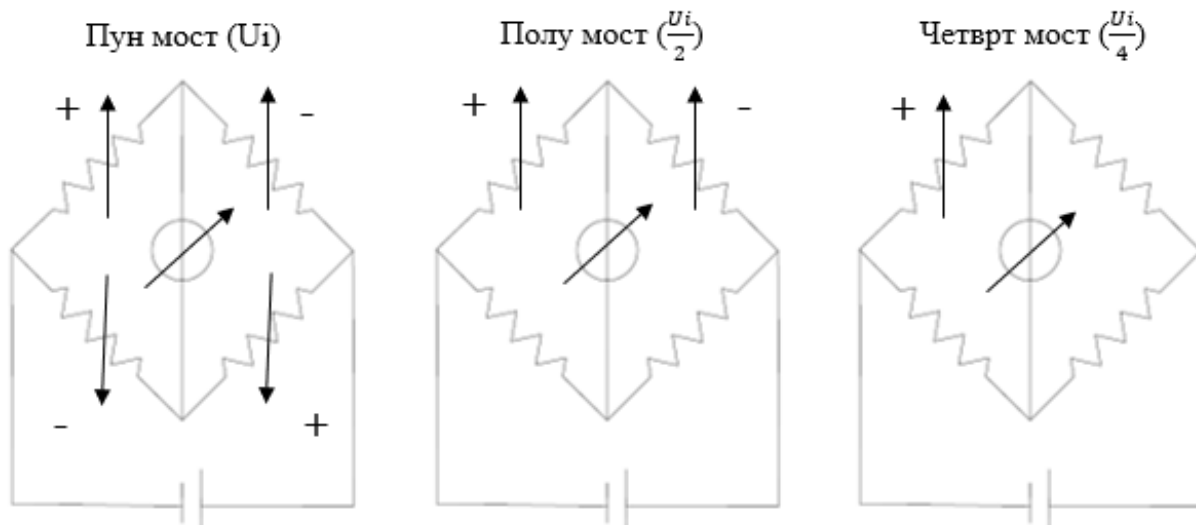
$$I_B = \frac{U}{R_3 + R_4};$$

зато што је $U_i=0$ тј. струја кроз инструмент $I_c=0$.

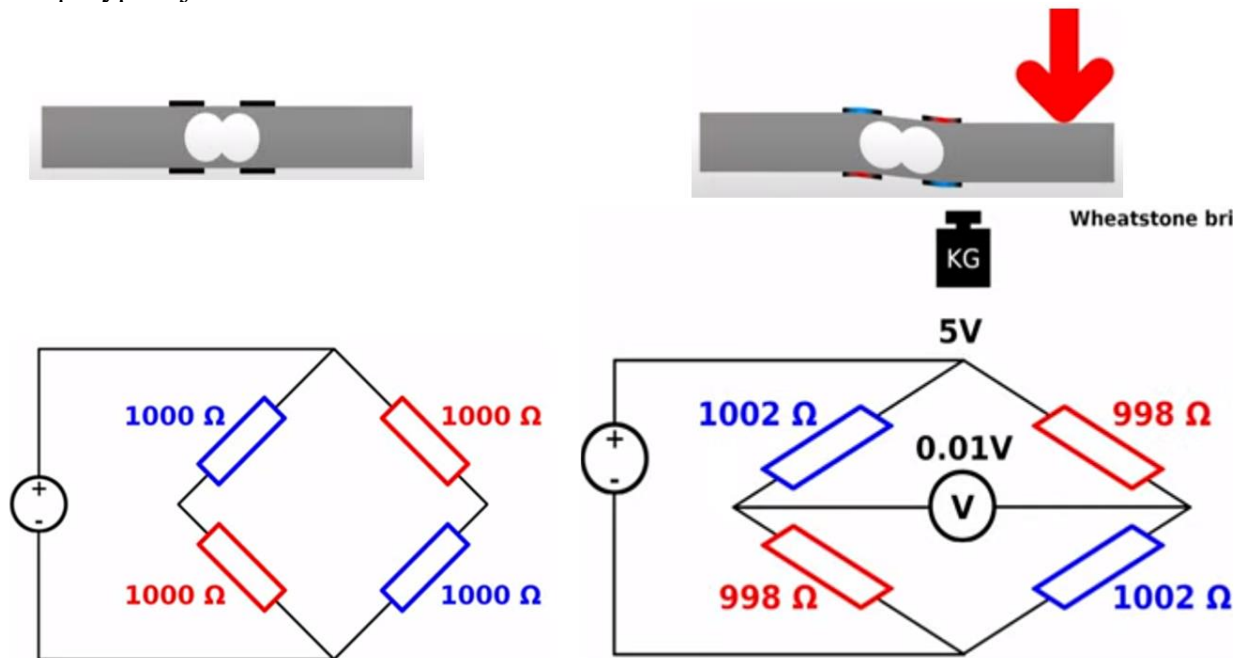
$$\left. \begin{aligned} U_i &= R_1 * \frac{U}{R_1 + R_2} - R_3 * \frac{U}{R_3 + R_4} \\ U_i &= U * \frac{R_1(R_3 + R_4) - R_3(R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \end{aligned} \right\} U_i = U * \frac{R_1 R_4 - R_3 R_2}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (13)$$

Добијена је зависност излазних напона U_i од вредности отпорника у Витстоновом мосту. Да би се мост довео у стање равнотеже, избалансирао, тј. да би се постигао $U_i=0$ у непо ремећеном стању потребно је остварити $R_1 R_4 = R_3 R_2$, из чега следи: $\frac{R_1 * R_4}{R_3 * R_2}$.

Код мерних трака се мења отпорност при истезању. Могуће су следеће конфигурације примене Витстоновог моста:



Слика 3.9. Витстонов мост за мерење померања помоћу мерних трака - различите мерне конфигурације



Слика 3.10. Приказ мерне ћелије у природном и деформисаном стању

На тачност мерења утиче температура на коју је мерило напрезања осетљиво. Да би се одржала тачност постоје две методе за поништавање ефекта температуре. Први је усклађивање брзине експанзије мерила напрезања са брзином ширења метала на који је постављен. Прекомерно оптерећење мерила може се избећи јер се ћелија за мерење загрева и хлади. Други метод је коришћење вишеструких мерила напрезања. Теорија ове методе је да сва мерила напрезања реагују на промену температуре са истом променом отпора (Jieqi Lin 2016).

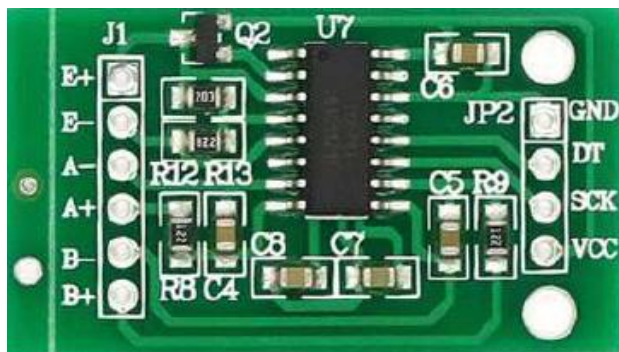
Електрични сигнал који даје мерило напрезања је сувише мали да би микропроцесор могао директно да га очита. Из тог разлога се између мерила напрезања и микропроцесора (АрдуиноУна) поставља и појачивач сигнала.

Сензори тежине користе четворо - жични Витстонов мост да се повежу са *HX711*. Жице су обично обојене црвено, црно, бело и зелено. Свака боја сензора тежине одговара конвенционалном кодирању боја:

- Црвена (Побуда + или напајање -ВЦЦ)
- Црна (Побуда - или уземљење -ГНД)
- Бела (Појачавач +, Сигнал +, или Излаз +)
- Зелена (А-, С- или О-).

Појачивач сигнала

Као појачивач сигнала употребљен је *ADC HX711* са сензором притиска тежине. Мала плоча која омогућава да се лако очита сензор тежине, како би се измерила потребна величина. Повезивањем појачивача на микропроцесор може се очитати промена отпорности сензора тежине. Поред појачања сигнала, *HX711* служи да аналогни сигнал сензора силе претвори у неки дигитални податак. Применом одговарајуће калибрације добијени дигитални сигнал конвертује се у неко жељено очитавање. *ADC HX711* је 24-битни претварач за читање података са мерила напрезања, што значи да постоје 2^{24} целобројне могућности да се запише нека добијена вредност.



Слика 3.11. *ADC HX711*

Појачивач може да се прилагоди опсегу у ком ради и сензор силе, чиме му се повећава резолуција.

Лева страна пинова појачивача повезује се са мерном ћелијом, при чему су ознакама *E+* и *E-* везане за напон, а *A+* и *A-* за очитавање мерења. Десна страна појачивача се повезује са микропроцесором и значење њених пинова је следеће:

- *GND (Ground)* – Уземљење. Проводник под нултим потенцијалом, који је референца за сва напонска мерења са потенцијалом од 0 волти. Уземљење је вод на нултом потенцијалу који служи заштити.
- *VCC* пин се користи за напајање свих дигиталних компоненти, типична вредност напона напајања је 5 V.
- Пин *SKC* и *DT* се користе за проналажење података, избор улаза, избор појачања и контролу снаге. *SKC* је дигитални улаз намењен контроли искључења напајања (високо активно) и улазног серијског сата. *DT* је дигитални излаз серијских излазних података. Када излазни подаци нису спремни за преузимање, дигитални излазни пин *DT* је висок. Серијски сат улаз *SKC* би требао бити низак. Када *DT* низак, означава да су подаци спремни за преузимање.

Микропроцесор- АрдуиноУно

Модел Ардуино УНО саджи 8-битни АТМега328 микроконтролер. Актуелна верзија је опремљена *USB* интерфејсом, заједно са 6 аналогних улаза и 14 дигиталних улаза/излаза опште намене. Аналогни и дигитални улазно/излазни прикључци су изведени на конекторе који су смештени на ободима плоче и преко којих је могуће спајање основне контролерске плоче са различитим експанзионим плочама које се називају штитови. Штитови су плоче на којима се могу налазити хардверски уређаји различите намене.

На плочи се налази микроконтролер, заједно са неопходним компонентама које омогућавају његов рад, као и повезивање са рачунаром преко ког се врши програмирање и са другим периферијским плочама. Повезивање са рачунаром врши се преко серијског *USB* интерфејса.



Слика 3.12. Изглед и распоред основен плоче АрдуиноУно система

PWM - Неки дигитални пинови имају ознаку „~“ (тилда), што значи да ти пинови подржавају пулсно ширински модулирани излаз. Пошто АТмега328 нема *DAC* (*Digital-to-Analog Converter*) логику, користи технику *PWM* (*Pulse Width Modulation*) за генерисање аналогних сигнала путем модулације квадратног таласа.

USB конектор служи за напајање и програмирање.

TX/RX светлеће диоде – *TX* диода трепери кад микро-управљач шаље податке, а *RX* диода трепери кад микро-управљач прима податке.

АТмега микроконтролер – Мозак Ардуино плочице. Он контролише шта се догађа на пиновима, читава сигнале који му долазе, на њега се спрема код рачунара итд.

ЛЕД индикатор напајања светли када је плоча спојена на напајање.

Напонски регулатор контролише јачину напона ка Ардуину.

Енергетски извори напајања АрдуиноУна:

- *USB* порт (+5 волти улаз)
- *Japan Jack* утичница
- *Vin* утичница
- *5V* утичница

Ардуино програмско развојно окружење

Ардуино ИДЕ (*енг. Integrated Development Environment*) је окружење које се користи за развој софтвера за различите типове Ардуино платформе. Писано је у програмском језику Јава и постоји у варијантама за оперативне системе *Windows*, *Linux* и *Mac OS X*. Могуће га бесплатно преузети преко веб странице <http://www.arduino.cc/>.

У окружење између осталог спадају следећи програмски модули:

- Окружење за унос текста (едитор), у којем се пише изворни код програма,
- Преводацац (компајлер), који преводи изворни код програма у одговарајући машински код,
- Програматор, који се користи за комуникацију са *bootloader*-ом на плочи и служи за пребацивање компајлираног програма у програмску *flash* меморију микроконтролера,
- Серијски монитор, који служи за комуникацију са Ардуином посредством виртуелног *USB* -а серијског порта, за време извршавања апликација.

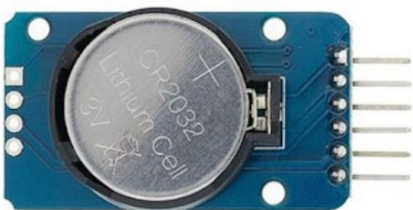
Програмски језик Ардуино апликација користи основне елементе језика *C* и *C++*. Писање програма који ће се извршавати на Ардуино плочици подразумева да корисник мора да дефинише две функције, које сачињавају извршни програм. Те функције су:

- *Setup()* - функција која се извршава једном на почетак и служи за почетна подешавања (иницијализацију параметара).
- *loop()* - функција која се након иницијализације извршава у бесконачној петљи и позива се све док се не искључује напајање основне плоче, или док не наступи ресет, који доводи до поновног извршења програма из почетка.

Будући да се концепт Ардуина заснива на отвореном коду (*енг. open-source*), као и захваљујући чињеници да су развојни алати интуитивни и једноставни за употребу, ова платформа је врло брзо стекла широку популарност и велики број корисника широм света. Временом, корисници су развили велики број примера програма, као и библиотека корисних функција, које су ставили на располагање другим корисницима.

Модул са батеријом

DS3231 модул са батеријом је прецизан сат реалног времена (*RTC*) са интегрисаним осцилатором температуре. Уређај има улаз за батерију и одржава тачно време када се прекине главно напајање уређаја. *RTC* одржава информације о секундама, минутима, сатима, дану, датуму, месецу и години. Датум на крају месеца се аутоматски прилагођава за месеце са мање од 31 дана, укључујући исправке за преступну годину. Сат ради у 24-часовном или 12-часовном формату.



Слика 3.13. Модул са батеријом *DS3231*

Читач картице

Модул СД картице је посебно користан за пројекте који захтевају евиденцију података. Ардуино може креирати датотеку на СД картици за писање и чување података користећи СД библиотеку.

Поседује укупно шест пинова (*GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS*).

VCC је напајање, *MISO, MOSI, SCK* је *SPI* магистрала, *CS* је сигнални пин за одабир чипа. Пинове читача картице потребно је повезати са пиновима на микропроцесору.



Слика 3.14. Читач картице

Екран за приказивање података

ЛЦД за Ардуино је плавог позадинског осветљења. Карактери који су потребни за приказивање програмирани су кодом. Време рада екрана, тј. његово укључење и искључење такође се одређују у програмском коду. Подешено време укључења екрана је на сваких 10 минута, тј. на сваких 60 циклуса. У сваком од циклуса програм приказује тражене податке. Период искључења екрана уведен је како би се што више продужио век батерији за напајање. Екран је са остатком осетљиве опреме на влагу смештен у водонепропусну кутију са провидним поклопцем.



Слика 3.15. ЛЦД за Ардуино

На дисплеју се исписује датум и време као и сирова вредност читавања, такође на крају се "СД+" или "СД- ", означава да ли је запис успешно сачуван на СД картици.

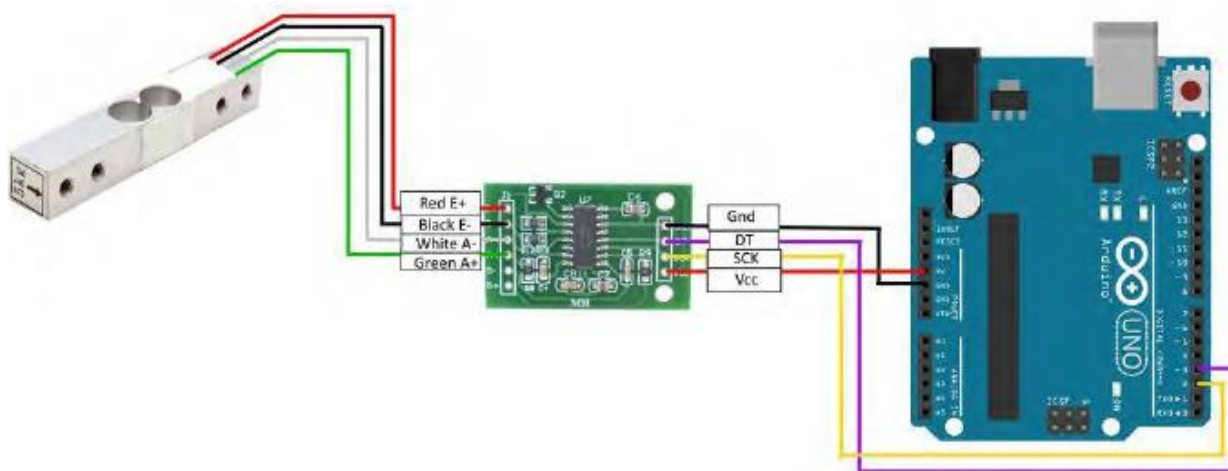
3.3. Методологија израде кишомера

3.3.1. Повезивање електронских компоненти

Претходно поменуте електричне компоненте потребно је повезати. Сензор силе се повезује са појачивачем *ADC HX711*, а он се повезује са микропроцесором АрдуиноУно-м. Повезивање сензора силе и појачивача врши се путем фазонски направљеног модела цека у којем се налазе завршеци све четири жице. Иако је таква веза лакша за коришћење треба водити рачуна о јако осетљивом споју. Постоји и могућност да свака жица буде у засебном цеку, као што је пример са жицама које спајају појачивач и АрдуиноУно. У каснијој изради конструкције, жице ваге су због осетљивости изоловане телефонским каблом и помоћу пластичних лустер клема повезане су са појачивачем.



