



Република Србија
МИНИСТАРСТВО НАУКЕ,
ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА И ИНОВАЦИЈА
Матични научни одбор за машинство и
индустријски софтвер

Датум: 21.02.2025.

Београд,
Немањина 22-26

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ „МИХАЈЛО ПУПИН“

Примљено: 21.03.2025.			
Орг. јед.	Број	Датум	Вредност
01	108		

Технички факултет „Михајло Пупин“, Универзитет у Новом Саду

23000 Зрењанин, Србија

Ђуре Ђаковића 66

Поштовани,

Технички факултет „Михајло Пупин“, односно Наставно научно веће Факултета, поднело је Матичном научном одбору за машинство и индустријски софтвер захтев број: 01-4065 од 31.12.2024. године, за категоризацију техничког решења под називом **Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже**, чији су аутори: др Далибор Добриловић, др Јасмина Пекез, др Елеонора Десница, др Иван Палинкаш, др Љиљана Радовановић, Синиша Михајловић, Милица Мазалица, Лука Ђорђевић.

Матични научни одбор за машинство и индустријски софтвер, на седници одржаној 21.02.2025. године, разматрао је предметни захтев и једногласно утврдио предлог да техничко решење под називом **Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже**, чији су аутори: др Далибор Добриловић, др Јасмина Пекез, др Елеонора Десница, др Иван Палинкаш, др Љиљана Радовановић, Синиша Михајловић, Милица Мазалица, Лука Ђорђевић, **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене *Правилником о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник РС”, бр. 159/20)* за доделу категорије **M85** – ново техничко решење у фази реализације.

Председник МНО
за машинство и индустријски софтвер

Проф. др Зоран Миљковић



Број: 01- 4054/3.3
Датум: 27.12.2024. године

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Са 71. седнице Наставно – научног већа Техничког факултета „Михајло Пупин“ Зрењанин одржане путем електронског изјашњавања са позивом од 26.12.2024. године.

Тачка 3. Разматрање записника Катедре за машинско инжењерство од 26.12.2024.

Тачка 3.3. Техничко решење

Катедра предлаже да се прихвати пријава новог техничког решења у фази реализације и да се захтев за оцену техничког решења проследи Матичном научном одбору за машинство и индустријски софтвер. Назив техничког решења: Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

Аутори: Др Далибор Добриловић, Др Јасмина Пекез, Др Елеонора Десница, Др Иван Палинкаш, Др Љиљана Радовановић, МСц Синиша Михајловић, МСц Милица Мазалица, МСц Лука Ђорђевић
Предложена категорија: М 85

Сви чланови Наставно - научног већа који су приступили гласању су гласали „ЗА“ па је констатовано да је једногласним гласањем донета следећа:

ОДЛУКА

Усваја се предлог пријаве новог техничког решења у фази реализације и упућује се захтев за оцену техничког решења Матичном научном одбору за машинство и индустријски софтвер.



Председник Наставно - научног већа
Проф. др Милан Николић

Техничко решење

Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

1. Идентификациони подаци

Аутори решења	Др Далибор Добриловић, Др Јасмина Пекез, Др Елеонора Десница, Др Иван Палинкаш, Др Љиљана Радовановић, МСц Синиша Михајловић, МСц Милица Мазалица, МСц Лука Ђорђевић
Назив техничког решења	Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже
Кључне речи	Сензорске мреже, соларна радијација
За кога је решење рађено	Технички факултет „Михајло Пупин Зрењанин
Година када је решење комплетирано	2024.
Година када је почело да се примењује и од кога	2024. Технички факултет „Михајло Пупин Зрењанин, Alter, BioGas I, Народног фронта21а, Нови Сад
Област и научну дисциплину на којој се техничко решење односи	Машинско инжењерство, Информационе технологије
Проблем који се техничким решењем решава	Креирана платформа омогућује прикупљање података о соларном зрачењу, на локацијама које су погодне за инсталацију соларних сензорских станица, и у облику који је погодан за анализу употребе соларне енергије за напајање соларних станица. Платформа се такође може користити у настави за студенте профила Информационе технологије и машинско инжењерство у погледу дизајна сензорских мерних система и програмирања истих.
Стање решености тог проблема у свету	У свету постоји велики број сличних платформи које се баве сличном тематиком, које су засноване на хардверу отвореног кода и које се баве мониторингом потрошње енергије у различитим окружењима. Ова је једна од ретких платформи која је фокусирана на соларну енергију и напајање сензорских станица.

Опис техничког решења	Платформа је заснована на хардверу и софтверу отвореног кода. Платформа се састоји од широко доступних електронских компоненти ниске цене. Поред микроконтролера, платформа садржи соларне елементе (соларни панел, пуњач, батерија) и сензоре (напона, интензитета светлости, температуре и влажности ваздуха). Платформа се може користити за прикупљање и логовање података о сунчевом зрачењу, који се касније могу користити за анализу перформанси соларног панела и утицаја мерених вредности на његове перформансе. Иста платформа се може користити у настави за обуку студената Информационих технологија за програмирање и дизајн енергетски ефикасних соларно напајаних сензорских станица и у настави студената Машинског инжењерства за анализу рада соларно напајаних система.
Техничка документација	Изјава корисника решења Листа раније прихваћених техничких решења за сваког аутора појединачно

1. Увод

У ери брзог технолошког раста суочавамо се са повећаном потрошњом енергије. Важност употребе обновљивих извора енергије у напајању бежичних сензорских чворова у IoT (*енг. Internet of Things*) сензорским мрежама расте заједно са све већим бројем коришћених тих чворова. Соларна енергија се истиче као најприкладнија и појављује се као могући избор за главни извор напајања сензорских чворова. Питање коришћења обновљивих извора енергије је битно за одрживост бежичних сензорских мрежа и индустријског интернета ствари (*енг. Industrial Internet of Things*), посебно у сценаријама где постоји потреба за имплементацијом великог броја сензорских чворова и паметних уређаја у индустријским и другим окружењима.

Техничко решење које је описано у овом документу има за циљ да представи платформу за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже. Техничко решење се бави проблемом праћења рада бежичних сензорских чворова са соларним напајањем који су примењиви за различита IoT (*енг. Internet of Things*) окружења, и са могућношћу анализе прикупљених података у зависности од локације прикупљања будући да се ради о малим и лако преносивим станицама. Предложена архитектура је дизајнирана за прикупљање података о соларној радијацији тј. сунчевом зрачењу и другим параметрима амбијента (соларни панел и температура околине, интензитет светлости, итд.). Техничко решење додатно обухвата могућност

имплементације платформе као и самостално али и као дистрибуиране бежичне сензорске мреже.

Једна од сврха прикупљања података је процена предвиђања излазног напона соларног панела коришћењем метода машинског учења, који се може користити за постизање енергетски ефикасних операција сензорских чворова са соларним напајањем у IoT системима различите намене. Подаци се могу користити за анализу и праћење утицаја више података из околине на ефикасност соларних панела, а самим тим и на напајање сензорских чворова.

Предлог архитектуре узима у обзир разноликост потребних података као и њихов пренос и складиштење за даљу обраду. Предложена архитектура је имплементирана у виду прототипа за евалуацију и тестирање. Евалуација се врши помоћу прототипа сензорског чвора за прикупљање података о генерисању напона соларног панела са хардвером отвореног кода и јефтиним компонентама за дизајнирање таквих чворова за прикупљање података. Сензорски чвор се процењује у различитим сценаријима са соларним и вештачким светлосним условима ради изводљивости предложене архитектуре и оправданости њеног коришћења. Као резултат, успостављена је платформа и метода за имплементацију технике процене сензорских чворова у различитим сензорским IoT мрежама, што помаже у постизању интелигенције “на ивици” (*енг. edge intelligence*). Други корак у процени ефикасности сензорске станице је имплементација машинског учења за процену ефикасности соларних панела, на бази података прикупљених од не-соларних сензора.

1.1. Потреба за увођењем техничког решења

Потреба за увођењем техничког решења проистиче из важности употребе соларних сензора и паметних уређаја. Соларна енергија је најпримењивији обновљиви извор енергије за употребу у IoT системима и паметним градовима. Анализа прикупљених података и њиховог утицаја на перформансе соларних панела, уз платформу која пружа могућност дизајна и програмирања таквих станица су од виталног значаја за унапређење и повећање применљивости соларно напајаних сензорских станица.

1.2. Стање решености проблема у свету

У овој секцији су описана слична техничка решења.

Прву групу повезаних истраживања представљају системи дизајнирани за праћење параметара соларних панела и других електричних система, струје и напона, и коришћење сензорских чворова као појединачних уређаја или као дела дистрибуиране бежичне сензорске мреже. Друга група повезаних истраживања користи метеоролошке податке, сателитске снимке, конфигурацију терена и LIDAR податке за израду карата и модела за процену соларне радијације и потенцијалних локација првенствено за изградњу кровних соларних панела.