Слика 3.16. (лево) све четири жице у једномо цеку и (десно) свака жица има засеби цек



Слика 3.17. Повезивање појачивача са сензором силе и микропроцесором

Лемљењем се постижу трајни спојеви. Пре почетка лемљења на плочу се на местима где се планирало лемљење, мазала паста (маст) како калај не би спао са жељеног места. Лемљење је неопходно обавити јако прецизно како не би дошло до спајања калаја, чиме се изазива

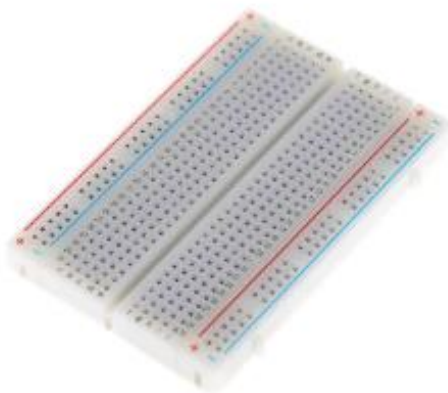
кратак спој. Уз сам уређај за лемљење налази се и мали сунђер који служи за чишћење врха лемилице.



Слика 3.18. Уређај за лемљење са намотајем калаја



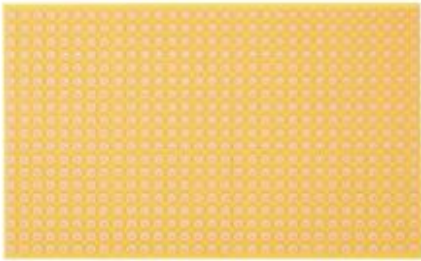
Слика 3.19. Паста за што боље пријањање калаја за плочу (лево), трајни спој на плочи појачивача (десно)



Слика 3.20. Прототипска плоча

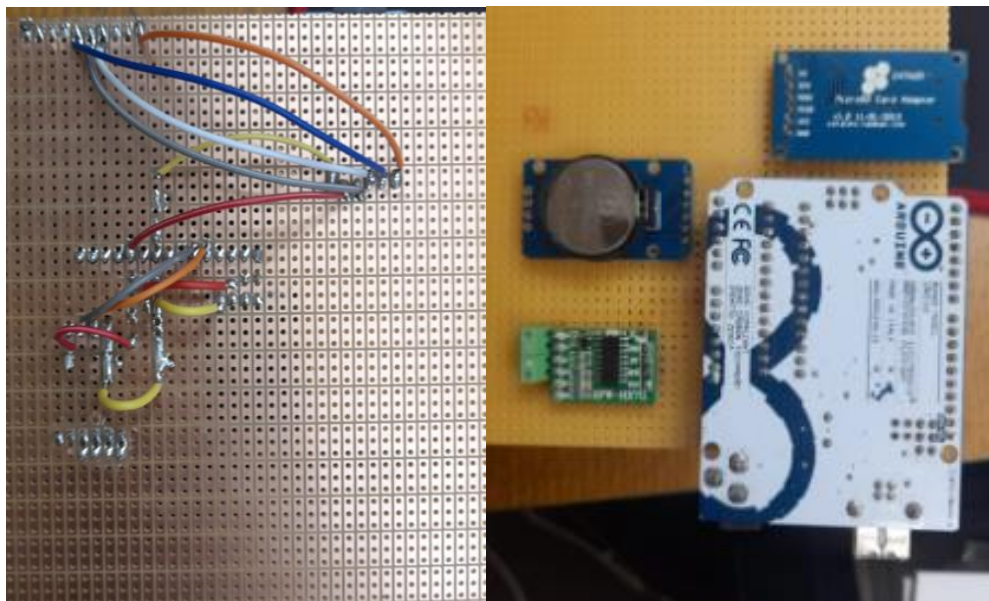
Прототипска плоча омогућава спајање електронских компоненти без прављења трајних спојева лемљењем. Вертикалне линије „водови“ означавају да ће компоненте убоdene у истом вертикалном реду међусобно бити спојене. Хоризонталне плаве линије означавају да

ће компоненте убудене у истом хоризонталном реду бити међусобно спојене. Прототипска плоча користи се у тестовима опреме и батерија за напајање.



Слика 3.31. Тест плоча

Тест плоче се користе за трајне спојеве који се остварују лемљењем. Тест плоча користи се у завршној фази спајања електронских компоненти. Међутим услед тестирања кишомера са тест плочом дошло је до „клизања“ резултата у стању мировања. Из тог разлога прототипска плоча се користи за спајање електронских компоненти, јер је њена поузданост задовољења у тестовима испитивања кишомера.



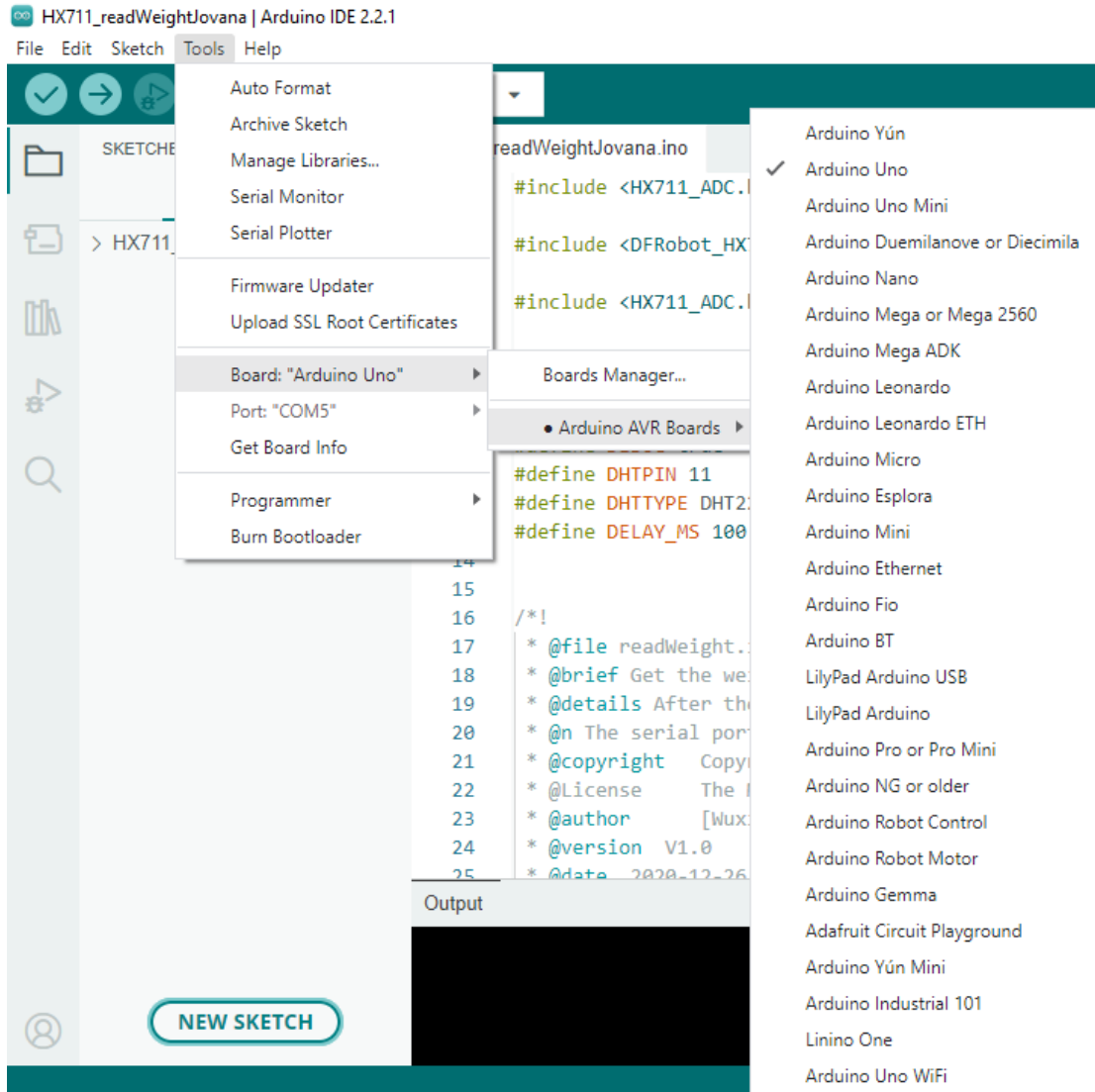
Слика 3.22. Фаза повезивања електронских компоненти на тест плочи

Последњи вид физичке везе је између микропроцесора и рачунара и они су повезани путем *USB A* који се повезује на Ардуино Уно и *USB B* кабал који се повезује на рачунар. Овај вид физичке везе постојао је у фази тестирања опреме. У завршној фази веза између рачунара и Ардуино Уна не постоји, Ардуино Уно се напаја путем соларних екстерних батерија, користећи исти *USB A* и *USB B* кабал.



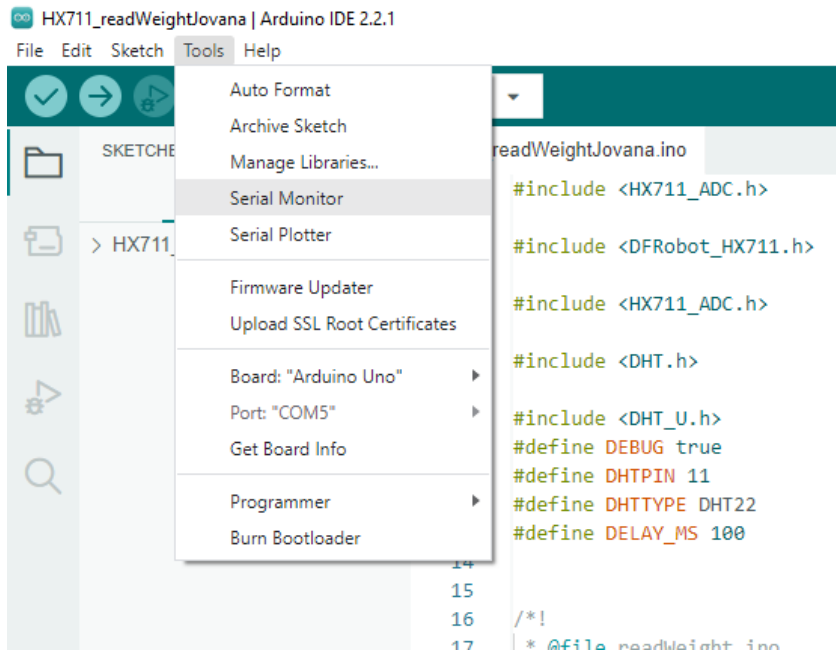
Слика 3.23. *USB A*, *USB B* кабал (лево) и соларна екстерна батерија за напајње (десно)

Поред физичког повезивања свих електричних компоненти потребно их је и програмски повезати. За ту врсту повезивања користи се Ардуино ИДЕ са одговарајућим библиотекама података. На самом почетку кодирања потребно је додати одговарајуће библиотеке употребљених сензора, дефинисати пинове и временски корак читавања сензора силе, као и остала временска и циклусна ограничења. Након тога неопходно је изабрати Ардуино плочу коју користимо, у овом случају АрдуиноУно и одабрати одговарајући комуникациони порт *COM5*. *COM* је оригинално, али још увек уобичајено име интерфејса серијског порта на рачунарима компатибилним са *PC* -јем.



Слика 3.24. Приказ избора одговарајуће плоче микропроцесора и дефинисање порта

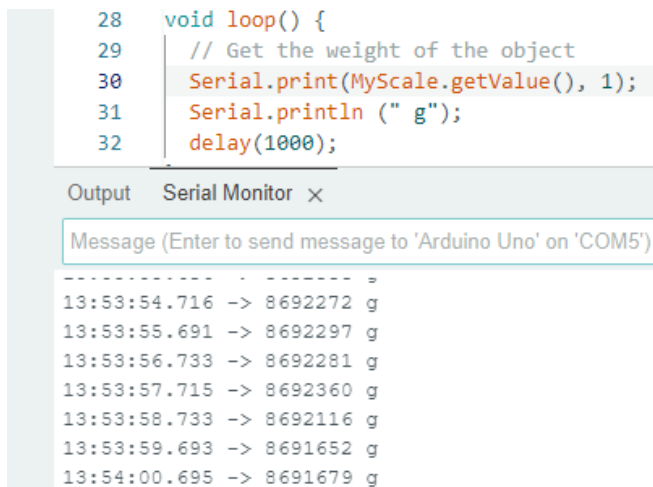
Serial Monitor користи се за испривање серијских података. Подаци могу бити приказани и у виду дијаграма помоћу опције *Serial Plotter*. Сваким позивањем неке од ове две опције, *Monitor(Plotter)* шаље плочи сигнал да се рестартује.



Слика 3.25. Приказ опција за покретање кода у радном окружењу Ардуино ИДЕ

Поступак калибрације сензора силе (ваге)

Калибрација служи да сирови сигнал који даје појачивач претвори у смислену величину која је предмет истраживања. Првобитно потребан резултат истраживања који је и неопходан за проверу самог сензора тежине је маса. Маса у односу на коју се врши калибрисање ваге је тег стандардне тежине од 2 kg , а могла се узети било која друга позната тежина. Неопходно је само одабрану масу за калибрацију дефинисати у коду на самом почетку. Физички процес се заснива на постављању тега на површину мерила напрезања у тачно дефинисаном тренутку од покретања кода у програму Ардуино ИДЕ.



Слика 3.26. Приказ сирових податка у радном окружењу Ардуино ИДЕ

Калибрациони фактор је померај у односу на нулу. Његова вредност се прати у наредним испитивањима кишомера.

```
10:04:06.685 -> Averaging... pass #25: value = 9692793
10:04:06.686 -> Calibration factor = 477.95
10:04:06.686 ->
10:04:06.686 -> Starting read...
10:04:07.125 -> Masa = 2000.27g
10:04:07.236 -> T = 24.70°C
10:04:08.326 -> Masa = 1996.86g
```

Слика 3.27. Приказ добијеног калибрационог фактора у радном окружењу Ардуино ИДЕ

Задато време између серија мерења је 10 s (10000 ms). Сирови подаци су изворни и самим тим веће тачности од података добијених поступком калибрације.

Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM5')

```
10:03:52.060 -> Averaging... pass #86: value = 8736355
10:03:52.166 -> Averaging... pass #87: value = 8736287
10:03:52.267 -> Averaging... pass #88: value = 8736239
10:03:52.367 -> Averaging... pass #89: value = 8736275
10:03:52.446 -> Averaging... pass #90: value = 8736519
10:03:52.555 -> Averaging... pass #91: value = 8736741
10:03:52.664 -> Averaging... pass #92: value = 8736796
10:03:52.746 -> Averaging... pass #93: value = 8736875
10:03:52.854 -> Averaging... pass #94: value = 8737219
10:03:52.977 -> Averaging... pass #95: value = 8737850
10:03:53.084 -> Averaging... pass #96: value = 8738559
10:03:53.149 -> Averaging... pass #97: value = 8738644
10:03:53.260 -> Averaging... pass #98: value = 8738412
10:03:53.379 -> Averaging... pass #99: value = 8738199
10:03:53.481 -> Averaging... pass #100: value = 8738113
10:03:53.650 -> Raw zero = 8736270
10:03:53.650 -> Place the calibration weigth onto the cell...
10:03:53.650 -> 10...9...8...7...
```

Слика 3.28. Приказ осредњавања силових податка и тренутка када је неопходно поставити тег на платформу ваге

Објашњење кључних функција употребљених у претходном коду:

- Помоћу функције *getValue* програм приказује сирове податке.
- Функцијом *read_average* ишчитава се одређен број пролаза и читава њихову просечну вредност.
- *calibrate_zero* позива се пре стављања тег на вагу, она рачуна која је јачина сигнала када сензор тежине није оптерећен.
- Функција *find_calibration_factor* се покреће тек након исчитавања вредности нуле.