У публикацији [1] приказано је решење за анализу карактеристика фото-напонских панела као што су излазни напон и струја у реалном времену. Коришћена је платформа Arduino UNO PLX-DAQ за прикупљање података Excel Macro. Повезивање је извршено преко UART магистрале. Паметни систем за праћење напона и струје и надзор трофазног електричног система приказан је у [2].

Коришћена је платформа Arduino Nano V3.0, Андроид паметни телефон, а повезивање је извршено преко Bluetooth HC-05 модула [2]. Прототип система за управљање енергијом у кући приказан је у [3]. Ова платформа има за циљ праћење потрошње кућних уређаја како би корисници могли надгледати сваки уређај посебно и на основу тога креирати план потрошње који има омогућава смањење потрошње енергије у домаћинству. Коришћена је платформа Arduino UNO, а за повезивање система на даљину је коришћена ZigBee технологија и USB магистрала [3].

Слично, систем који је дизајниран за прикупљање података о напону и струји у реалном времену уз променљиву отпорност оптерећења током експерименталне анализе приказан је у [4]. Користи се код фотонапонског система величине 3x3 под условима делимично заклоњеног сунчаног осветљења (сенке). За систем се користи платформа заснована на Arduino Nano микроконтролерској платформи, а повезивање је остварено преко USB магистрале. Следећи је систем дизајниран за праћење потрошње робота и његовог излазног напона. Мерни систем користи Arduino микроконтролер, струјни ACS712 и сензор напона FZ0430. За повезивање се користи Bluetooth HC-05 модул [5]. Систем прати карактеристику потрошње енергије за роботе са INA219 сензором за мерење снаге, струје и напона. Користи се платформа заснована на Raspberry Pi4 моделу Б, а повезивање се врши Wi-Fi IEEE 802.11ac технологијом [6].

Платформа описана у [7] врши надгледање параметара ПВ система (напон, струја, снага, енергија, интензитет светлости, температура и влажност) и ажурирање ових информација у облаку (*енг. cloud*). Подаци се шаљу на LoRaWAN gateway и даље на The Things Network (TTN). Коришћена је платформа Arduino UNO, а повезивање се врши са LoRa/LoRaWAN технологијом. Платформа приказана у [8] врши праћење климатских варијабли и фотонапонских карактеристика у производњи струје са применом у Smart Grid систему (напон, струја, снага и седам метеоролошких варијабли). Коришћена је платформа HeltecWiFi LoRa 32 (V2) IoT dev-board, а за повезивање се користе LoRa и Wi-Fi технологије. Систем надзора, контроле и аквизиције података за микромрежу који је развијен на Arduino UNO/Raspberry Pi платформи приказан је у [9]. Систем за пренос података користи серијске магистрале I2C, SPI, као и власнички NRF24L01 протокол.

Јефтин, прецизан и поуздан мерач снаге и електричне енергије и анализатор електричне енергије за домове у урбаним или руралним подручјима заснован је на софтверу отвореног кода и приказан је у [10]. Коришћена је платформа open meter, а за пренос података се користе USB, Wi-Fi, 3G/LTE/4G и Ethernet. Систем базиран на хардверу и софтверу отвореног кода дизајниран за праћење температуре фотонапонског генератора је заснован на платформи коју чине Arduino MEGA 2560 R3 и RPi модел 3 вер. Б. За пренос података се користи Ethernet технологија [11]. Слично је приказана и платформа за надзор ПВ система за контролу водоводне пумпе. За тај систем се користи платформа заснована на Raspberry Pi и ADAM 4017+, док се за пренос података користи Modbus-RTU, TCP/IP и Wi-Fi [12].

Систем за праћење фотонапонских модула базиран на решењима отвореног кода који даје детаљне информације о перформансама фотонапонских електрана и метеоролошких података описан је у [13]. Коришћена је платформа Arduino UNO, Raspberry Pi, а пренос података се врши 433 MHz RF HopeRF RFM69CW комуникационим модулом. Систем у *cloud* окружењу за праћење у реалном

времену развијен за надзор фотонапонског постројења са ACS712 сензором струје, LM35 температурним сензором, LP02 пиранометром и DHT11 сензором описан је у [14]. Систем је базиран на платформи Raspberry Pi ADCES (SanUSB плоча), а за пренос података користи Wi-Fi технологију.

IoT окружење је дизајнирано за аквизицију података о температури метеоролошких и фотонапонских модула (температура ПВ модула, метеоролошки подаци као што су сунчево зрачење, температура околине, релативна влажност и брзина ветра). Систем користи ESP8266, ESP32 комуникационе модуле и Wi-Fi технологију [15].

Надзор у реалном времену и предиктивна дијагноза кварова низова соларних панела врши се помоћу платформе која користи ESP8266 модул, ACS712-5A и FZ0430 сензоре. Пренос података се врши преко Modbus, TCP/IP и OPC комуникационих протокола [16]. Фотонапонски систем за праћење кретања сунца излазног напона и струје имплементиран је као прототип на Arduino Mega2560 платформи. Коришћењем Bluetooth технологије подаци се могу приказивати на мобилном телефону [17]. Аутоматски систем за прикупљање података (Automatic Data Acquisition Systems (ADAS)) намењен је за мониторинг термалних колектора. Базиран је на ESP32 микроконтролеру и садржи сет сензора (Klipp и Zonen CMP11, PT100, Biotech VZS-007, SHT20). За пренос података користи се Wi-Fi технологија [18].

Методологија за процену соларног потенцијала уз генерисање 3Д структуре урбаних средина приказана је у [19]. За процену се користе подаци о висини и типовима кровова помоћу сателитских снимка и симулације сенки. У публикацији [20] врши се одређивање енергетског потенцијала кровних соларних ПВ-а. Модел користи податке о висинама зграда. Метода за одабир погодних локација за постављање соларних панела користи јединицу за графичку обраду (GPU) и модел соларног зрачења SHORTWAVE-C за симулацију директног и недиректног сунчевог зрачења [21].

Решење за процену сунчевог зрачења за тродимензионалне (3Д) градове користи податке на годишњем нивоу [22]. Идентификација кровова зграде за процену соларног потенцијала града користи податке добијене од U-Net технологије у комбинацији са сателитским картама [23]. 3Д модел соларног потенцијала користи детекцију светла и LIDAR податке који су приказани у ArcGIS платформи уз употребу CityEngine [24].

Такође, постоје хибридни модели за процену сунчевог зрачења. За то се користе метеоролошки подаци [25]. Модел процене сунчевог зрачења заснован на вештачкој интелигенцији дизајниран је за употребу зелене енергије [26]. Предвиђање перформанси соларних колектора користи експерименталне податке [27]. Метод за предвиђање сунчевог зрачења користи метеоролошки податке и описан је у [28]. Мапирање површине чистог неба и сунчевог ултраљубичастог зрачења се врши употребом података Chinese Ecosystem Research Network (CERN) [29]. Процена сунчевог зрачења користи податке CAMS Radiation Service [30].

Техничко решење које је представљено у овом документу комбинује искуства, првенствено прве групе истраживања и значајно се разликује од њих. Решење користи прву групу реферисаних радова као мотивацију и примере за пројектовање платформе за прикупљање података о соларном зрачењу. Друга група наведених радова се користи само за узор за процену потенцијалног сунчевог зрачења. Наш

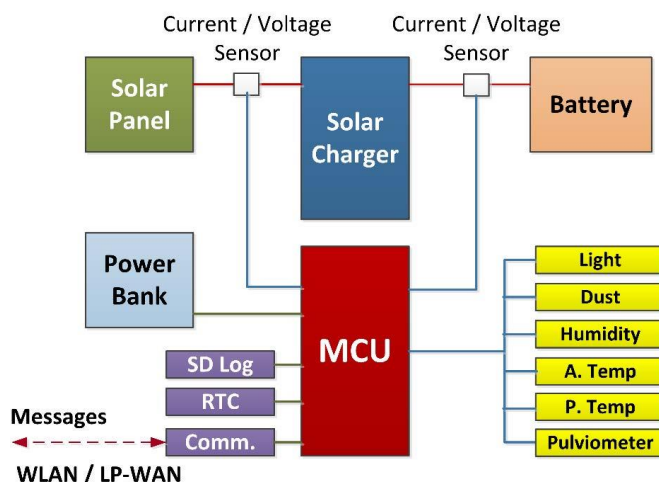
предлог користи нелинеарну регресију да издвоји сензоре који се могу користити за предвиђање излаза соларног панела са најбољом могућом тачношћу. Након тога, користи се машинско учење да би се омогућила процена перформанси соларног панела на основу читавања не-соларних сензора.

2. Детаљан опис техничког решења

2.1. Архитектура платформе за прикупљање података о соларној радијацији

Архитектура потпуно опремљеног сензорског чвора за прикупљање података са соларног панела приказана је на слици 1.

Систем је дизајниран да прикупља податке о перформансама соларних панела (излазни напон и струја) и податке о амбијенту (осветљење, температура соларног панела, температура и влажност ваздуха). Подаци соларног панела се састоје од евиденције података о струји и напону који представљају излаз соларног панела. Поред струје и напона који се генеришу од стране соларног панела, платформа може мерити и струју и напон који се користе за пуњење батерије. За праћење су занимљиви и подаци о амбијенту, као што су температура површине соларног панела, температура и влажност ваздуха, интензитет светлости (видљива, UV и IR), прашина и детекција кише. Сврха праћења амбијенталних података је анализа утицаја спољних фактора на производњу енергије соларних панела [31].



Слика 1. Архитектура потпуно опремљене сензорске платформе за прикупљање података о соларном зрачењу

У моделу су сви сензори повезани на исту микроконтролерску јединицу (MCU). MCU може бити Arduino UNO или Arduino MEGA. MCU се може повезати на сат реалног времена (RTC), комуникациони модул и модул SD картице за евидентирање података и дисплеј (LCD и OLED) модул опционо. Комуникациони модул зависи од мреже чији је део сензорска станица и покривености. Могући скуп сензора који се може узети у обзир за предложени сензорски чвор је DHT-11 или DHT-22 сензор за температуру и влажност ваздуха, TMP36 за температуру соларног панела, BH1750 сензор и други сензори светлости за мерење интензитета светлости; UV сензор; ACS712 или INA169 сензор струје; MAX471 сензор струје и напона, итд. Соларни пуњач је Seeedstudio Li-Po Rider Pro. Користи се за управљање пуњењем и пражњењем Li-Po батерије од 500 mAh. Димензије соларног панела се крећу од 160 мм X 138 мм X 2,5 мм до 130 мм X 87 мм X 2,5 мм, али ће се узети у обзир и друге величине. Ефикасност панела је 16%, напон 5,5 V, снага 3

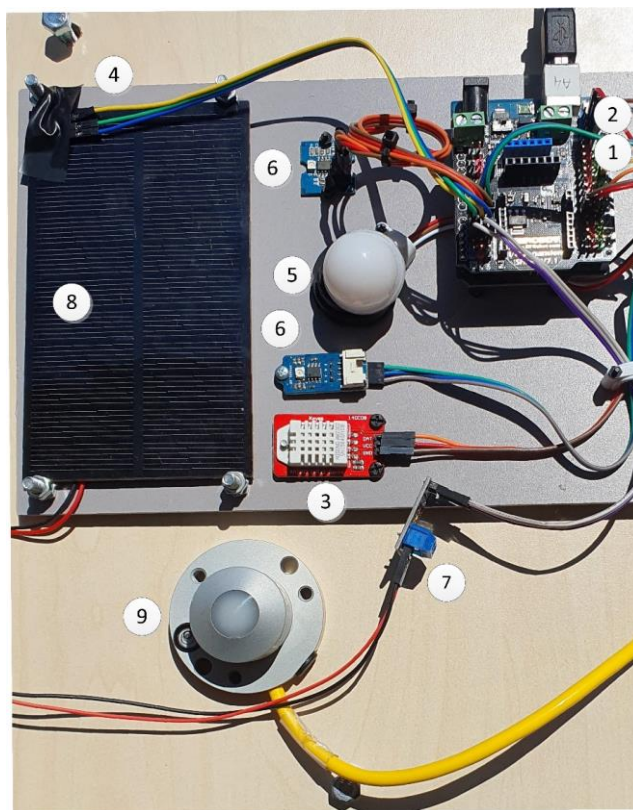
W а вршна струја се креће од 540 mA до 270 mA. Комуникациони модул за Wi-Fi технологију може бити ESP8266 или ESP32. Занимљиво је размотрити употребу Wemos D1 R2 или NodeMCU плоче са интегрисаним ESP8266/ESP32 модулима уместо коришћења Arduino UNO плоче. Ограничавајући фактор у коришћењу Wemos или NodeMCU плоче може бити могућност повезивања само једног аналогног сензора [31].

Прототип чвора и мреже је креиран на основу претходних искустава [32-36] и основу бројних екстерних извора где су се Arduino UNO и његови клонови показали као поуздани уређаји.

3. Примена и тестирање техничког решења

У техничком решењу коришћена је платформа за прикупљање података о соларном зрачењу базирана на хардверу отвореног кода и компонената ниске цене [31].

Фотографија платформе је приказана слици 2. Платформа је изграђена на основу чвора који је приказан на слици 1.



Слика 2. Прототипска платформа базирана на Arduino уређају дизајнирана за анализу перформанси соларног панела

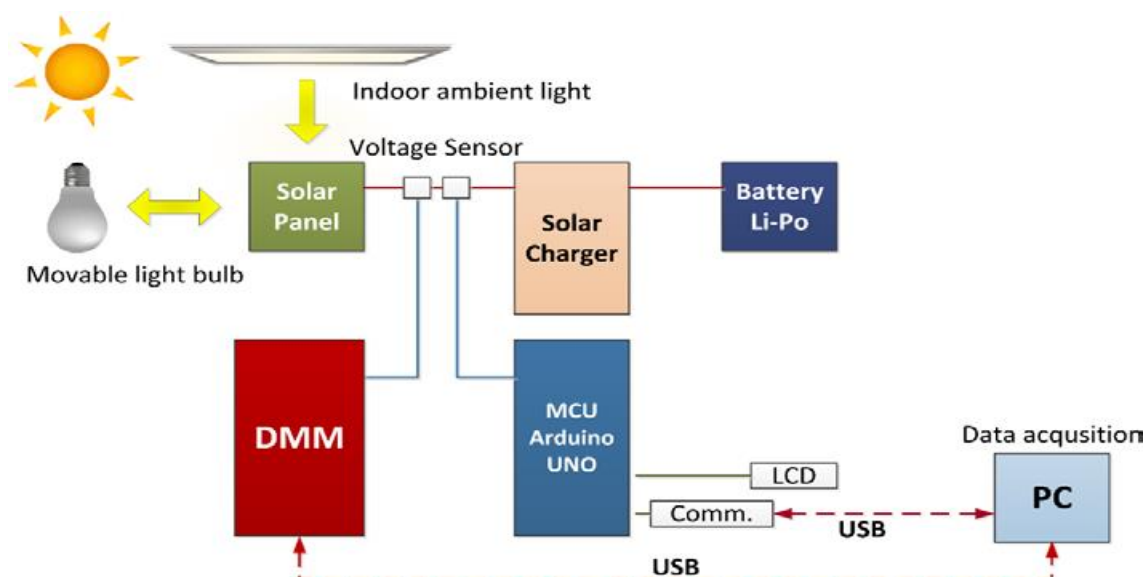
Архитектура платформе за тестирање је развијена као минимизирани модел представљен на слици 1. Платформа је дизајнирана и са сврхом анализе тачности сензора напона ниске цене за праћење перформанси соларног панела. Након евалуације његове тачности, анализиран је однос осталих мерних вредности са излазним напонем панела.

Сензор напона је изабран као сензор који истовремено мери и анализира ефикасност соларног панела, а сам хардвер отвореног кода омогућава брзо склапање, развој и конфигурацију сензорских уређаја.

Централни део платформе је рачунар са Windows оперативним системом. Рачунар бележи податке прикупљене помоћу сензорског чвора и дигиталног мултиметра. Дигитални мултиметар се користи за вршење контролних мерења и валидацију тачности сензора напона. Микроконтролер који се користи у платформи за тестирање је Arduino UNO (1). Arduino UNO је повезан са експанзионим модулом (енг. shield) (2). Arduino шаље податке на рачунар преко серијске магистрале (USB). Arduino UNO је програмиран је да чита податке са сензора напона и шаље их на рачунар преко USB-а. Рачунар чита податке послате на COM порт и евидентира их у датотеку са вредностима раздвојеним зарезима (енг. comma-separated values (CSV)) помоћу софтвера. Контролно мерење се врши помоћу дигиталног мултиметра (DMM) који је повезан са рачунаром преко USB-а. Подаци се шаљу на рачунар, где се програм за читање дигиталног мултиметра отвореног кода UltraDMM користи за визуелизацију и евидентирање података. Оба уређаја су повезана паралелно са соларним панелом.