- *convert_to_mass* функција која сирове податке претвара у потребну јединицу тежине (граме).

```
(float)(val - HX_zero) / calibration_factor; (14)
```

- *read_weight* служи за читавање сирових вредности са *HX711* у интервалу од *100 ms* са унапред дефинисаним бројем итерација. На основу броја итерација рачуна просечну вредност сирових података ради боље прецизности.
- *LCD_print_message* служи за исписивање података на ЛЦД екрану.
- *LCD_progress_bar* исписује време преостало за постављање калибрационог тега за поступак калибрације.
- *LCD_default_print* стандардни испис на ЛЦД екран: датум, време, сирова вредност мерења и статус уписа на СД картицу.
- Изрази за израчунавање интервала мировања и рада ЛЦД екрана:

```
constexpr long DELAY_NO_LCD = DELAY_CYCLE - AV_PASSES * (15)
DELAY_SHORT - DELAY_OVERHEAD;
```

```
constexpr long DELAY_WITH_LCD = DELAY_CYCLE - AV_PASSES * (16)
DELAY_SHORT - DELAY_OVERHEAD - LCD_DURATION;
```

- *itoa_2digit* служи за превођење бројних вредности у низ карактера.
- *RTC_get_dt_and_temp* функција која служи за исчитавање времена и датума са *RTC* модула и претвара бројчане вредности у низ карактера.
- *save_to_SD* служи за уписивање временских података мерења на СД картицу.
- *LCD_on* и *LCD_off* функције које укључују и искључују позадинско осветљење на дисплеју.
- *LCD_procedure* у зависности од циклуса мерења укључује и искључује ЛЦД екран користећи *LCD_on* и *LCD_off* функције.
- *Setup* функција која поставља иницијалну нулту вредност, врши калибрацију и врши иницијализацију модула.
- *Loop* функција која се позива периодично, врши мерења и уписује мерења на СД картицу.

Целокупну базу података извршених мерења могуће је сачувати помоћу *Python* програма. Одговарајући код у *Python* програму омогућава читање резултата након завршених тестова и прекидања рада Ардуино ИДЕ програма. Поменута процедура се користила током тестирања делова опреме и неће имати примену током реалног мерења.

3.3.2. Повезивање конструктивних компоненти

Конструктивни део опреме израдио је и повезао техничар Катедре за хидротехнику и водно еколошко инжењерство, Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Носећа конструкција са носећом плочом је прављена посебно по предвиђеним димензијама. Левак и заштитни оклоп, као готови елементи, прилагођавани су целокупној конструкцији. Прелаз између оклопа (цеви) и левка је поклопац инсталације од прохома који је исечен тако да предстваља везу оклопа и левка који се ослања на њега. Платформа ваге и носећа конструкција ваге су ручно израђени елементи од плексигласа како би се уклопили са остатком конструкције.



Слика 3.29. Фазе повезивања конструктивних компоненти: носач (лево), носећа плоча и чантра (средина) и оклоп са левком (десно)

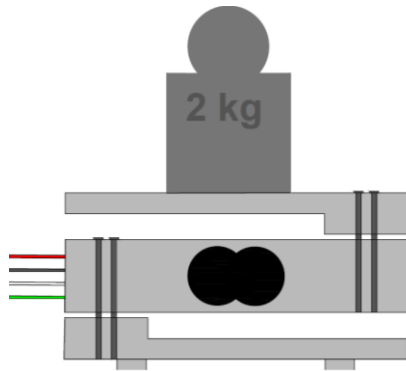
3.4. Испитивање кишомера

Наредна тестирања се врши у фази доказа концепта компоненти кишомера. Циљ је да се докаже како концепт ваге састављен помоћу АрдуиноУно компоненте може да ради као вага.

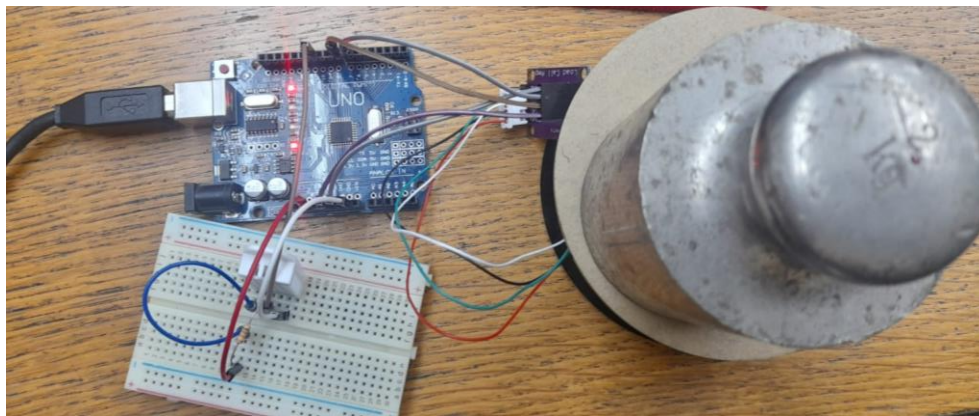
3.4.1. Статички тест ваге

Статички тест ваге служи за мерење масе и доказивање њене прецизности као ваге. Тест се базира на процесу калибрације објашњеном у претходном поглављу.

За почетни статички тест потребан је: сензор силе у улози ваге, тег стандардне масе од 2 kg , АрдуиноУно, појачивач *ADC HX711* и рачунар за чување података. На основу претходно дефинисаног калибрационог кода у програмском окружењу Ардуино ИДЕ, врши се поступак калибрације при температури окружења од $22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тест се обављао у затвореном простору, а понављање теста се вршило 20 пута. Резултат теста је средња вредност калибрационог фактора, која је добијена из низа од 20 регистрованих вредности.



Слика 3.30. Шема мерила напрезања током процеса калибрације тегом познате масе 2 kg



Слика 3.31. Процес калибрације тегом познате масе 2 kg

3.4.2. Температурна осетљивост резултата статичког теста ваге

У даљи процес истраживања уводи се и сензор температуре (*ASAIR AM2 302 SN: 180175D02*). Сензор температуре се користи као помоћни елемент путем којег се прати понашање сензора силе при различитим температурним стањима. Сви сензори температуре су динамички системи првог реда тачности, што значи да му треба пар секунди да би достигао вредност у одзиву.



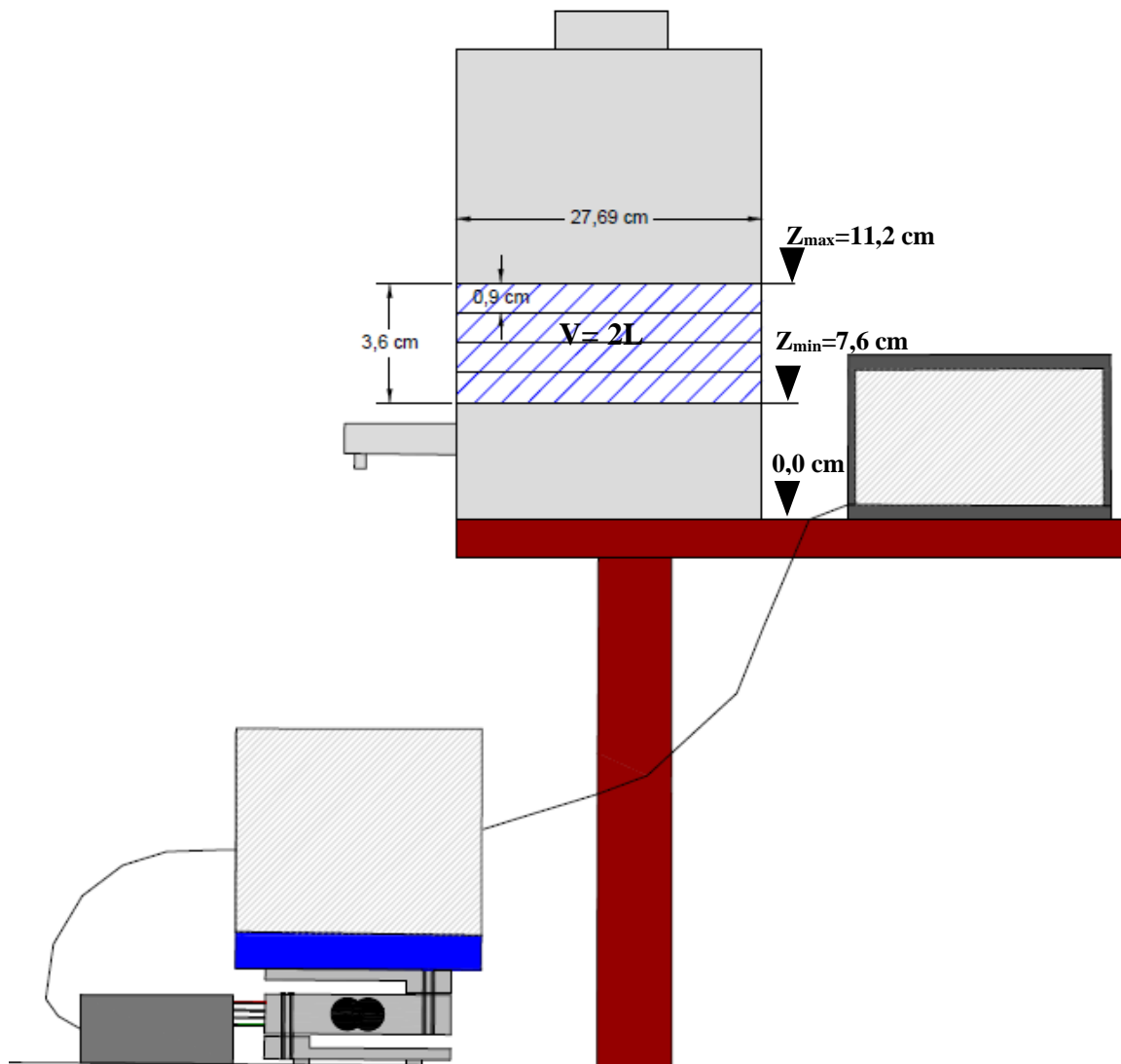
Слика 3.32. Сензор температуре (*ASAIR AM2 302 SN: 180175D02*)

Требало обратити пажњу да ли се добијају другачије вредности за исту масу, ако се промени температура окружења. Тестирања се обављају у опсегу температура од $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$. Фокус контролисања базира се на фактору калибрације. Анализа обухвата поред праћења промене калибрационог фактора и статичке грешке које утичу на варирање резултата масе.

За статички тест при различитим температурама поред претходно поменуте опреме потребан је фен за подизање температуре и замрзивач за тестирање при ниским температурама. Поступак калибрације се понаља постављањем тега стандардне масе од 2 kg на вагу. У 5 понављања прате се промене калибрационог фактора при високим температурама и добија се вредност његове стандардне девијације. Промене калибрационог фактора при ниским температурама, такође се прате кроз 5 понављања. Резултати теста су приказани у наредном поглављу.

3.4.3. Динамички тест

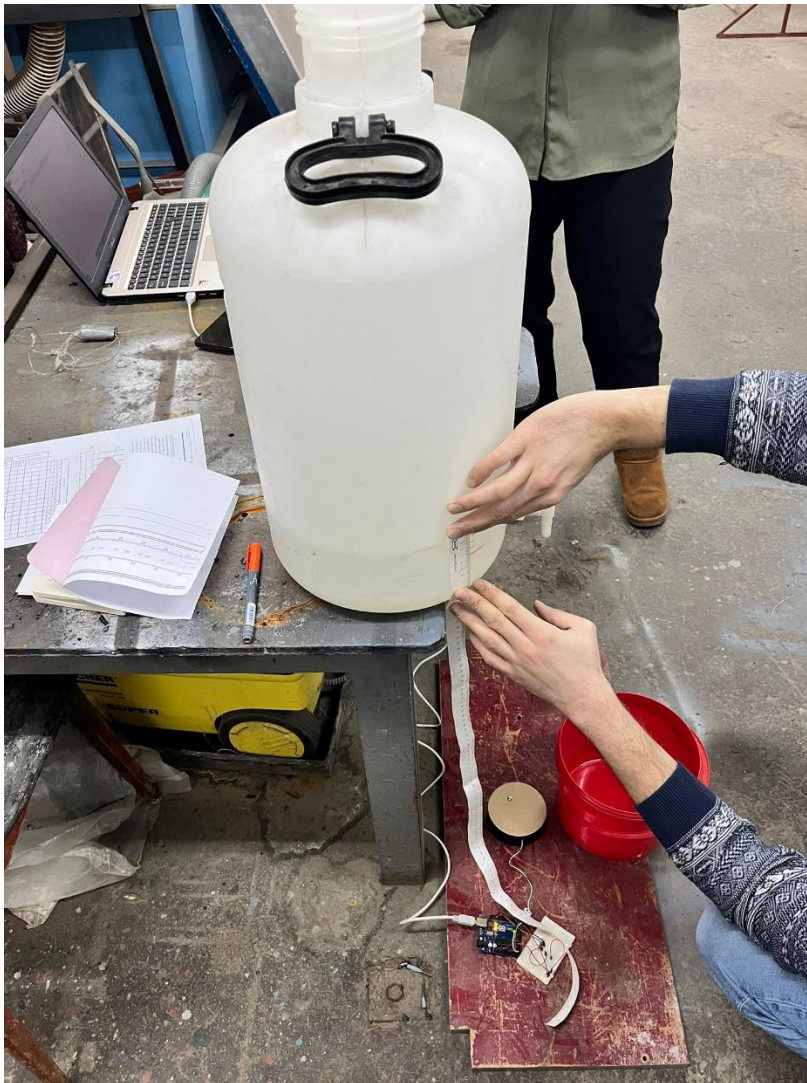
Динамички тест треба да буде поновљив и да се извршава увек при истим условима. За извођење динамичког теста потребно је поред поменуте електричне опреме поседовати и део конструктивне опреме. Конструктивна опрема састоји се од бурета пречника $13,85\text{ cm}$ довољне запремине да прими течност запремине 2 l и канте за воду бруто тежине 170 g . Буре требало би да на доњем делу има чесмицу са вентилом за отварање/затварање.



Слика 3.33. Шема динамичког теста

На буре се прво обележи минимална кота воде, затим се досипа вода запремине 2 l и обележи се максимална кота воде. Распон између минималне и максималне коте се подели на 4 једнака интервала, како би се могло испратити време пражњења запремина на сваких $0,5\text{ l}$. Бруто тежина посуде у коју цури вода користи се као таро приликом праћења резултата и прорачуна масе и калибрационог фактора.

Динамички тест се изводи у лабораторији при температури од $19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тест почиње покретањем калибрације у Ардуино ИДЕ програму у тренутку отварања вентила на бурету. Резервоар се празни све док из њега не изађе запремина од 2 l тј. не дође до коте минималне запремине. Задатак теста је да се помоћу *Python* програма бележи временска реакција и промена масе. Помоћу видео снимка на телефону пратимо и реално време пражњења резервоара на $0,5\text{ l}$. На основу добијених резултата вршимо преглед одступања масе и времена.



Слика 3.34. Извођење динамичког теста у лабораторији

3.4.4. Тестирање прототипа кишомера у лабораторијским условима

Услед конструисања кишомера у лабораторијским условима потребно је тестирати његову прецизност и увидети потенцијално могуће грешке у програмском коду.

У првом тесту се у посуду за прикупљање падавина сипала из мензуре течност од укупно 3 l на сваких 3 минута по 0,5 l. За калибрацију ваге коришћен је тег од 2 kg. Тест је трајао 18 минута. Праћена је прецизност, поновљивост и конзистентност резултата.

У другом тесту је течност од 2 l била распоређена на ситније интервале. Укупно је било седам серија уливања. Време трајања теста је 30 минута, а интервали насипања нису били индентични. Овим тестом је праћена такође прецизност, поновљивост и конзистентност резултата, док је калибрациони фактор унапред био искуствено фиксиран на 443.

3.4.5. Тестирање прототипа кишомера у реалним условима

Након спроведених тестова у лабораторијским условима кишомер је постављен у дворишту факултета. Пробни период кишомера је трајао од 19.04. до 22.04.2024. године. Калибрациони фактор је искуствено фиксиран на вредност од 443.



Слика 3.35. Постављање кишомера у дворишту факултета

3.5. Обрада података

Приликом обраде података важно је правилно систематизовати сачуване податке. Очитана је сирова вредност масе, маса у g , температура $^{\circ}C$, вредност калибрационог фактора и вредност нуле. Подаци захтевају додатну обраду, јер се у току очитавања може јавити шум у сигналу, који ако се не изолује угрозио би тачност података. Интервал регистровања података задаје се у програмском коду и њега треба задати у складу са потребама истраживања.

3.5.1. Методологија обраде података коришћена за DIY кишомер 2018.године

Падавине ниског интензитета од око $0,1 \text{ mm/min}$ забиљежене у октобар 2017. године путем самостално конструисаног тежинског кишомера заснованог на АрдуиноУну, поређене су са резултатима референтних кишомера *OTT pluvio2* и *AED*.

Ардуино Уно користећи сензор силе исписује дигиталне податке на сваку секунду. Ова врста података представља сирову вредност тежине падавина. Секундни подаци су осредњавани како би се добиле вредности података за сваки минут (60 секунди). Сирове вредности висине падавина добијају се као однос тежине падавина у дигиталном формату и површине левка који усмерава кишу.