Остале компоненте платформе су (слика 3): (3) DHT-22 сензор за температуру и влажност ваздуха, (4) TMP36 сензор за температуру соларног панела, (5) светлостни BH1750 сензор за интензитет светлости, (6) UB сензори, (7) сензор напона, (8) соларни панел 130 мм X 87 мм X 2,5 мм (ефикасност 16%, 5,5 V, 3 W, вршна струја 270 mA), и (9) пиранометар. Пиранометар није саставни део ове платформе отвореног кода и користи се само за контролна мерења.

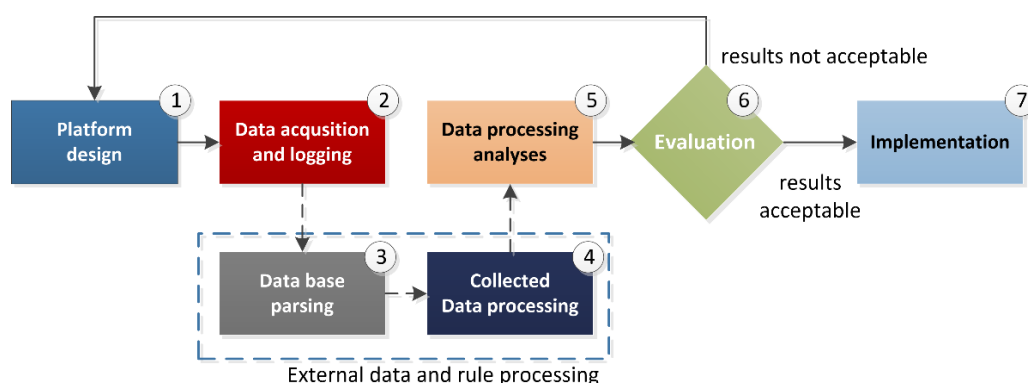
За мерење перформанси соларног панела у различитим условима у најкраћем могућем периоду, експеримент користи природну сунчеву светлост у комбинацији са вештачким изворима светлости у затвореном простору. Користи се три сијалице: са жарном нити, компактно флуоресцентно светло (CFL) и LED. Додатно се користи унутрашње амбијентално светло (слика 4). Одзив соларног панела, промена напона, мери се паралелно са сензором напона Arduino платформе и дигиталним мултиметром.



Слика 3. Прототипска платформа заснована на Arduino микроконтролеру за тестирање тачности сензора напона.

Методологија коришћења платформе у истраживању приказана је на слици 4, где је представљен алгоритам методологије истраживања.

Алгоритам показује седам корака: (1) Пројектовање платформе са дефинисањем компоненти и изградњом платформе; (2) Прикупљање података о соларном зрачењу и евидентирање на рачунару; (3) Упаривање прикупљених вредности (података са напонског сензора и мултиметра) и (4) Обрада података обављена на рачунару уз коришћење Python-а и/или GNU Octave софтвера; (5) Креирање извештаја и поређење излаза обраде података; (6) Оцењивање тачности процене и одлучивање да ли су резултати евалуације прихватљиви. У случају да нису прихватљиви покреће се редизајн платформе. Уколико су резултати прихватљиви врши се прослеђивање до (7) где се врши имплементација техника процене на *firmware* сензорским чворовима. Алгоритам тока истраживања представљен је на слици 4.



Слика 4. Методологија коришћења платформе

4. Резултати

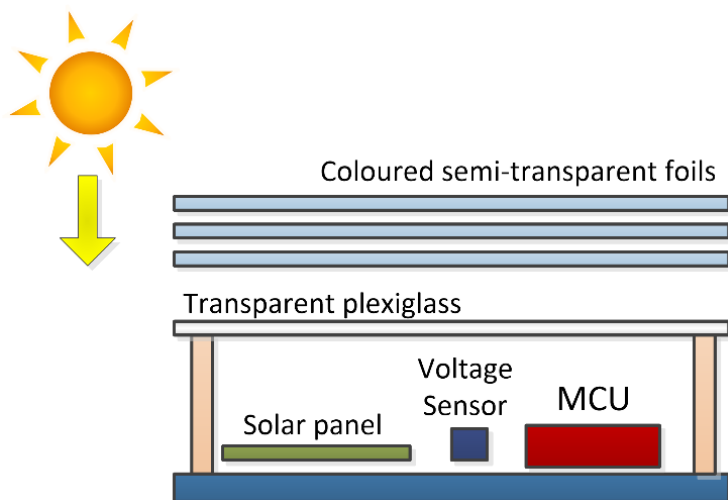
Резултати су добијени експериментом који је спроведен у две фазе.

Прва фаза експеримента процењује тачност сензора напона и подељена је на две подфазе. Други експеримент је усмерен на проналажење односа између напона и других измерених вредности, као што су температура панела, температура и влажност ваздуха, УВ и интензитет сунчеве светлости. У овом делу су описани резултати експеримената.

4.1. Резултати мерења напонског сензора

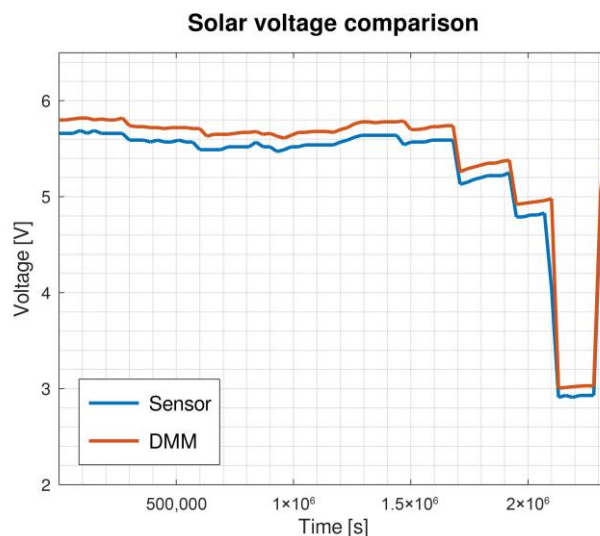
Прва подфаза првог експеримента се спроводи само са сунчевом светлошћу. Платформа за тестирање је прво изложена директној сунчевој светлости.

Транспарентни плексиглас се поставља преко платформе за тестирање у следећој подфази. Количина сунчеве светлости се смањује постепеним покривањем плексигласа полупровидним фолијама у боји, као што је приказано на слици 5. Ово покривање, корак по корак, изведено је због тестирања одзива сензора напона са различитим интензитетима сунчеве светлости, избегавајући тестирање у средњим или дугорочним периодима. Додавањем полупровидних фолија, симулиран је интензитет сунчеве светлости. У завршној фази процеса тестирања, соларни панел је покривен непровидним поклопцем.



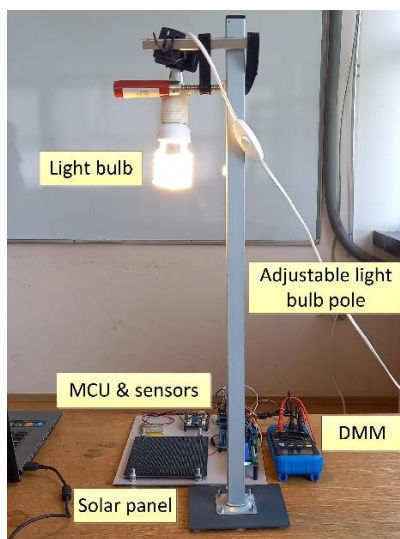
Слика 5. Мерење излазног напона са полупровидним фолијама.

Ефекти постигнути у овој фази могу се видети на слици 6. Са постепеним смањењем напона соларног панела. На слици је приказано поређење резултата сензора и дигиталног мултиметра. Сензор напона нуди добре могућности јер су оба мерења била слична, са малом разликом. Најниже вредности на слици 6. су за тест случајеве када се користи нетранспарентни покривач. У овом случају постоји растојање између соларног панела и покривача, тако да мала количина светлости пада на панел и самим тим соларни панел генерише напон изузетно малих вредности.



Слика 6. Поређење мерења напонског сензора и дигиталног мултиметра

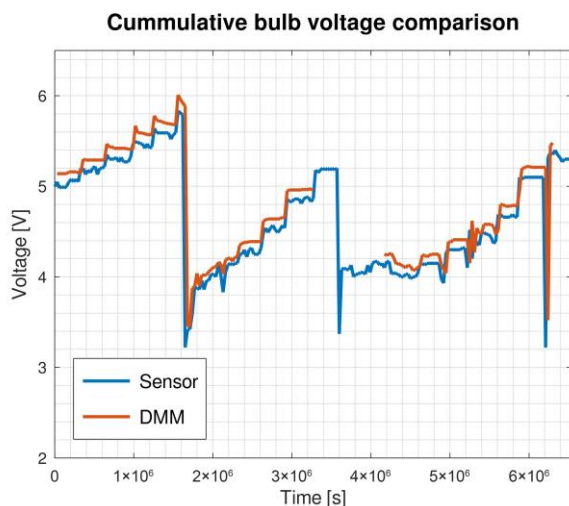
Након тога је тест настављен са унутрашњим амбијенталним светлом и вештачким изворима светлости. Ова фаза тестирања имала је за циљ праћење одзива сензора напона када је изложен различитим изворима светлости. Платформа за тестирање је потом изложена унутрашњем амбијенталном светлу као и вештачким изворима светлости да би се постигао тај циљ. Коришћена су три различита вештачка извора светлости: са жарном нити, CFL и светлећа диода (LED). Вештачки извор светлости монтиран је на постоље са подесивом висином у односу на платформу за мерење (слика 7). Положај вештачког извора светлости мењан је шест пута. Мерење је вршено на 6 различитих висина: 35, 30, 25, 20, 15 и 10 центиметара изнад соларног панела. На крају је сијалица искључена.