Тражен интензитет падавина у $[mm/min]$ добија се одузимањем сирових вредности висине падавина у садашњем и претходном временском тренутку. Интензитет падавина не сме бити негативна величина, па се наредна два ограничења односе на тај услов. Ако је средња вредност разлике сирових вредности висина падавина наредног и прошлог временског тренутка мања од 0,01, интензитет падавина је 0. Такође интензитет падавина је 0 у случају да је разлика сирових вредности висина падавина у претходном и садашњем тренутку мања од 0. Кумулативним сабирањем вредности интензитет падавина у $[mm/min]$ добија се висина падавина у $[mm]$.

OTT pluvio2 даје готове податке о интензитету кише у $[mm/min]$ и висини падавина у $[mm]$. *AED* мерило даје податке који се обрађују на сличан начин као подаци мерила кише заснованог на Ардуино Уну.

3.5.2. Унапређена методологија обраде података коришћена за DIY кишомер 2018.године

У овом мастер раду примењена је логика обраде података коришћена за DIY кишомер 2018.године, али уз поједина унапређења. Прикупљени подаци нису директно тражене вредности и захтевају додатну обраду.

Према дефинисаним условима у програмском коду регистровани су подаци на сваких 10 секунди од момента постављања кишомера. Фокус обраде је био на прочитаним вредностима масе у g .

На основу искустава струке да максимална вредност интензитета може бити $1,24 \text{ mm/min}$ на разматраној територији града Београда, усвојено је да градијент масе у g не може бити већи од 5 g . Уколико је градијент већи та вредност ће аутоматски бити замењена просечном вредности масе из претходног и наредног временског тренутка. Како се у регистрованим масама понекад појави шум у сигналу, поменути поступак додатне обраде масе је неопходан. Тако добијене сирове вредности осредњаване су како би се добиле вредности масе за сваки минут (60 секунди).

Поступак добијања интензитета и висине падавина је исти као код обраде података DIY кишомер.

4. Резултати и дискусија

4.1. Резултати испитивања кишомера

4.1.1. Резултати статичког тест

Статички тест који се вршио при температури од 22,5 °C у 20 понављања дао је низ од 20 података на основу којих се дошло до средње вредности калибрационог фактора.

Табела 4.1. Резултати статичког теста

Р.Бр.Статичког теста	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Калибрациони фактор	431.1	430.59	430.44	430.83	430.78	430.70	430.71	430.61	431.10	430.96
Р.Бр.Статичког теста	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Калибрациони фактор	431.23	430.99	431.35	431.35	431.13	431.27	430.79	430.46	430.43	429.94

Средња вредност низа од 20 вредности калибрационог фактора добијених статичким тестом је 430.838. Просечно одступање од просечне вредности калибрационог фактора је 0,357. Варијабилитет калибрационог фактора је 0,083% што је јако мала вредност. Може се закључити да са већим бројем понављања статичког теста се не добија прецизнија вредност калибрационог фактора. Резултати су једако приближних вредности и при мањем броју извршених мерења.



Дијаграм 1: Резултати статичког теста

4.1.2. Резултати температурне осетљивости статичког теста ваге

Ова врста теста има две одвојене базе података за анализирање из 5 понављања теста. Прво су анализирани вредности калибрационог фактора при високим температурама.

Табела 4.2. Резултати статичког теста при високим температурама

Број извршених мерења	1	2	3	4	5
Калибрациони фактор	431.66	437.18	430.75	431.25	431.66
Температура (°C)	57.1	44.9	43.0	38.4	32.1

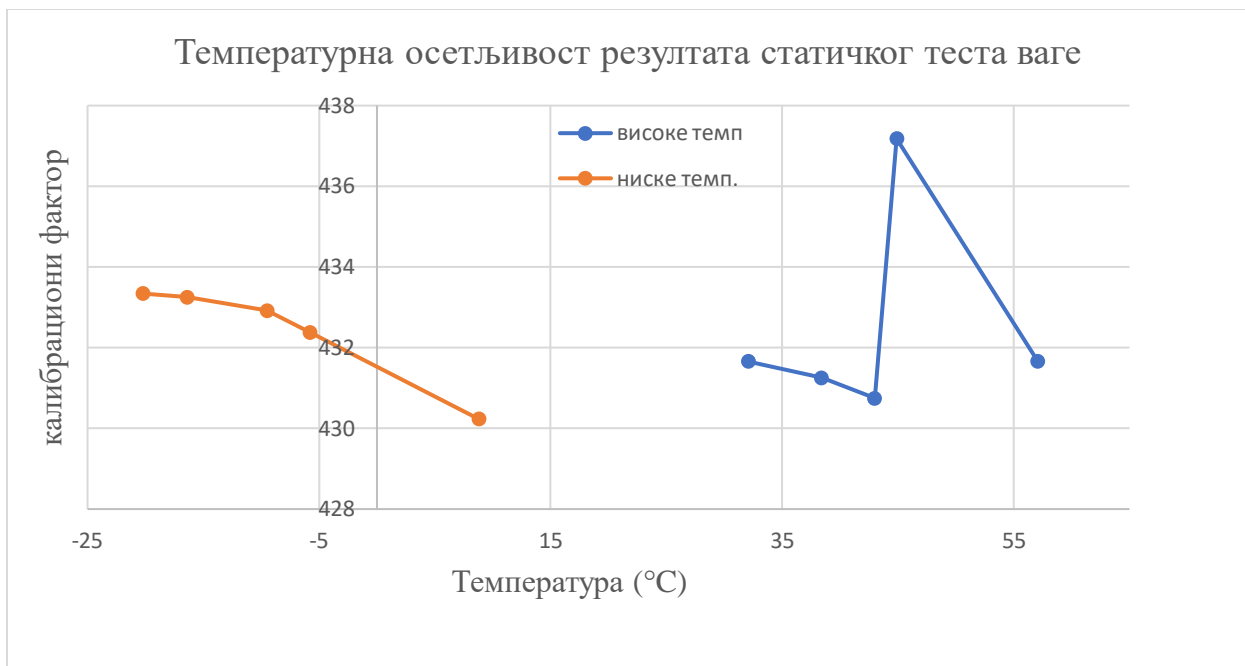
Средња вредност низа од 5 вредности калибрационог фактора је 432,500. Просечно одступање од просечне вредности калибрационог фактора је 2,364. Варијабилитет калибрационог фактора је 0,546 %. При високим температурама добијају се већа одступања калибрационог фактора него при просечној вредности температуре. Понављањем мерења калибрациони фактор постаје све приближнији претходној вредности.

Анализирају се вредности калибрационог фактора при ниским температурама.

Табела 4.3. Резултати статичког теста при ниским температурама

Број извршених мерења	1	2	3	4	5
Калибрациони фактор	433.34	433.25	432.92	432.38	430.23
Температура (°C)	-20.1	-16.4	-9.5	-5.8	8.8

Средња вредност низа од 5 вредности калибрационог фактора је 432,200. Просечно одступање од просечне вредности калибрационог фактора је 1,147. Варијабилитет калибрационог фактора је 0,265 %. При ниским температурама добијају се већа одступања калибрационог фактора него при просечној вредности температуре. Понављањем мерења калибрациони фактор постаје све приближнији претходној вредности. Боље понашање сензор температуре је показао при ниским него при високим температурама.



Дијаграм 2: Резултати температурне осетљивости резултата статичког теста ваге

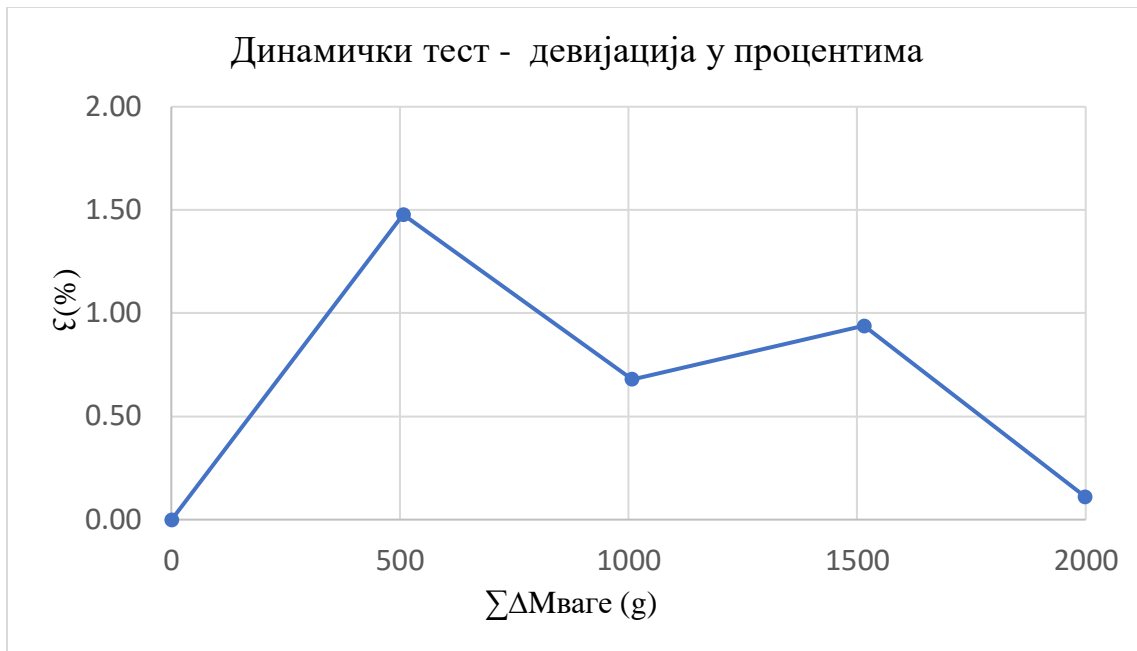
4.1.3. Резултати динамичког теста

Резултати динамичког теста показују колика су одступања погледу масе и времена, а прате се помоћу снимка направљеног на телефону и резултата базе података сачуване уз помоћ *Python* програма. Идеја теста је увид колико добро сензор силе прати динамику промена и колико је временско кашњење у односу на реално време промене.

Табела 4.4. Резултати динамичког теста

Време (s)	Маса (g)	Време (s)	Маса (g)	Δt (s)	Δm (g)
16:58:49	0	16:58:49	0.84	0	0.84
16:59:07	500	16:59:03	507.5	4	7.5
16:59:26	1000	16:59:21	1006.85	5	6.85
16:59:43	1500	16:59:40	1514.21	3	14.21
17:00:07	2000	16:59:58	1997.79	8	2.21

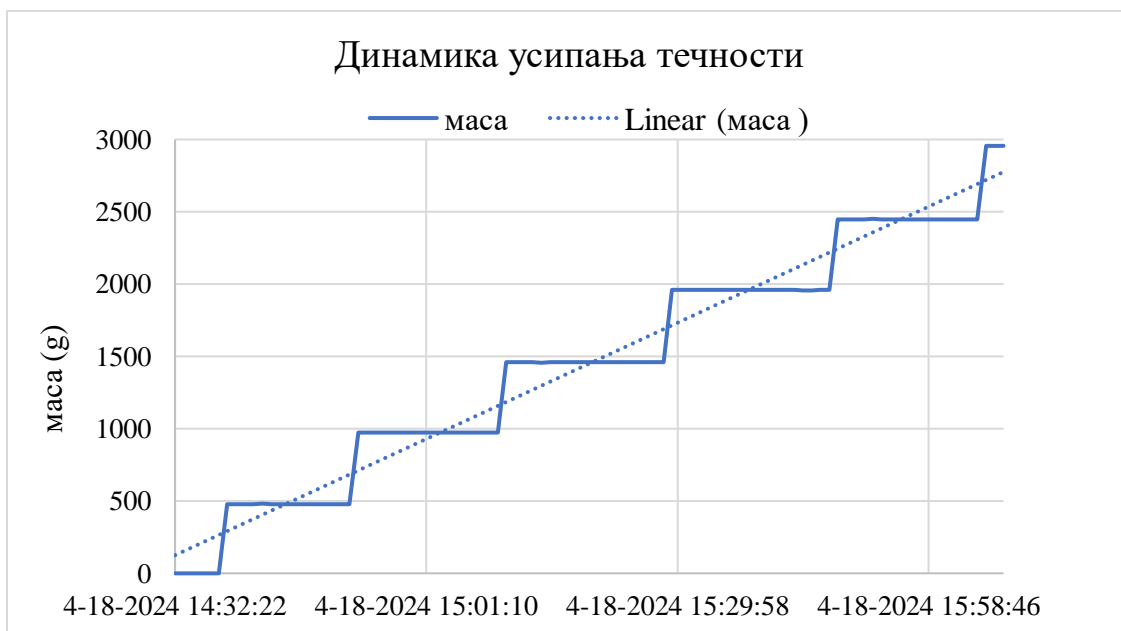
Микропроцесор касни за реалним временом промене јако мало, разлика у маси је такође мала. Динамика сензора силе је прихватљиве тачности.



Дијаграм 3: Резултати динамичког теста

4.1.4. Резултати тестирања прототипа кишомера у лабораторијским условима

У првом тесту течност од 3 l се задавала у правилним временским интервалима. Сврха теста је доказ прецизности, поновљивости и конзистентности резултата.



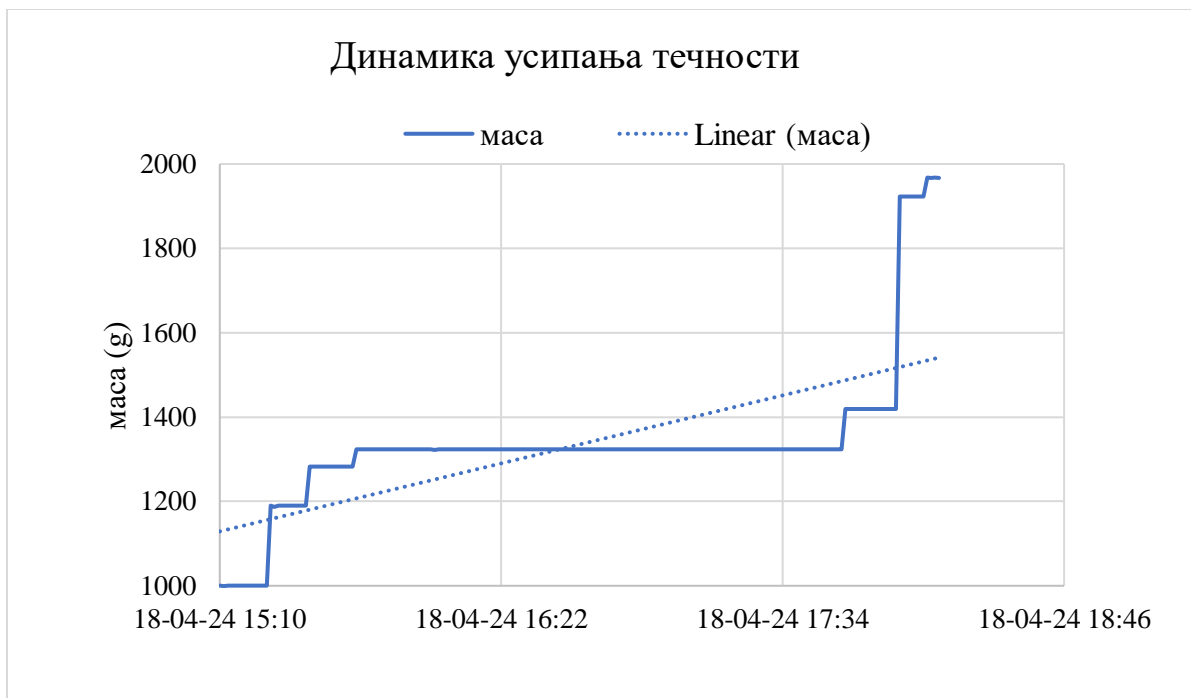
Дијаграм 4: Динамика усипања течности

Прецизност резултата је у опсегу од 20 до 40 g у зависности од задате количине течности. Поновљивост је задовољавајућа, градијент масе се креће од 0 g до 2 g. Конзистентност података је веома добра. Сензор силе је уз мале осцилације резултата читавао реално задату масу.