Слика 7. Платформа са држацем сијалице подесиве висине.

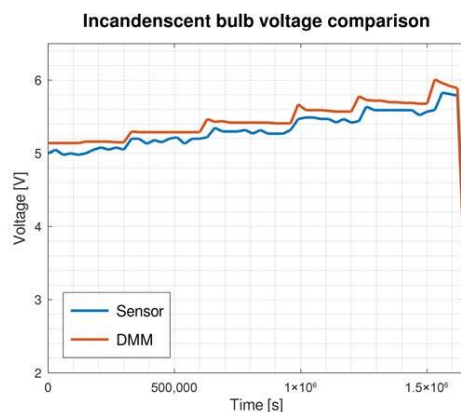
Резултати мерења сензора и дигиталног мултиметра за све три сијалице приказани су на графику (слика 8). Резултати оба сензора су слични и указују на постепени раст измереног напона проузрокованог променом интензитета светлости који је условљен близином вештачког извора и панела код сва три случаја.

Први део графика приказује резултат мерења када је панел био обасјан сијалицом са жарном нити којој је положај мењан 6 пута. Сијалица је најпре постављена на максималном растојању од панела и то на висину од 35 центиметара од панела и тада је измерен напон од око 5 V. На висини од 30 центиметара измерен је напон од 5,2 V и растао је са смањењем удаљености извора светлости и панела до 6 V када је сијалица била постављена на висини од 10 центиметара од соларног панела. Када је сијалица искључена, измерене су вредности напона од око 3,2 V. Потом је мерење поновљено са CFL и ЛЕД сијалицом. Други и трећи део графика приказују резултате тих мерења.

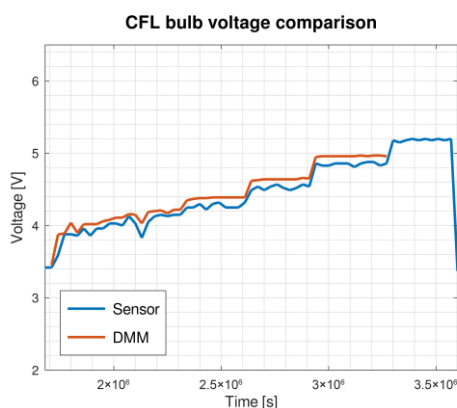


Слика 8. Поређење мерења сензора напона и дигиталног мултиметра са вештачким изворима светлости

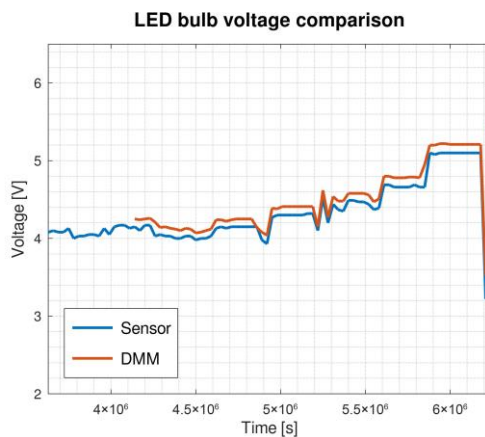
Даље су приказани упоредни резултати мерења за три сијалице одвојено. На сликама 9-11 приказани су упоредни резултати за сијалице са жарном нити, CFL и LED сијалице.



Слика 9. Поређење мерења напонског сензора и дигиталног мултиметра за сијалицу са жарном нити.



Слика 10. Поређење мерења напонског сензора и дигиталног мултиметра за CFL сијалицу.



Слика 11. Поређење мерења напонског сензора и дигиталног мултиметра за LED сијалицу.

Слика 9. упоређује мерења DMM и напонског сензора са сијалицом са жарном нити која се користи за симулацију извора светлости. Измерене су сличне вредности са сензором напона и са DMM. Визуелизација мерења јасно показује тачност сензора напона, потврђујући његову оправданост за коришћење у платформи за мерење.

Слике 10. и 11. на сличан начин пореде мерења DMM и напонског сензора са CFL и LED сијалицама које симулирају извор светлости. Као и у претходном случају, сличност мерених резултата је очигледна. Визуелизација поново потврђује тачност сензора напона без зависности од извора светлости. Овим резултатима додатно се потврђује оправданост мерне платформе.

Сумирање резултата за сва четири извора светлости дато је у Табели 1. Табела приказује измерене вредности у волтима између сензора и DMM. Разлика је представљена са средњом квадратном грешком (RMSE).

Табела 1. Поређење резултата мерења сунчевог зрачења, сијалице са жарном нити и CFL и LED сијалица.

Извор светлости	Сензор [V]	DMM [V]	RMSE
Соларна радијација	5,260759494	5,408278481	0,173889
Сијалица са жарном нити	5,2900892857	5,423053571	0,145102242
CFL сијалица	4,311111111	4,431962264	0,113867351
LED сијалица	4,401126761	4,510450704	0,115953123

Тест је показао тачност сензора напона, оправдавајући његову употребу у предложеној архитектури. Разлика у измереним вредностима сензора и DMM-а креће се од 0,11 до 0,17 V. Поред своје тачности, платформа показује задовољавајуће понашање током периода тестирања јер се показала стабилном и лако за постављање и руковање те се спроведена експериментална испитивања сматрају успешним.

4.2. Однос осталих вредности сензора и мерења сензора напона

Платформа за другу фазу је конфигурисана за мерење вредности УВ светлости и интензитета сунчеве светлости, вредности температуре соларног панела и вредности температуре и влажности ваздуха.

Спецификација и опис сензора и њихов R^2 (коэффициент детерминације) према излазном напону дати су у Табели 2. За тачност формуле за процену вредности излазног напона кориштен је коэффициент детерминације R^2 . Python програмски језик се користи за прилагођавање података и израчунавање R^2 . Подаци у табели показују да УВ сензор има највећи утицај на излазни напон соларног панела. Други најбољи R^2 је са сензором видљивог светла.

Разлог зашто УВ сензор има већи однос у поређењу са сензором видљиве светлости може бити тај што УВ сензор користи 10-битне вредности у опсегу од 0–1023 за мерење интензитета УВ светлости, док је сензор BH1750 оптимизован за мерење светлости у lux јединицама са 16-битним вредностима у распону од 0–65535.

Табела 2. Конфигурација експерименталне платформе и спецификација сензора.

Параметар	Сензор	Опис	R^2
Интензитет видљиве светлости	I2C BH1750	16-битни ADC за мерење luxa	0,94
УВ интензитет	Аналогни	10-битни ADC опсег вредности 0–1023	0,97
Температура панела	Аналогни TMP36	10-битни ADC вредност конвертована у °C	0,70
Температура ваздуха	Дигитални DHT-11	вредност у °C	0,60
Влажност	Дигитални DHT-11	вредност у влажности %	N/A

Зато што УВ светло и сензори BH1750FVI имају највише вредности R^2 , даља анализа се врши са излазним напонам соларног панела и зависности од ове две измерене вредности.

Подешавање је направљено помоћу програмског језика Python коришћењем експоненцијалне криве, логаритамске и power функције. Резултати УВ и BH1750 сензора приказани су у Табелама 3 и 4 респективно.

Табела 3. Резултати фитовања са UV сензором.

Функција	RMSE	R	R ²
Линеарна	0,352247	0,680971	0,463721
Експоненцијална	0,132521	0,983125	0,966534
Логаритамска	0,326726	0,892513	0,79658
Снага	0,352247	0,874081	0,764017

Табела 4. Резултати фитовања са BH1750 сензором.

Функција	RMSE	R	R ²
Линеарна	31,46735	0,412497	0,1702
Експоненцијална	0,177258	0,969601	0,940126
Логаритамска	0,494349	0,513439	0,534312
Снага	0,513439	0,705927	0,498332

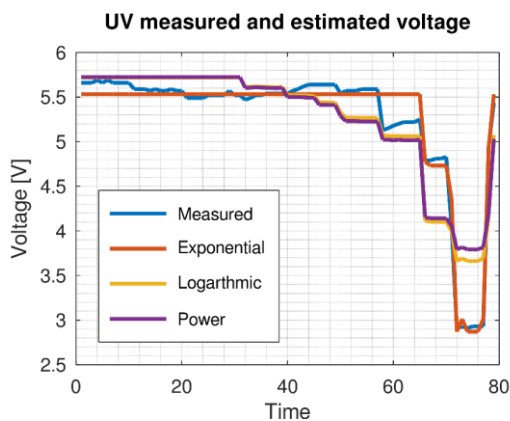
УВ сензор има боље резултате фитовања од сензора BH1750. За оба сензора, експоненцијална функција фитовања даје најбоље резултате. Три функције фитовања које се могу користити за процену излазног напона панела на основу мерења УВ сензора се израчунавају помоћу Python скрипти на следећи начин:

Експоненцијална функција: $V_{exp} = -199,498 * e^{-15,07 * uv} + 5,531$

Логаритамска функција: $V_{log} = 0,37 * \log(UV) + 4,747$

Функција снаге: $V_{pow} = 4,776 * UV^{0,067}$

Процењене вредности излазног напона израчунате на основу измерених вредности UV сензора дате су за све три функције и упоређене са резултатима мереног напона и приказане на слици (слика 12). Као у табели 4, најбоље резултате даје поклапање са експоненцијалном функцијом. Две друге функције (логаритамска и power) дају сличне резултате, са значајно мањом прецизношћу од експоненцијалне функције.



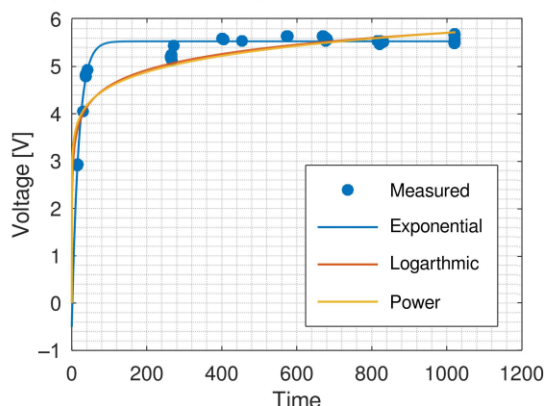
Слика 12. Поређење мерења напонског сензора и процењених вредности на основу три функције.

Криве фитовања све три функције су упоређене са измереним вредностима излазног напона и приказане на слици 13.

Као што је приказано у Табели 4, најбоље резултате даје фитовање са експоненцијалним функцијама. Друге две функције (логаритамска и power) дају сличне резултате, са значајно мањом прецизношћу од експоненцијалне функције.

Сличност измерених вредности са онима процењеним експоненцијалном функцијом је видљива на сликама 12. и 13., а вредности се скоро преклапају.

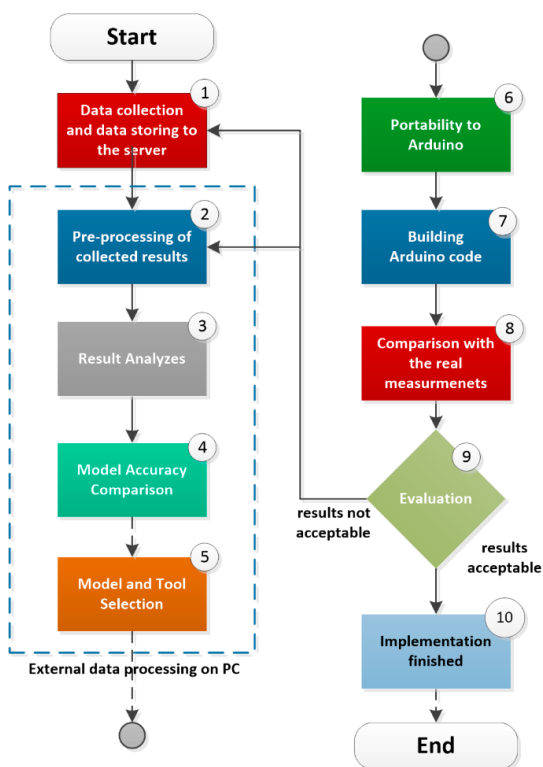
Comparison of UV fitting methods to measured voltage



Слика 13. Поређење мерења напонског сензора и криви фитовања за све три функције.

5. Имплементација edge интелигенције на платформи за прикупљање података о соларном зрачењу

Техничко решење је проширено додавањем вештачке интелигенције на сензорске чворове. То је извршено уз помоћ програмског језика Python, података о сунчевом зрачењу и библиотекама за машинско учење за Python и Arduino за имплементацију edge интелигенције на Ардуино уређајима са циљем процене излазног напона соларних панела. Методологија је приказана на Слици 14.



Слика 14. Методологија за имплементацију edge интелигенције на Ардуино и клонираним плочама.

Предложена методологија за имплементацију вештачке интелигенције на Ардуино развојним плочама састоји се од следећих корака:

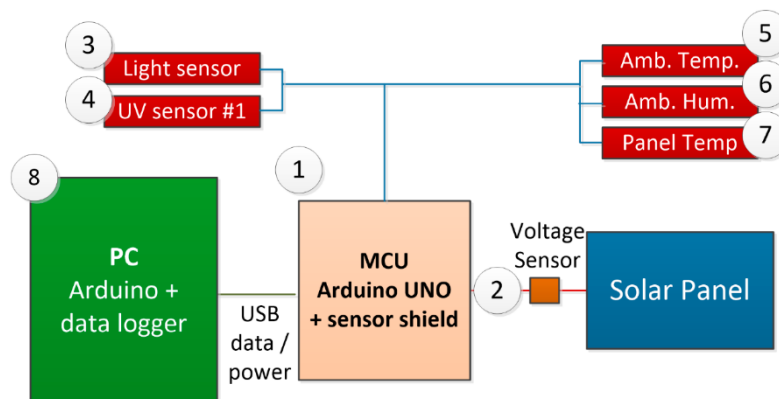
- Почетно прикупљање података о сунчевом зрачењу помоћу платформе која ће бити описана у наредном тексту.

- Пред-обработка прикупљених резултата на рачунару (екстерно) и припрема за даљу обраду.
- Анализа података о сунчевом зрачењу коришћењем Python-а и пакета Scikit-learn.
- Поређење тачности модела на основу прикупљених и обрађених резултата.
- Избор модела за имплементацију на *edge* уређаје, у овом случају Ардуино клон платформа заснована на ESP8266 чипу, и избор алата за имплементацију модела.
- Израда библиотеке за пренос на Ардуино клон платформу засновану на ESP8266 чипу коришћењем одабраног алата.
- Развој кода за одабрану платформу.
- Тестирање платформе и поређење резултата тестирања са реалним мерењима.
- Евалуација резултата и поређење; уколико резултати нису валидни, враћање на корак 1 или 2 ради исправке неправилности или побољшања процеса.
- Уколико су резултати валидни, прелазак на имплементацију одабране методе.

Да би се приказала цела методологија, неопходно је описати следеће компоненте: платформу за прикупљање података о сунчевом зрачењу, Python и повезане пакете коришћене за имплементацију машинског учења и различите регресорске моделе (NumPy, Pandas, Scikit-learn, Micromlgen), као и процес евалуације помоћу Ардуино клон уређаја (у овом случају, ESP8266 базираних микроконтролера). Додатно, библиотеке Mathplotlib и Seaborn коришћене су за визуализацију података.

5.1. Платформа за прикупљање и анализу података о сунчевом зрачењу

Платформа за прикупљање података о сунчевом зрачењу представљена је у другом раду, где је детаљније описана [31], и приказана је на Слици 15.



Слика 15. Дизајн платформе засноване на Ардуино-у за прикупљање података о сунчевом зрачењу

Дизајн платформе за прикупљање података о сунчевом зрачењу заснован је на следећим компонентама:

- Arduino UNO Rev3 (1);
- Сензор напона (2);
- Сензор светлости - BH1750 (3);
- УВ сензор (4);
- DHT-22 сензори температуре и влажности (5) и (6);

- TMP36 сензор температуре за температуру панела (7);
- Рачунар за екстерну обраду података (8);
- Соларни панел: димензија 81×137 mm, снаге 1.5 W, 270 mA, 5.5 V (9).