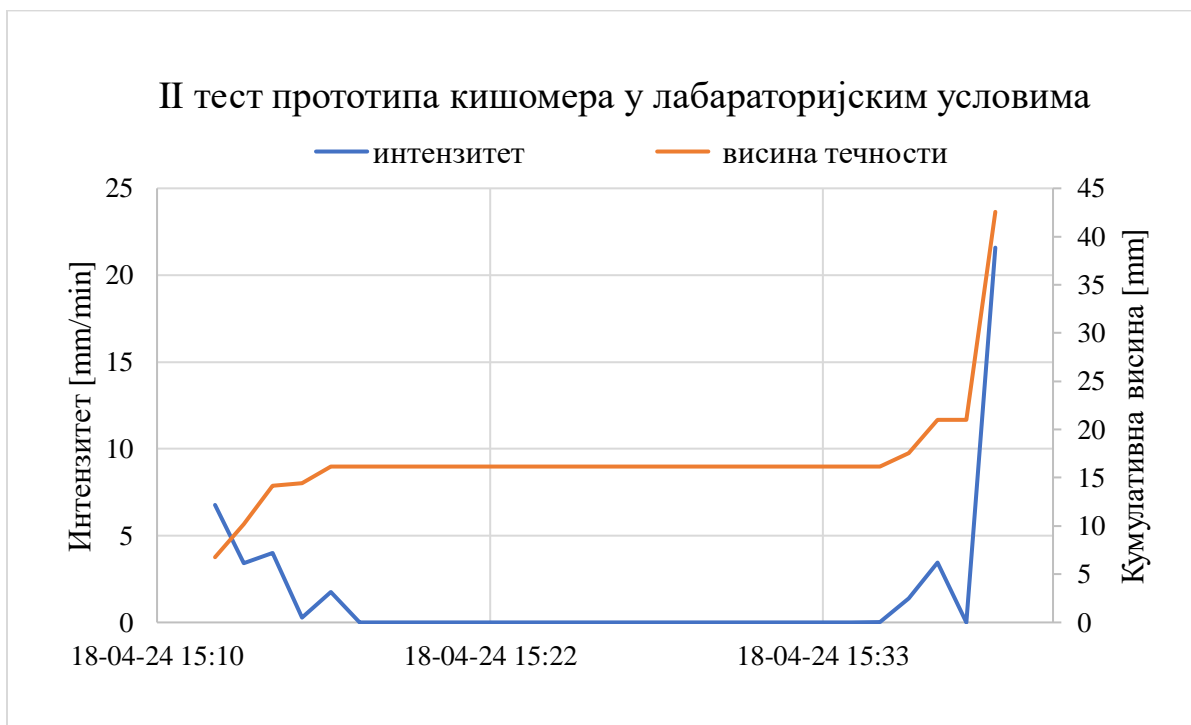


Дијаграм 5: Резултати I теста прототипа кишомера у лабораторијским условима

Другим тестом се вага кишомера је добијала мање количине течности. Уз мала одступања прецизност је задовољавајућа. Осцилације су се кретале до 20 g. Вага региструје промену масе приближно реалном времену.



Дијаграм 6: Динамика усипања течности

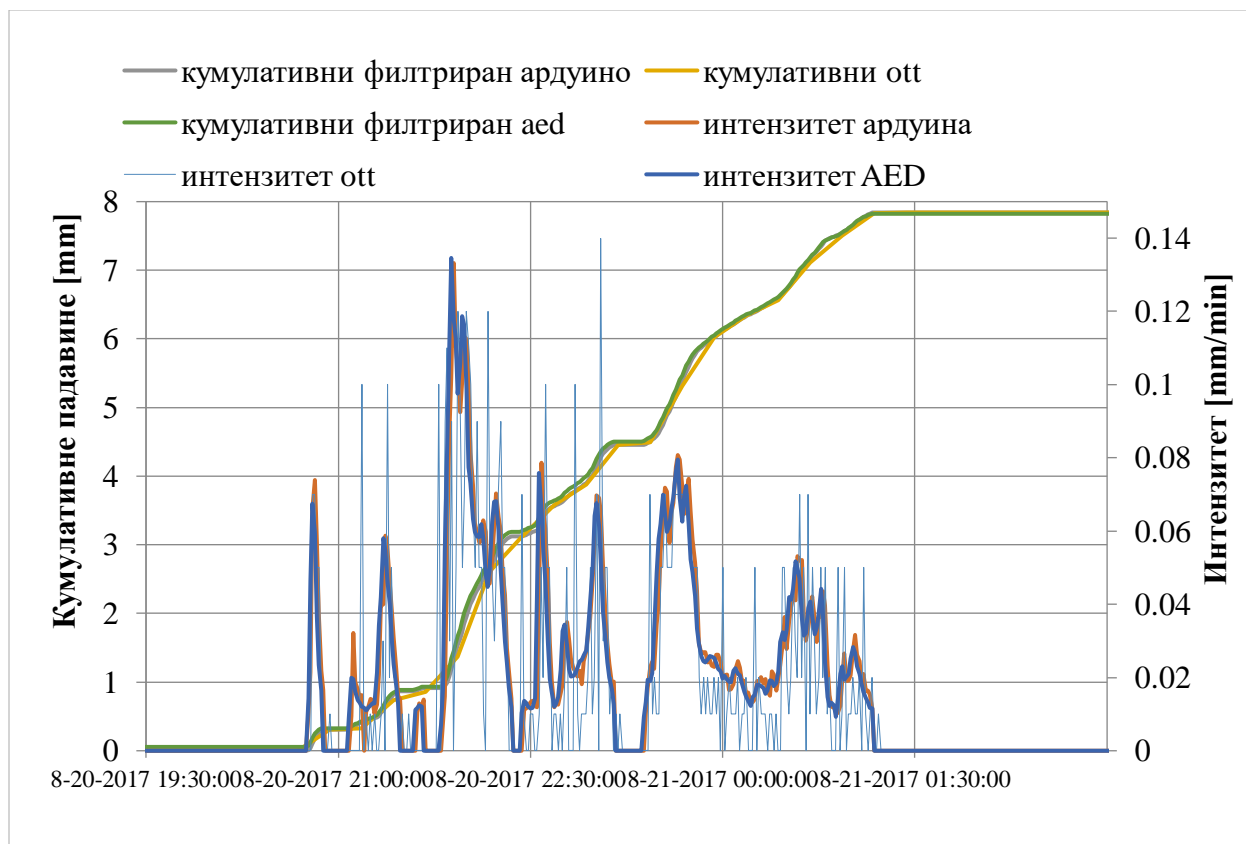


Дијаграм 7: Резултати II теста прототипа кишомера у лабораторијским условима

4.2. Резултати обраде података

4.2.1. Резултати обраде података за DIY кишомер из 2018.године

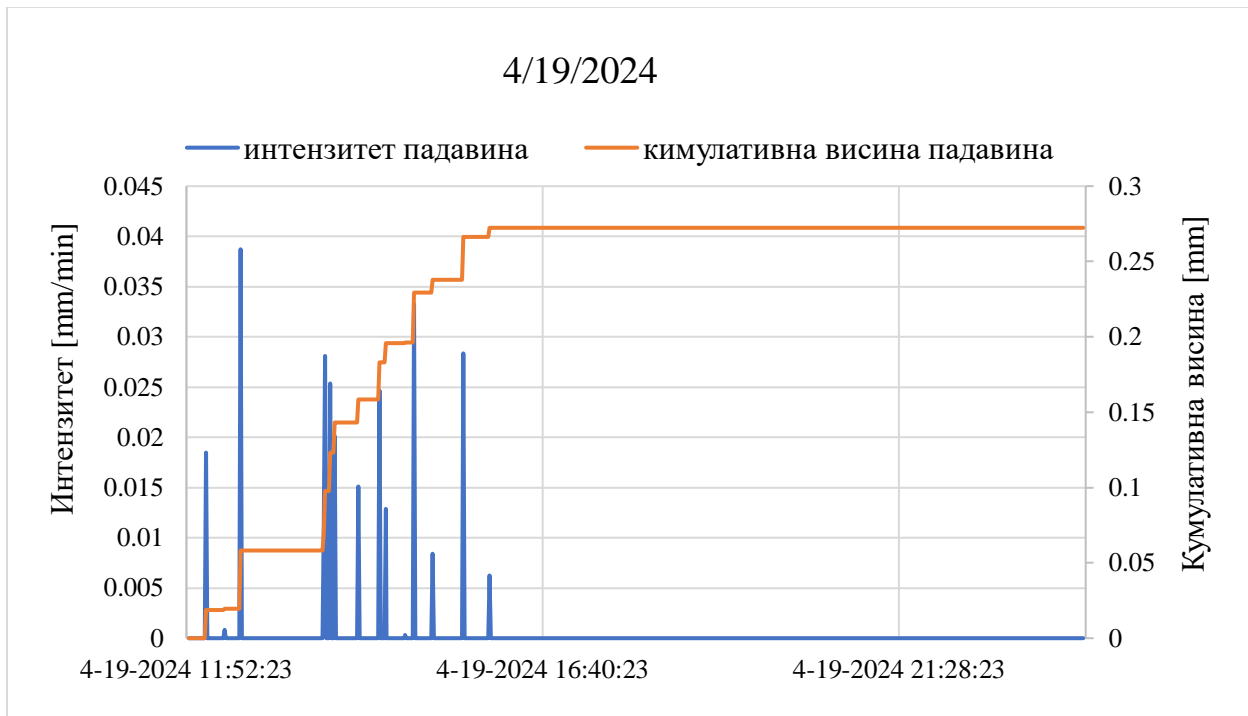
На основу методологије представљене у поглављу 3.5.1. за период од 8/20/2017 у 00:00:00 до 8/21/2017 у 23:59:00 може се закључити да резултати које је дало мерило кише засновано на Ардуино Уну има велика слагања са резултатима мерила заснованог на *AED*. Интензитет падавина који је забележио *OTT pluvio2* варира у појединим интервалима у односу на интензитете друга два мерила, али на крају временског интервала висине падавина су усаглашене на сва три мерила.



Дијаграм 8: Поређење података падавина ниског интензитета

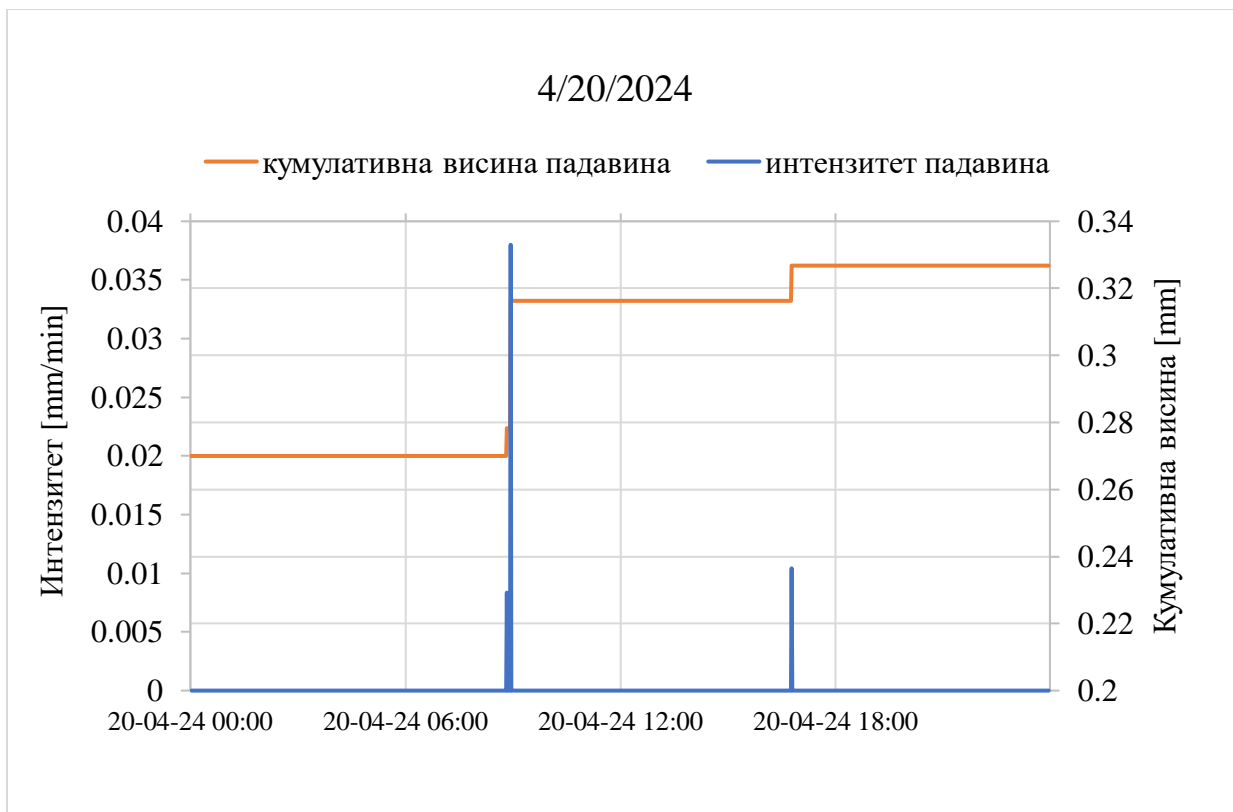
4.2.2. Резултати тестирања прототипа кишомера у реалним усовима

Кишомер је постављен 19.04.2024. године у дворишту зграде Грађевинског факултета Универзитета у Београду у пре подневним часовима. Кишомер је регистровао падавине у вредности од 0,272 *mm*, што је прихватљиве тачности у поређењу са 0,4 *mm* које је регистровао Републички хидрометеоролошки завод Србије на територији град Београд на мерној станици Врачар истог дана.



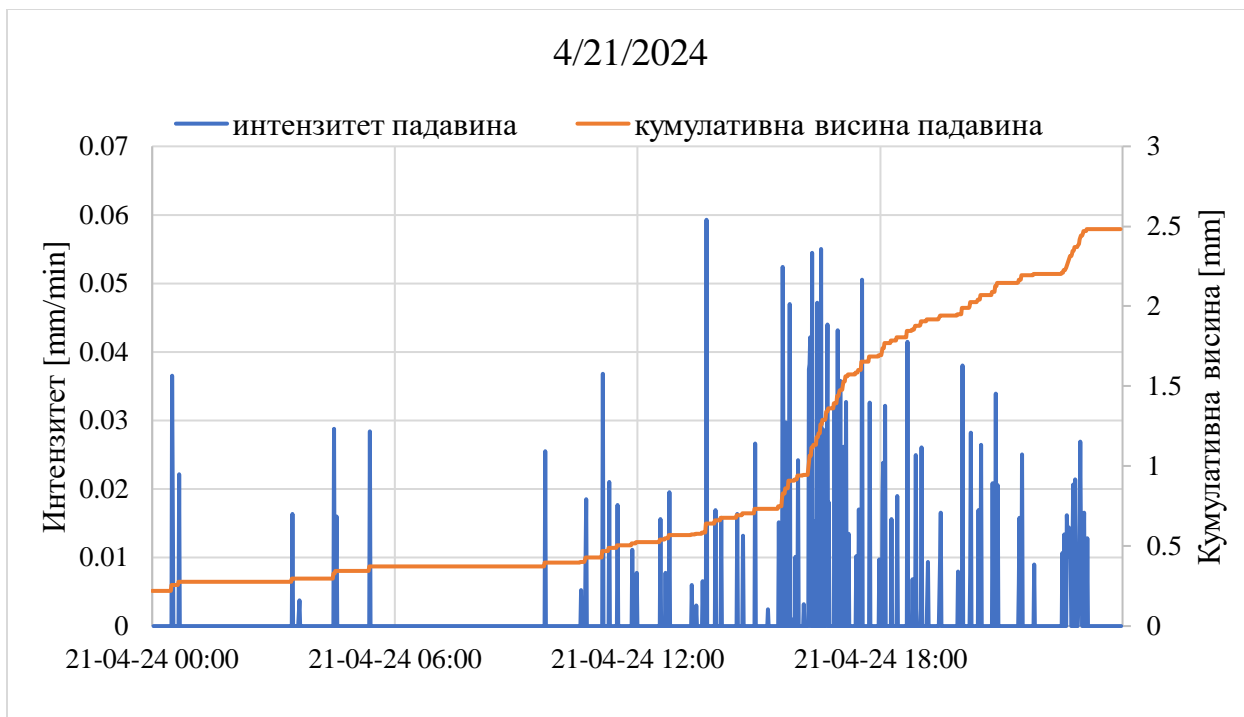
Дијаграм 9: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/19/2024

20.04.2024. године осцилације регистрованих података су занемарљиво мале вредности. Регистроване промене су последица фактора окружења и временских прилика. Тога дана нису забележене падавине, а приказане вредности резултат су последица преосталих количина течности од претходног дана.