5.2. Анализа прикупљених података о сунчевом зрачењу

Сврха анализе иницијално прикупљених податка у овој фази је да се утврди која читавања сензора имају највећи утицај на предвиђање излазног напона соларног панела. Ове анализе су засноване на коришћењу Multi-Layer Perceptron regressor (MLPR) у Python програмском језику са пакетом Scikit-learn. Scikit-learn пакет подржава више од 25 регресора, али је MLP регресор одабран за почетне анализе након позитивног искуства и добрих резултата у претходним анализама и радовима. За упоређивање регресора користе се метрике попут R^2 , RMSE, MAE, EVS и максимална грешка. Иако R^2 генерално није погодан за нелинеарне регресије, представља једну од стандардних метода у метрикама библиотеке Scikit-learn и у овој анализи се користи да прикаже које коришћене методе могу имати нелинеарне резултате и што може бити посебно индикативно када R^2 има негативне вредности. Такође, одређени број модела коришћених у даљим истраживањима припада породици модела линеарне регресије, што оправдава употребу R^2 као једне од метрика. У анализи коришћена је вредност R^2 у комбинацији са другим параметрима као што су MSE и MAE да бисмо открили одговарајуће регресоре за даљу имплементацију машинског учења. Резултати приказани у табели 5 показују да се најбоља процена може постићи са Lux сензором (BH1750) у комбинацији са УВ сензором (RMSE од 0,08, MAE од 0,24 и R^2 скор 0,9650) и само са Lux сензором (0,08, 0,22 и 0,97, респективно). Следећи појединачни сензор са највећом прецизношћу је УВ сензор (0,1, 0,29 и 0,94, респективно).

Табела 5. Поређење различитих комбинација сензора са MLP регресором у процени излазних параметара соларног панела

Sc. No.	Input Data	R^2	RMSE*	MAE	EVS*	Max. Err
1	Lux, UV_Raw, Temp_DHT22, Hum_DHT22, Temp_TMP36	0.9521	0.0904	0.2705	0.9529	0.2078
2	Lux, UV_Raw, Temp_DHT22, Temp_TMP36	0.8926	0.1354	0.3156	0.8942	0.4926
3	Lux, UV_Raw, Temp_TMP36	0.9535	0.0891	0.2662	0.9556	0.2113
4	UV_Raw, Temp_TMP36	0.9581	0.0845	0.2583	0.9604	0.2122
5	Lux, UV_ITeadRaw	0.9618	0.0807	0.2401	0.9654	0.2460
6	Lux	0.9650	0.0772	0.2278	0.9661	0.3188
7	Temp_DHT22	0.3548	0.3318	0.3843	0.3749	2.1943
8	Hum_DHT22	-0.3656	0.4827	0.4820	0.3109	2.6242
9	Temp_TMP36	0.4444	0.3079	0.3475	0.4565	2.1791
10	UV_Raw	0.9424	0.0991	0.2895	0.9478	0.1995

Кључни резултати анализе:

За комбинацију сензора BH1750 и УВ сензора, постигнути су резултати са RMSE од 0.08, MAE од 0.24 и R^2 оценом од 0.9650. Сензор BH1750 самостално даје сличне резултате (0.08, 0.22, и 0.97). УВ сензор самостално даје нешто мање тачне резултате (0.1, 0.29, и 0.94). Након препознавања најпрецизнијих комбинација сензора, истраживање је усмерено на ефикасност сензора BH1750 и УВ сензора.

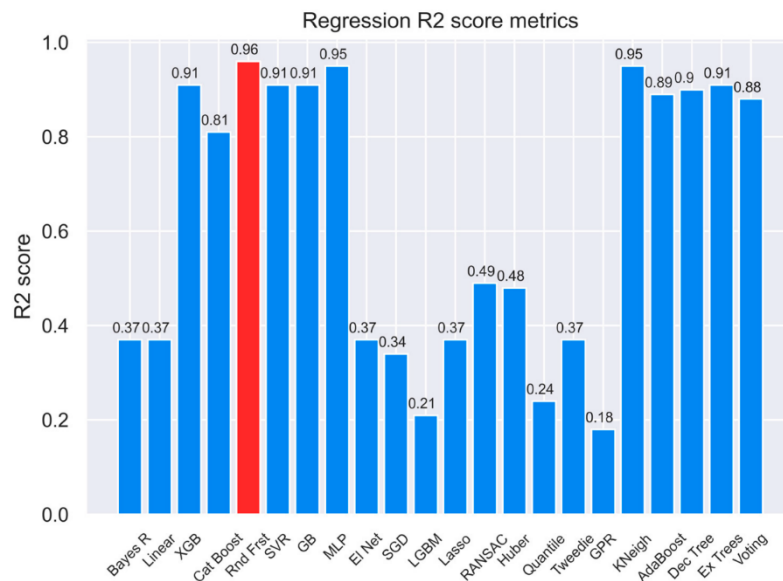
5.3. Резултати

Даља анализа примене Python-а вршена је са 28 различитих регресорских модела подржаних Scikit-learn пакетом. Анализе показују следеће (Слика 16 и Табела 6):

Random Forrest, MLP, и KNN регресори су најефикаснији са R^2 оценама од 0.95 и више. HGBost, Gradient Boosting, Decision Tree, SVR, и Extra Trees имају R^2 оцене од 0.90 или више.

Табела 6. Поређење различитих Scikit-learn регресора у процени излазних параметара соларних панела базираних на читавањима UV сензора

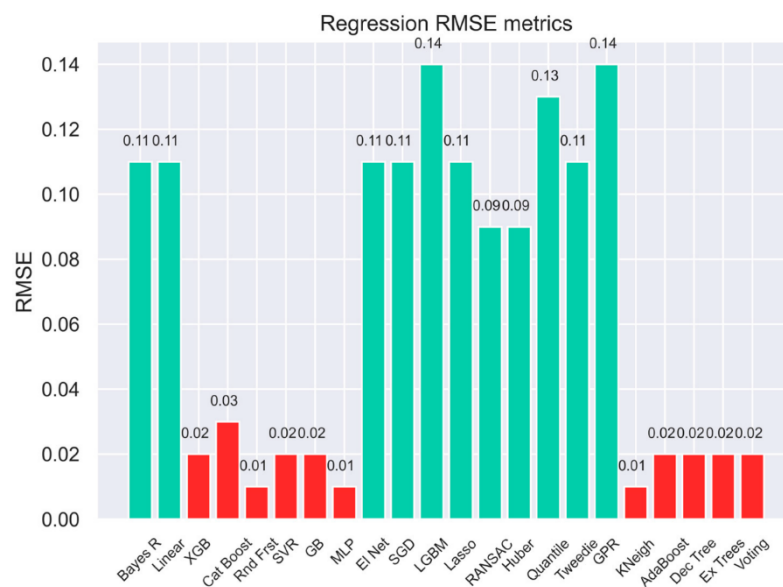
Regression	R score	R ² Score	RMSE	EVS	Max Err.	MAE	MSL	MAP	MedAE
Bayes R	0.551882	0.371885	0.107154	0.413385	1.419959	0.190234	0.003582	0.038744	0.066796
ARD	-0.00198	-0.03552	0.176656	-2.22E-16	2.594436	0.245601	0.00595	0.051628	0.205564
Linear	0.551602	0.370364	0.107414	0.411879	1.416933	0.190599	0.003588	0.038805	0.066233
XGB	0.96898	0.905209	0.016171	0.911202	0.705034	0.074994	0.000402	0.013361	0.050822
Cat Boost	0.858901	0.807068	0.032914	0.811086	0.669619	0.119967	0.001098	0.023656	0.100901
Krnl Rdg	-7.52032	-13.6857	2.505323	-11.5554	4.595392	0.905294	0.192135	0.176634	0.232028
Rnd Frst	0.96632	0.958924	0.007007	0.961693	0.219079	0.066961	0.00016	0.011924	0.052773
SVR	0.942443	0.906048	0.016028	0.917416	0.277325	0.10573	0.000419	0.019669	0.109814
GB	0.96921	0.90652	0.015947	0.9123	0.699241	0.073867	0.000396	0.013157	0.050819
MLP	0.960045	0.950374	0.008466	0.955407	0.19942	0.07822	0.000195	0.01403	0.081658
El Net	0.552002	0.372548	0.107041	0.414041	1.421286	0.190074	0.00358	0.038717	0.067043
SGD	0.543944	0.339704	0.112644	0.413088	1.391616	0.198231	0.003718	0.040097	0.09443
LGBM	0.431142	0.206002	0.135453	0.250426	1.674311	0.187298	0.004571	0.038722	0.097639
Lasso	0.551684	0.370802	0.107339	0.412313	1.417802	0.190494	0.003586	0.038787	0.066395
LARS	-0.00198	-0.03552	0.176656	-2.22E-16	2.594436	0.245601	0.00595	0.051628	0.205564
RANSAC	0.50913	0.492829	0.086522	0.49596	1.88031	0.136337	0.003298	0.02977	0.0827
Theil-Sen	-5.46248	-10.282	1.924665	-8.75078	4.012532	0.805855	0.11491	0.156262	0.226623
Huber	0.46951	0.478527	0.088961	0.479205	1.997051	0.132971	0.003442	0.02956	0.090452
Quantile	0.183056	0.23943	0.129751	0.316501	2.459665	0.144412	0.004771	0.033602	0.058078
Pass Agr	-16.7823	-26.9486	4.767939	-18.8068	3.865447	2.092106	N/D	0.380279	2.171411
Tweedie	0.551603	0.37037	0.107413	0.411885	1.416945	0.190597	0.003588	0.038805	0.066235
GPR	0.49625	0.181773	0.139587	0.260354	1.158412	0.222909	0.004401	0.044228	0.075856
KNeigh	0.96924	0.949614	0.008596	0.94964	0.355	0.063333	0.000202	0.011335	0.035
Dummy	-0.00198	-0.03552	0.176656	-2.22E-16	2.594436	0.245601	0.00595	0.051628	0.205564
Poisson	-0.0017	-0.03552	0.176656	-2.22E-16	2.594436	0.245601	0.00595	0.051628	0.205564
AdaBoost	0.960807	0.891735	0.01847	0.909818	0.71	0.093959	0.000453	0.016723	0.085143
Dec Tree	0.968853	0.904517	0.016289	0.910219	0.71	0.074304	0.000405	0.013235	0.050795