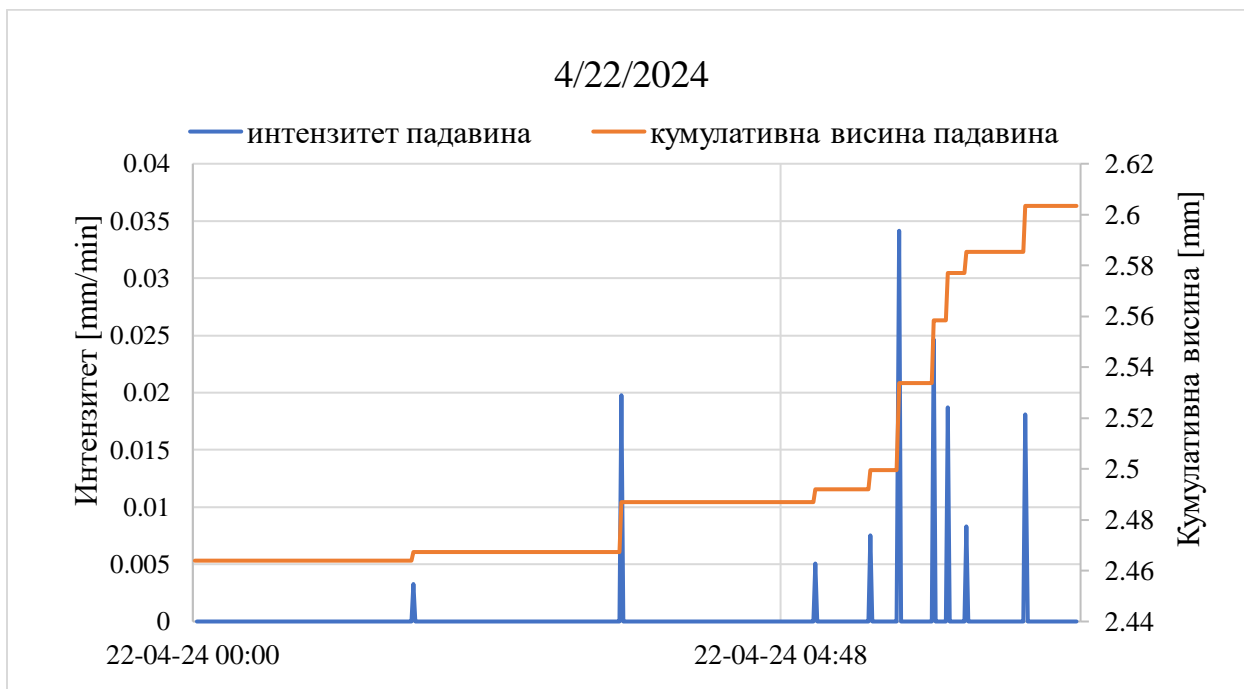
Дијаграм 10: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/20/2024

Наредног дана 21.04.2024. године у вечерњим часовима кишомер је забележио падавине. Вредност висине падавина је ишла до максималних $2,32 \text{ mm}$, док је маскимална вредност интензитета била $0,062 \text{ mm/min}$. Регистроване падавине су високе тачности, Републички хидрометеоролошки завод Србије на територији град Београд на мерној станици Врачар забележио је $2,3 \text{ mm}$ висну падавина тога дана.

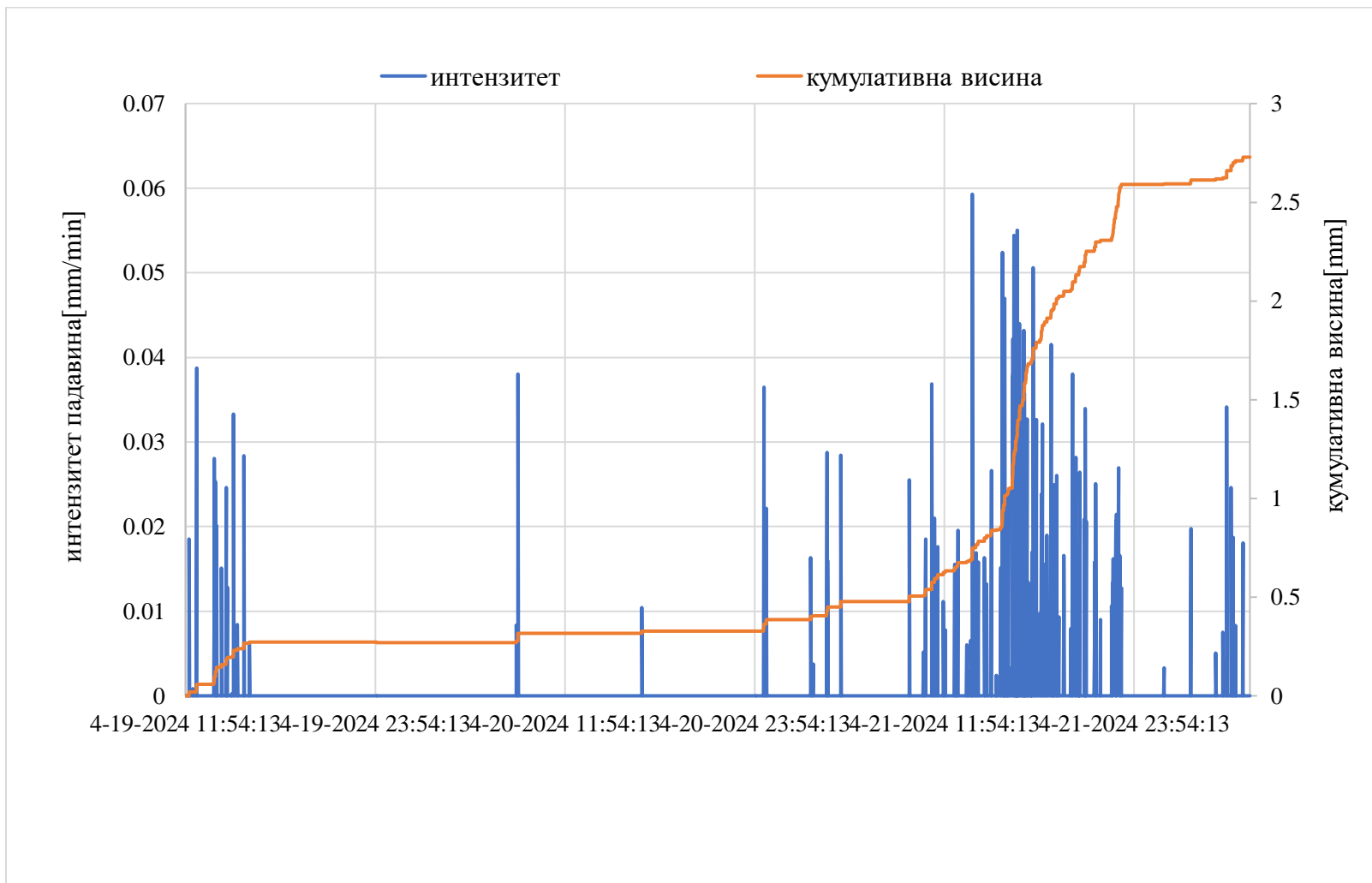


Дијаграм 11: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/21/2024

22.04.2024. године падавине су завршиле у раним јутарњим часовима. Кишомер је уклоњен у преподневним часовима.



Дијаграм 12: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/22/202

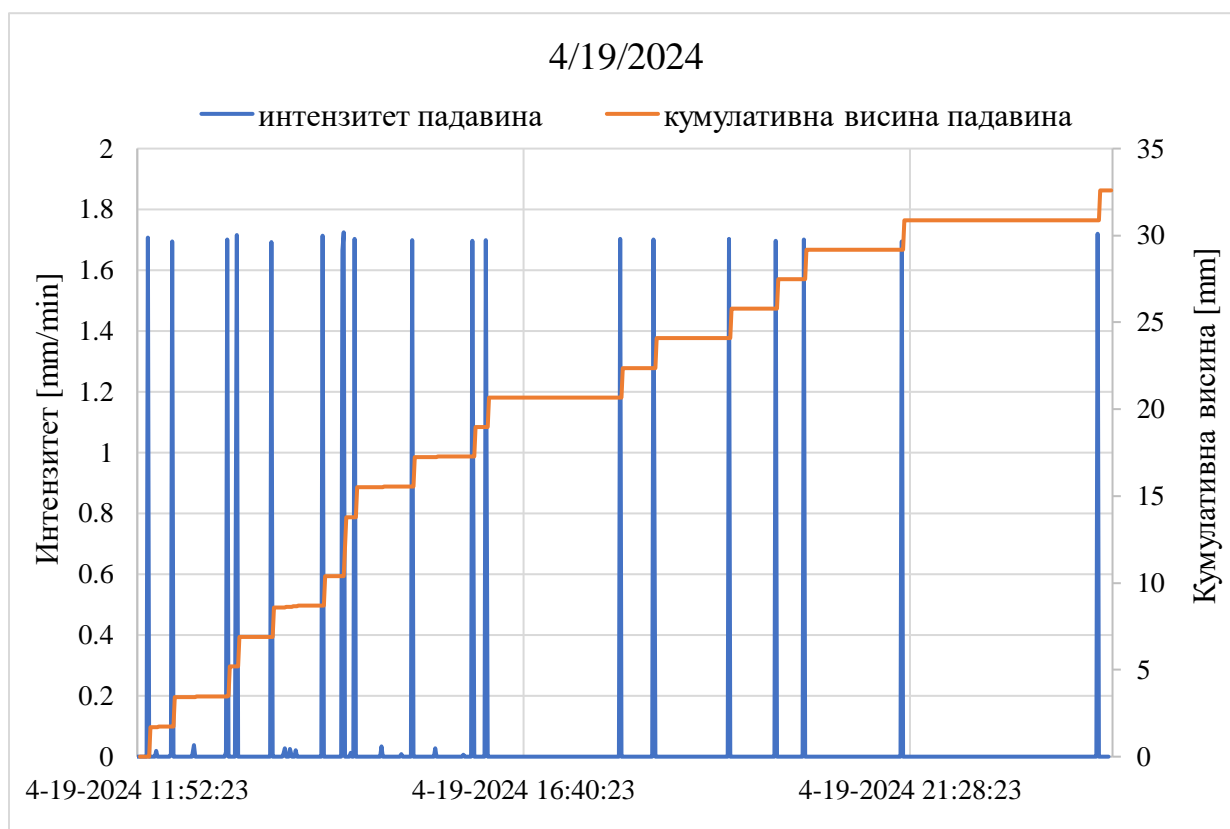


Дијаграм 13: Сумарна линија кише и кумулативна висина падавина за период 4/19/2024 - 4/22/2024

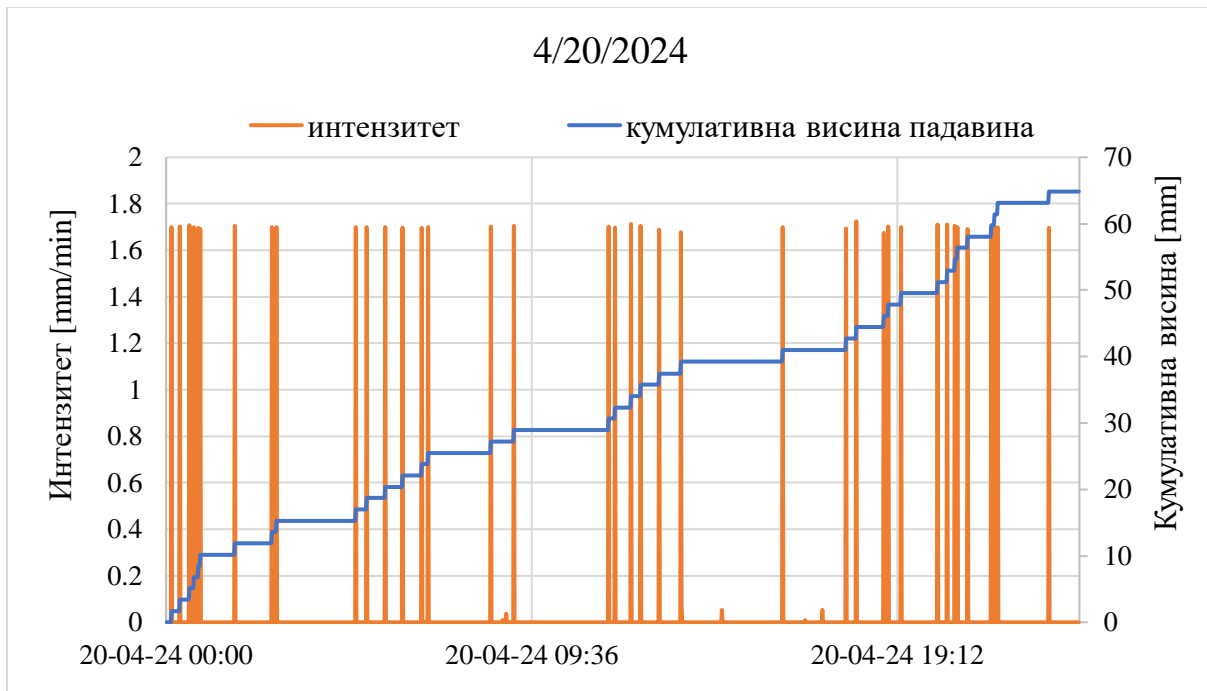
4.2.3. Резултати обраде података методологијом DIY кишомера из 2018.године

Добијени резултати обрађени су и по методологији DIY кишомер из 2018.године. Поменути начин обраде изоставља поступак ограничавања градијента масе.

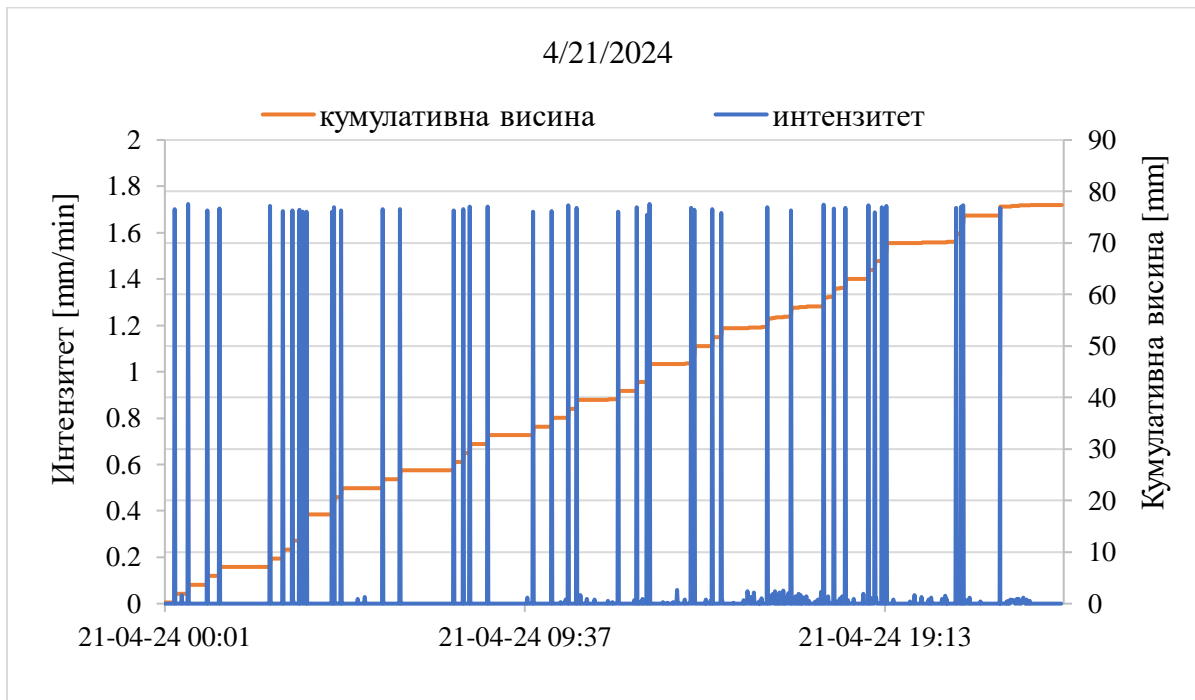
У наредним резултатима могу се уочити нагли скокови интензитета, што је последица појаве изненадно и краткотрајно високих вредности масе. Током читавања сирових података повремено се појављивао шум, који је својом високом вредношћу одступао од осталих резултата. Како је изостављен поступак његовог изоловања, добијају се вредности интензитета и висине падавина које значајно одступају од реално забележених у посматраним данима.



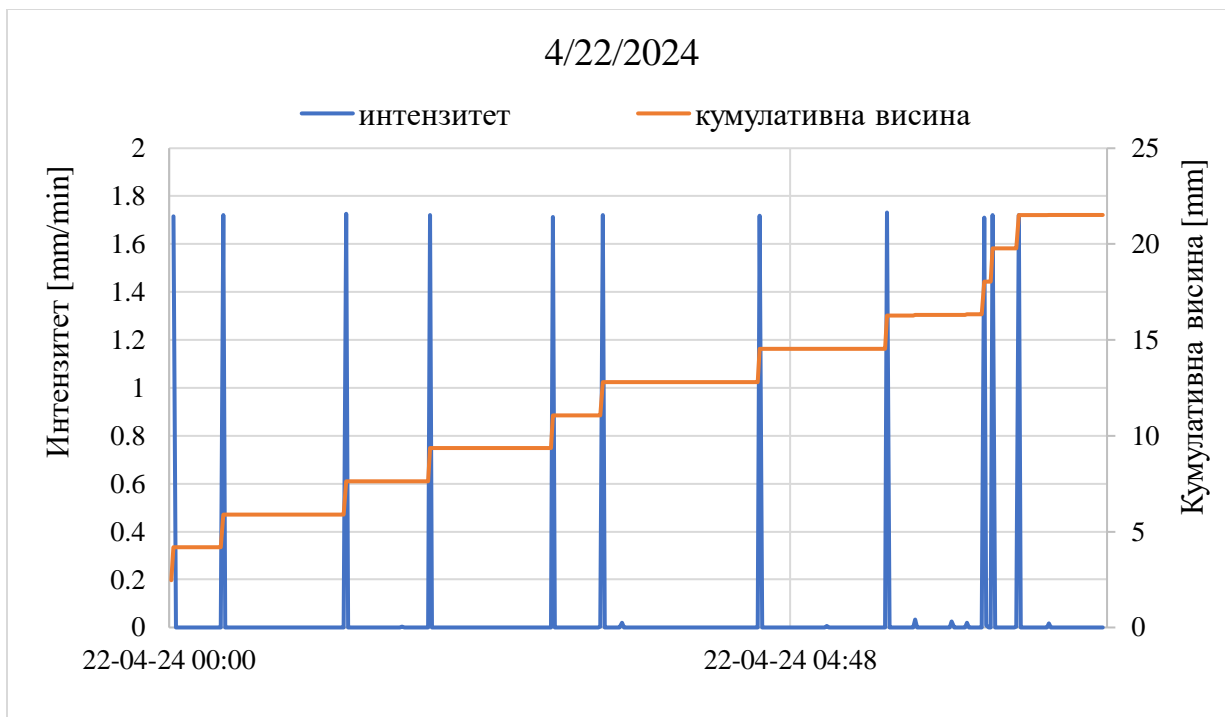
Дијаграм 14: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/19/2024



Дијаграм 15: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/20/2024



Дијаграм 16: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/21/2024



Дијаграм 17: Сумарна линија кише и интензитет падавина 4/22/2024

5. Закључци и препоруке за будући рад

Контруисати комерцијални кишомер је изазов који уколико се прецизно изводи може дати веома поуздане резултате. Све потребне компоненте су лако доступне и по приступачним ценама. Елементи који су захтевали техничку израду могу бити другачије осмишљени мањег или већег габарита.

Тестирани кишомер показао је прихватљиву тачност и прецизност у поређењу са подацима које је забележио Републички хидрометеоролошки завод Србије на територији града Београда на мерној станици Врачар.

5.1. Препоруке за израду конструктивног дела кишомера у будућем раду

- Носач конструкције треба одвојити од „ћускије“ тј. дела који се поставља у земљу да би се конструкција могла лакше учврстити у земљу,
- Само дно дела који се убада у земљу погодније је да буде шупље и оштријих ивица како би лакше продирао у земљу и олакшао постављање конструкције,
- Све врсте хоризонталних подлога носача требају бити паралелне,
- Оклоп кишомера са левком израдити од неког лакшег материјала.

5.2. Препоруке за израду и повезивање електронског дела кишомера у будућем раду

- Повезивање жица код свих компоненти је јако осетљиво и захтева већу посвећеност,
- Кутија за смештање електронике треба бити већих димензија и боље организоване унутрашњости, ради прегледности опреме и екрана,
- Тастери свих врста требало би бити спроведени изван водонепропусне кутије како би им се могло лакше приступати,
- Омогућити лакши начин за преузимање података са СД картице.

6. Литература

П. Војт, Д. Продановић, Д. Павловић 2018. *Development of DIY rain gauge of reasonable cost - Faculty of Civil Engineering University of Belgrade*

Јеџи Lin 2016. *Proof of concept od an auromated CoCoRaHs rain gauge - master thesis - Colorado State University Fort Collins Colorado*

В. Вучковић 2015. *Метеоролошка мерења – Физички факултет Универзитета у Београду*

Ј. Плавшић 2019. *Инжењерска хидрологија – Грађевински факултет Универзитета у Београду*

Patrick Willems и Thomas Einfalt - *Sensors for rain measurements - Hydraulics and Geotechnics, Urban and River Hydrology and Hydraulics, Leuven, Belgium Hydro & meteo GmbH, Lübeck, Germany*

Прилози

Прилог 1: Код у радном окружењу Ардуино ИДЕ програма

```
#include <DFRobot_HX711.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <RTClib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <EEPROM.h>

#define BAUD_RATE      9600
#define DELAY_SHORT    100    // Vremenski interval uzorkovanja tezine, u ms
#define DELAY_CYCLE    10000  // Vremenski interval izmedju serija merenja, u
ms
#define DELAY_OVERHEAD 40     // Overhead jednog ciklusa zbog citanja i
pisanja, u ms
#define LCD_INTERVAL   60     // Broj ciklusa izmedju dva merenja sa prikazom
na LCD-u
#define LCD_DURATION   2000   // Trajanje prikaza na LCD-u pre gasenja, u ms
#define AV_PASSES      10     // Broj merenja mase za trajna marenja
#define CAL_ZERO_PASSES 30    // Broj merenja mase za kalibraciju nulte mase
#define CAL_FACT_PASSES 30    // Broj merenja mase za nalazenje kalibracionog
faktora
#define DATA_PIN      A1     // Data pin na Arduino-u za HX711
#define CLOCK_PIN      A0     // Clock pin na Arduino-u za HX711
#define SD_PIN         8      // Selektor pin za SD modul
#define CAL_ZERO_PIN   9      // Pin za dugme za kalibraciju nule
#define CAL_FACT_PIN   10     // Pin za dugme za kalibraciju faktora razmere

// Proracun stvarnog delay-a na kraju merenja, u ms -----
constexpr long DELAY_NO_LCD = DELAY_CYCLE - AV_PASSES * DELAY_SHORT -
DELAY_OVERHEAD;
constexpr long DELAY_WITH_LCD = DELAY_CYCLE - AV_PASSES * DELAY_SHORT -
DELAY_OVERHEAD - LCD_DURATION;

// EEPROM adrese -----
#define EEPROM_CYCLE_NUM 0    // unsigned long = 4 bytes = 32 bits
#define EEPROM_ZERO      4    // long = 4 bytes = 32 bits
#define EEPROM_CAL_FACT  8    // float = 4 bytes = 32 bits

// Inicijalizacija -----
DFRobot_HX711 Scale(DATA_PIN, CLOCK_PIN); // Instancirani objekat senzora
tezine
```

```

File          SD_file;          // Instancirani objekat SD modula
RTC_DS3231    RTC;             // Instancirani objekat RTC
modula
LiquidCrystal_I2C LCD(0x27, 16, 2); // Instancirani objekat LCD
displeja

// HX711 -----
const float calibration_mass = 1000.f; // Masa (u gramima) koja ce biti
koriscena prilikom kalibracije
float calibration_factor = 443.f; // Kalibracioni faktor za skaliranje,
zadati ili odrediti za zadatu masu sa find_calibration_factor()
long HX_zero; // Za odredjivanje nule, moze se
odrediti sa calibrate_zero()
long HX_raw; // Za upis citanja sa HX711
float HX_mass; // Za upis citanja sa HX711
long sum; // Suma za osrednjavanje
long val; // Citanje sa senzora prilikom
osrednjavanja

// RTC -----
DateTime RTC_dt; // Za upis sa RTC modula, DateTime
format
float RTC_temp; // Za upis sa senzora temperature sa
RTC modula
char RTC_dt_char[15]; // Za datetime upis sa RTC modula,
char array format
char output_file[10] = "00_00.TXT"; // Za upis datuma sa RTC modula, char
array format
const char separator[5] = " :: "; // Separator za vrednosti za zapis na
SD karticu
char month[3]; // |
char day[3]; // |
char hour[3]; // | Za konverziju byte zapisa
brojeva
char min[3]; // | u 2digit char array za stampu
char sec[3]; // |
char cstr[3]; // |

// SD kartica -----
bool SD_success = false; // SD write success flag

// Timekeeping -----
unsigned long cycle_number = 0;

// -----

```



```

// Osrednjeni rezultat od N = :passes: merenja, parametar :verbose: ispisuje text
tokom merenja
long read_weight(byte passes = AV_PASSES) {
    sum = 0;

    // Rani izlaz
    if (passes == 1)
        return Scale.getValue();
    // Ako je vise od jednog merenja
    else
        for (byte i = 0; i < passes; i++) {
            val = Scale.getValue();
            sum += val;

            delay(DELAY_SHORT);
        }

    // Dostize se samo za :passes: > 1
    return sum / passes;
}

// Sirovi zapis u masu
float convert_to_mass(long val) {
    return (float)(val - HX_zero) / calibration_factor;
}

// Za prikaz raznih poruka na LCD-u
void LCD_print_message(char* message, bool clear=true, byte line=0) {
    if (clear) LCD.clear();
    LCD.setCursor(0, line);
    LCD.print(message);
}

// Za postavljanje kalibracione mase na tas
void LCD_progress_bar(byte num, byte max=10) {
    LCD.setCursor(max+1, 1);
    LCD.print("|");
    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print("|");

    for (int i=1; i < num + 1; i++) {
        LCD.setCursor(i, 1);
        LCD.write(255);
    }
}

```

```

}

// Default zapis na LCD = datetime + sirovo citanje + SD write success
void LCD_default_print() {
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(0, 0);
    LCD.print(RTC_dt_char);
    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print(HX_mass);

    LCD.setCursor(13, 1);

    if (SD_success)
        LCD.print("SD+");
    else
        LCD.print("SD-");
}

// Kreira dvocifreni prikaz datuma ili vremena, za sortable timestamp
void itoa_2digit(uint8_t value, char* ret) {
    itoa(value, cstr, 10);

    if (value < 10) {
        ret[0] = '0';
        ret[1] = cstr[0];
    }
    else {
        ret[0] = cstr[0];
        ret[1] = cstr[1];
    }

    ret[2] = '\\0';
}

// Cita datum i vreme i upisuje u datetime stringove
void RTC_get_dt_and_temp() {
    RTC_dt = RTC.now();
    RTC_temp = RTC.getTemperature();

    itoa_2digit(RTC_dt.month(), month);
    itoa_2digit(RTC_dt.day(), day);
    itoa_2digit(RTC_dt.hour(), hour);
    itoa_2digit(RTC_dt.minute(), min);
    itoa_2digit(RTC_dt.second(), sec);
}

```

```

//
RTC_dt_char[0] = month[0];
RTC_dt_char[1] = month[1];
RTC_dt_char[2] = '/';
RTC_dt_char[3] = day[0];
RTC_dt_char[4] = day[1];
RTC_dt_char[5] = ' ';
RTC_dt_char[6] = hour[0];
RTC_dt_char[7] = hour[1];
RTC_dt_char[8] = ':';
RTC_dt_char[9] = min[0];
RTC_dt_char[10] = min[1];
RTC_dt_char[11] = ':';
RTC_dt_char[12] = sec[0];
RTC_dt_char[13] = sec[1];
RTC_dt_char[14] = '\\0';

// Da se ne petljam sa memcpy()
output_file[0] = month[0];
output_file[1] = month[1];
output_file[3] = day[0];
output_file[4] = day[1];
}

// Snimanje na SD karticu, APPEND mode
void save_measurement_to_SD() {
    // Mozda da dodam timeout
    SD_file = SD.open(output_file, FILE_WRITE);

    if (SD_file) {
        SD_file.seek(EOF);

        SD_file.print(RTC_dt_char);
        SD_file.print(separator);
        SD_file.print(HX_raw);
        SD_file.print(separator);
        SD_file.print(HX_mass);
        SD_file.print(separator);
        SD_file.print(HX_zero);
        SD_file.print(separator);
        SD_file.print(calibration_factor);
        SD_file.print(separator);
        SD_file.println(RTC_temp);

        SD_file.close();
    }
}

```

```

        Serial.println("SD write      = SUCCESS");
        SD_success = true;
    }
    else {
        Serial.println("SD write      = FAILED");
        SD_success = false;
    }
}

void LCD_on() {
    if (LCD_INTERVAL > 1) {
        LCD.display();
        LCD.backlight();
    }
}

void LCD_off() {
    if (LCD_INTERVAL > 1) {
        LCD.noBacklight();
        LCD.noDisplay();
    }
}

void LCD_procedure() {
    if (LCD_INTERVAL > 1) {
        if (cycle_number % LCD_INTERVAL == 1) {
            LCD_on();
            LCD_default_print();
            delay(LCD_DURATION);
            LCD_off();

            delay(DELAY_WITH_LCD);
        }
        else {
            delay(DELAY_NO_LCD);
        }
    }
    else {
        LCD_default_print();
        delay(DELAY_NO_LCD);
    }
}

// Pronalazenje nule, nula = aritmeticka sredina N merenja
void calibrate_zero() {

```

```

Serial.println("Calculating zero...");

LCD.init();
LCD.backlight();
LCD_print_message("Cal. zero");

for (int i = 0; i < 10; i++) {
    Serial.print(10 - i);
    Serial.print("...");
    LCD_progress_bar(i+1);
    delay(1000);
}

HX_zero = read_weight(CAL_ZERO_PASSES);           // Globalna promenjiva
EEPROM.put(EEPROM_ZERO, HX_zero);                // 4 bytes

Serial.println();
Serial.print("Raw zero = ");
Serial.println(HX_zero);

LCD_print_message("Raw zero = ");
LCD.setCursor(0, 1);
LCD.print(HX_zero);
delay(LCD_DURATION);
LCD_off();
}

void calibrate_factor() {
    LCD.init();
    LCD.backlight();
    LCD_print_message("Place cal. mass");

    Serial.println("Place the calibration mass on the sensor...");

    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        LCD_progress_bar(i+1);
        Serial.print(3*(10 - i));
        Serial.print("...");
        delay(2000);
    }

    Serial.println();
    Serial.println("Calculating calibration factor...");

```

```

    calibration_factor = (read_weight(CAL_FACT_PASSES) - HX_zero) /
calibration_mass;      // Globalna promenjiva
    Scale.setCalibration(calibration_factor);

    Serial.print("Calibration factor = ");
    Serial.println(calibration_factor);

    Scale.setCalibration(calibration_factor);
    EEPROM.put(EEPROM_CAL_FACT, calibration_factor);    // 4 bytes

    LCD_print_message("Cal. factor = ");
    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print(calibration_factor);
    delay(LCD_DURATION);
    LCD_off();
}

// -----

void setup() {
    Serial.begin(BAUD_RATE);
    Serial.println("=====");
    Serial.println("Starting!");

    Serial.print("RTC module starting...");
    if (!RTC.begin()) while (1);
    Serial.println(" DONE!");

    Serial.print("SD module starting...");
    if (!SD.begin(SD_PIN)) while (1);
    Serial.println(" DONE!");

    pinMode(CAL_ZERO_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(CAL_FACT_PIN, INPUT_PULLUP);

    RTC_get_dt_and_temp();
    delay(1000);

    calibrate_zero();

    Scale.setCalibration(calibration_factor);

    delay(1000);
}

```

```

void loop() {
  Serial.println();
  Serial.print("Cycle number = ");
  Serial.println(cycle_number);

  RTC_get_dt_and_temp();

  Serial.print("DateTime      = ");
  Serial.println(RTC_dt_char);

  Serial.print("Temperature  = ");
  Serial.print(RTC_temp);
  Serial.println(" degC");

  if (digitalRead(CAL_ZERO_PIN) == LOW)
    calibrate_zero();
  else
    if (digitalRead(CAL_FACT_PIN) == LOW)
      calibrate_factor();

  HX_raw = read_weight();
  HX_mass = convert_to_mass(HX_raw);

  Serial.print("Raw read      = ");
  Serial.println(HX_raw);
  Serial.print("Mass          = ");
  Serial.print(HX_mass);
  Serial.println(" g");

  save_measurement_to_SD();

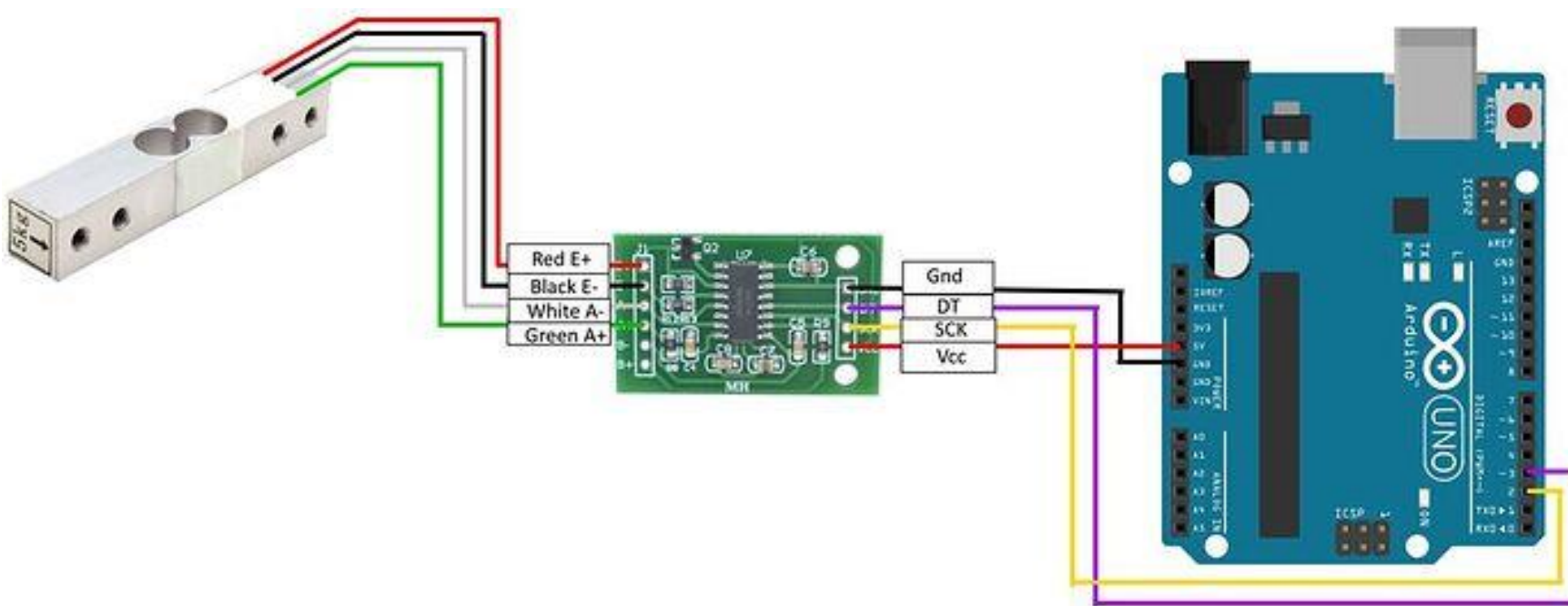
  EEPROM.put(EEPROM_CYCLE_NUM, ++cycle_number); // 4 bytes

  LCD_procedure();
}

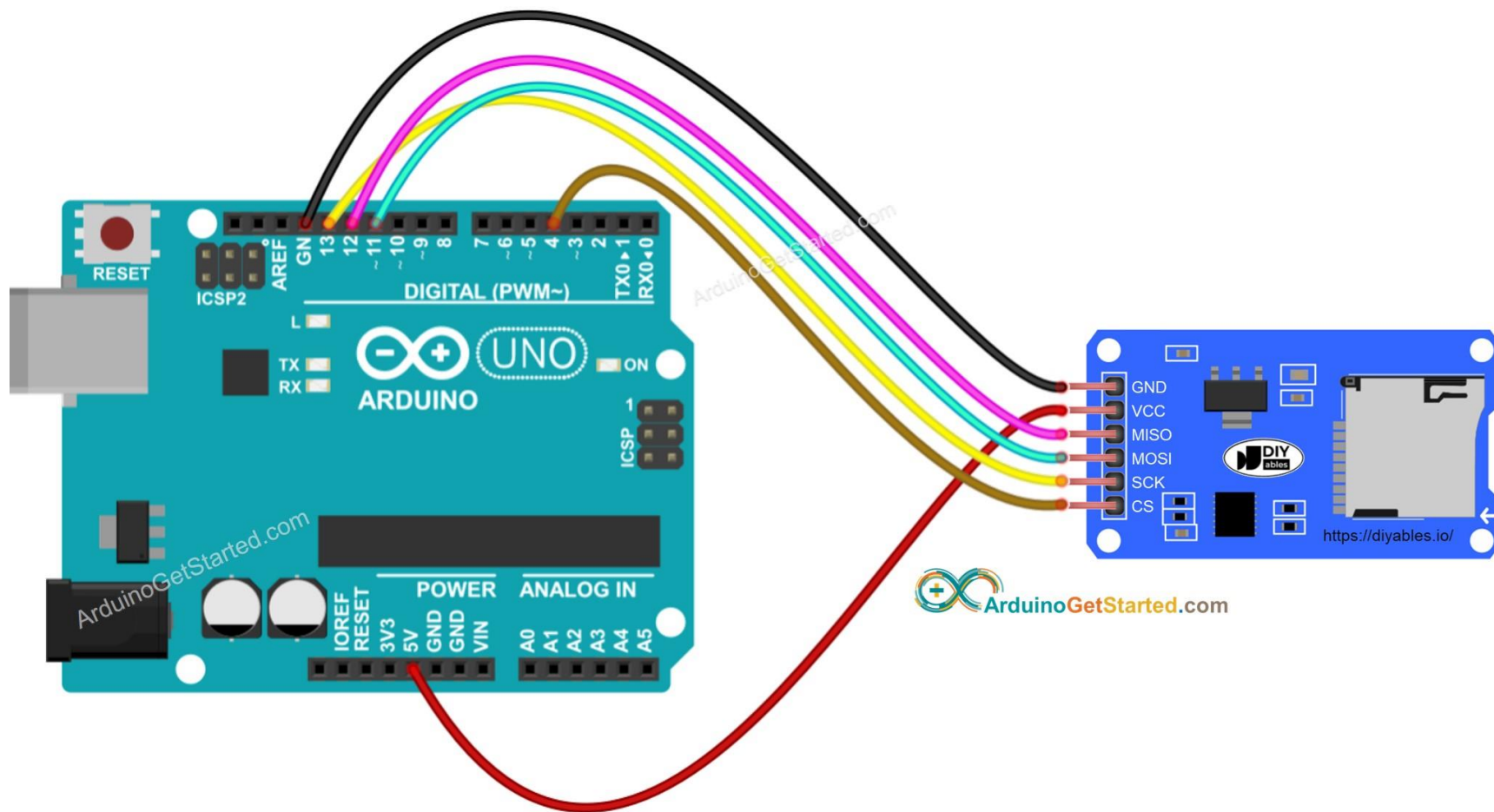
```

Шема повезивања електронских компоненти тежинског кишомера

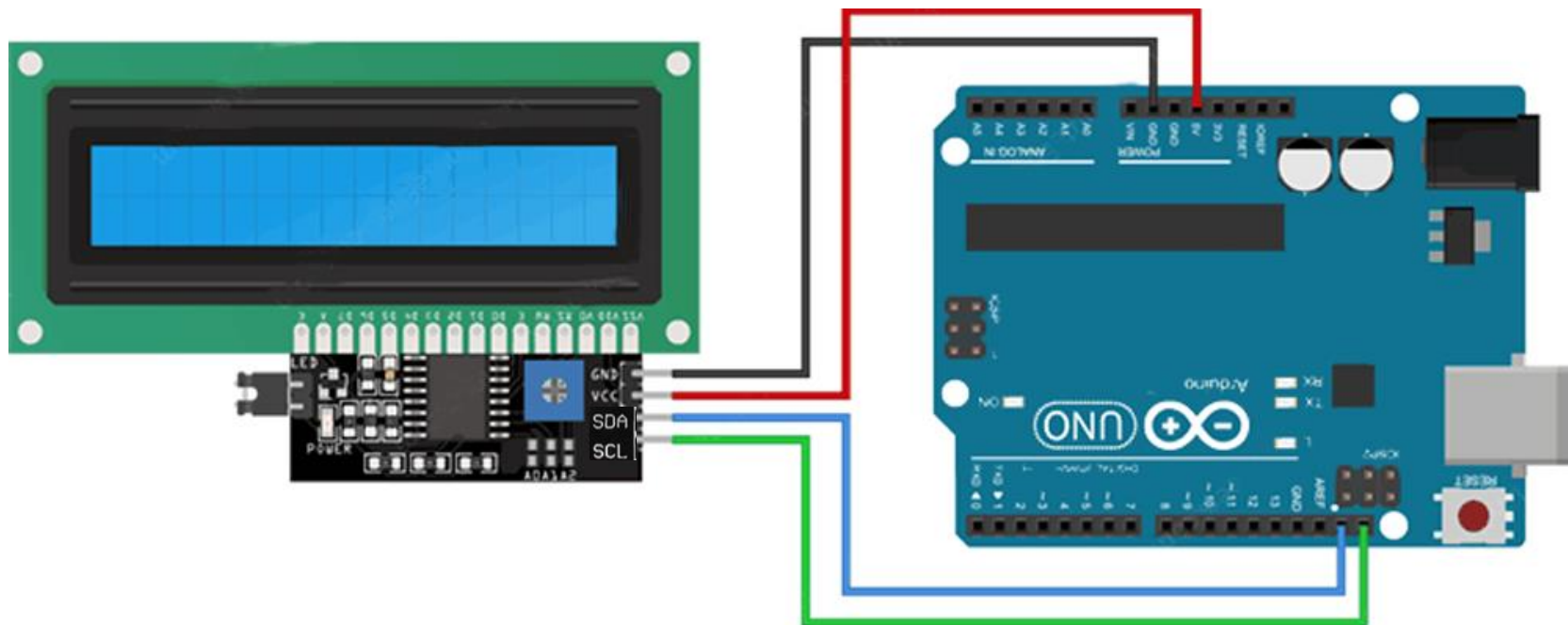
Због потребе да се већи број елемената повеже уводи се прототипска плоча. На пототипсој плочи спроведено је напајање и уземљење свих елемената тј- пинови VCC и GND. Модул са сатом и батеријом (RTC) се такође налази на прототипској плочи и додатно је повезан са Ардуино Уном.



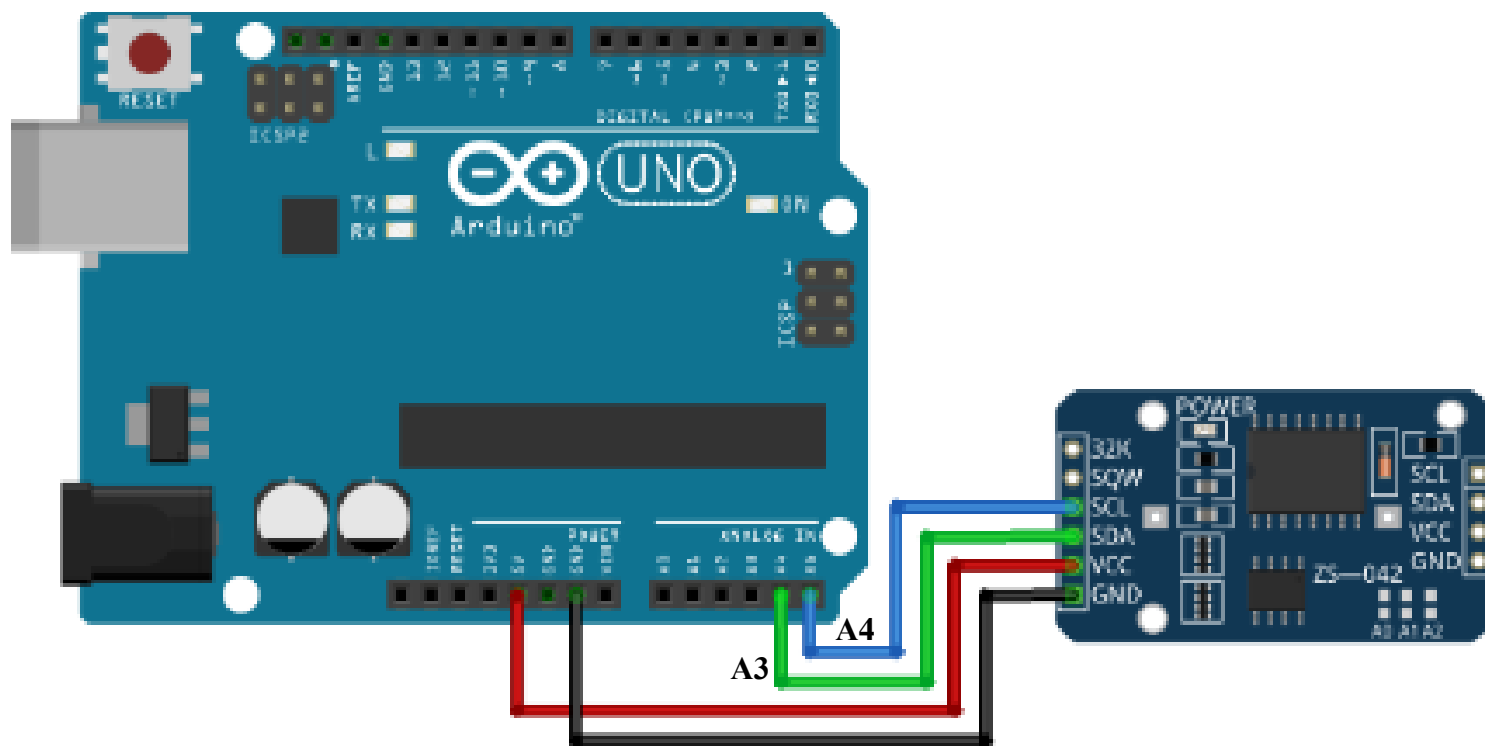
Шема 1: Жичење Ардуино Уна, појачивача НХ711 и сензора силе (ваге)



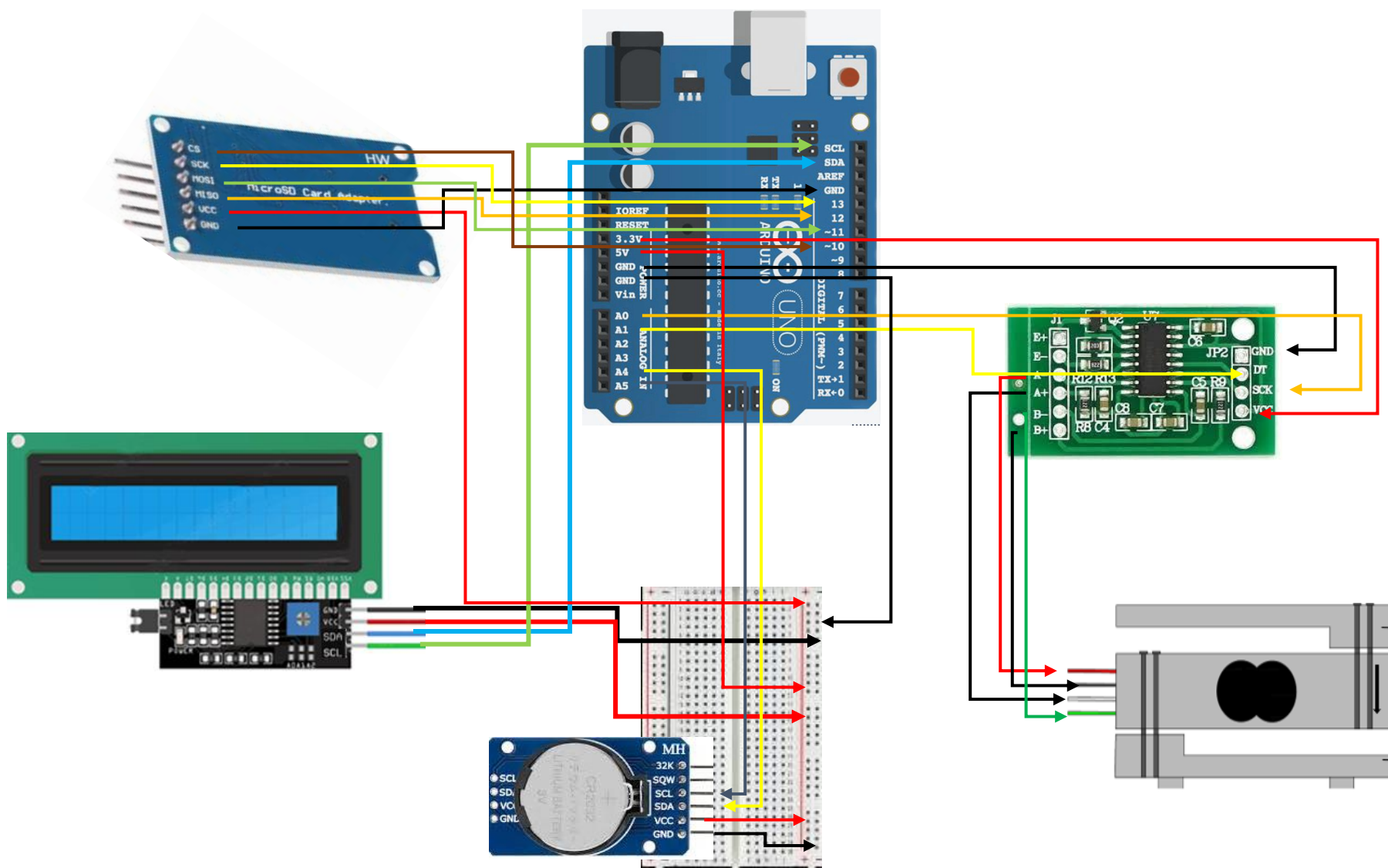
Шема 2: Жичење Ардуино Уна и модула са СД картицом



Шема 3: Жичење Ардуино Уна и ЛЦД екрана



Шема 4: Жичење Ардуино Уна и модула са сатом и батеријом (RTC)



Шема 5: Жичење комплетне електронске опреме