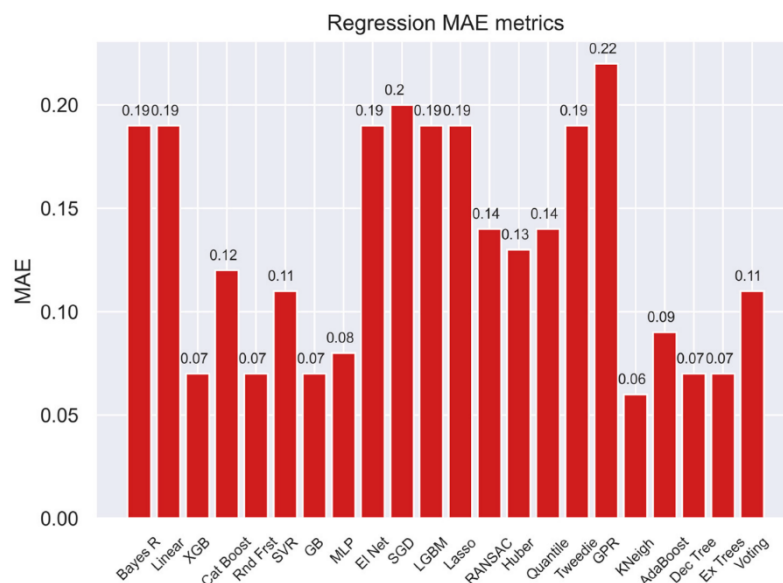
Слика 16. Упоредни приказ R^2 вредности за различите Scikit-learn регресоре

Резултати за појединачне сензоре показују следеће:

За ВН1750, Random Forest има R^2 од 0.97894, док остали модели варирају од 0.89 до 0.96. За УВ сензор, Random Forest има R^2 од 0.95892, док остали модели варирају од 0.88 до 0.95. Детаљна поређења приказана су табелама и графиконима (нпр. Сlike 16, 17, и 18).



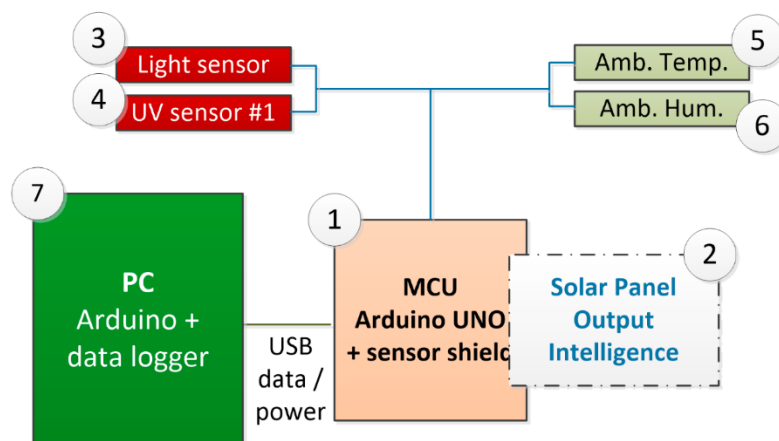
Слика 17. Упоредни приказ MSE за различите Scikit-learn регресоре.



Слика 18. Упоредни приказ MAE за различите Scikit-learn регресоре.

5. 4. Имплементација на Ардуино платформу

Следећа фаза након поређења тачности модела је избор алата и модела за имплементацију на edge уређај (ESP8266 платформа). Коришћена је Python библиотека micromlgen за генерисање кода за Decision Tree и Random Forest моделе.



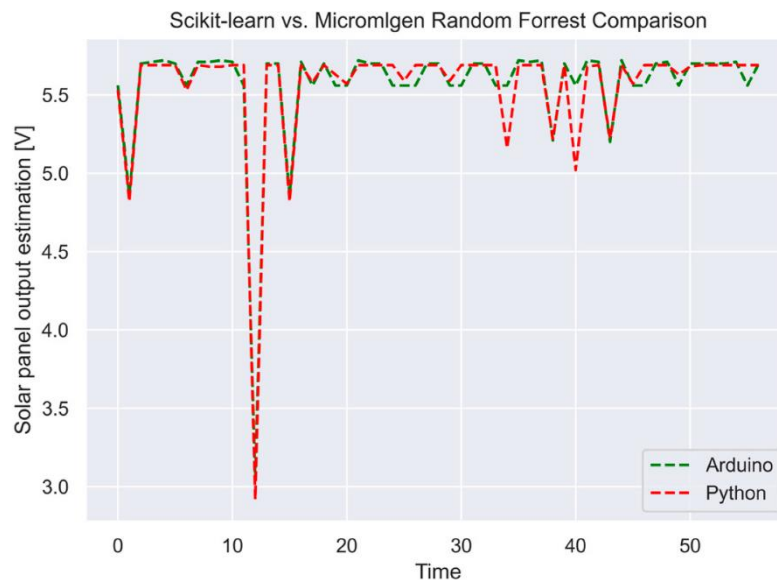
Слика 19. Сензорска платформа са имплементираним вештачком интелигенцијом.

Процес имплементације се своди на следеће кораке. Прво се врши генерисање библиотека у Python-у за Random Forest (RF) и Decision Tree (DT) моделе. Затим, компилација и читавање кода на ESP8266-базиране Wemos D1 R2 развојне плоче. Потом се врши тестирање платформе са имплементираним моделима машинског учења. ESP8266 плоча је одабрана због уграђеног Wi-Fi модула и погодности за каснију интеграцију у бежичне сензорске мреже.

5.5 Резултати са уграђеним машинским учењем на ESP8266 платформи

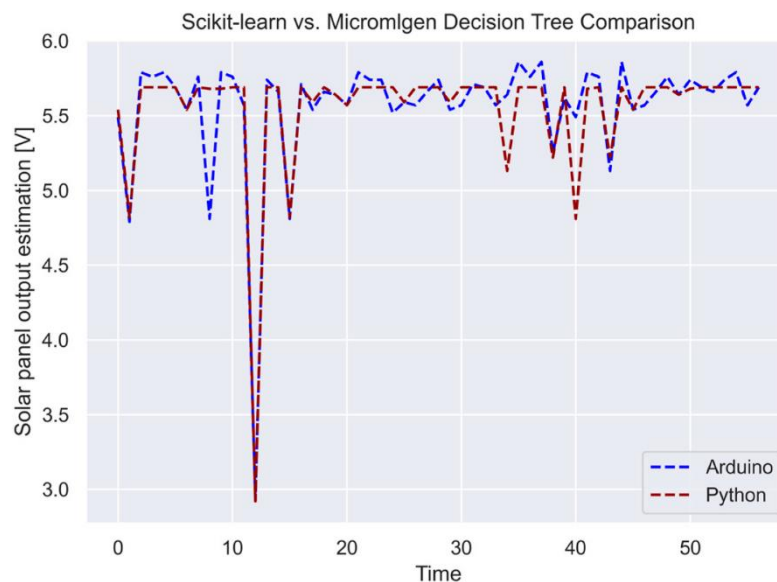
Резултати тачности имплементираних модела на ESP8266 поређени су са Python проценама и стварним мерењима:

Random Forest и Decision Tree регресори показали су минималне разлике у тачности између ESP8266 и Python процена. R^2 оцене за оба сензора (BH1750 и УВ) биле су врло високе, са разликама у границама прихватљивог нивоа. Табеле и графикони (нпр. Сlike 20-23) приказују детаље поређења тачности, укључујући MSE, MAE, и R^2 оцене за различите моделе.



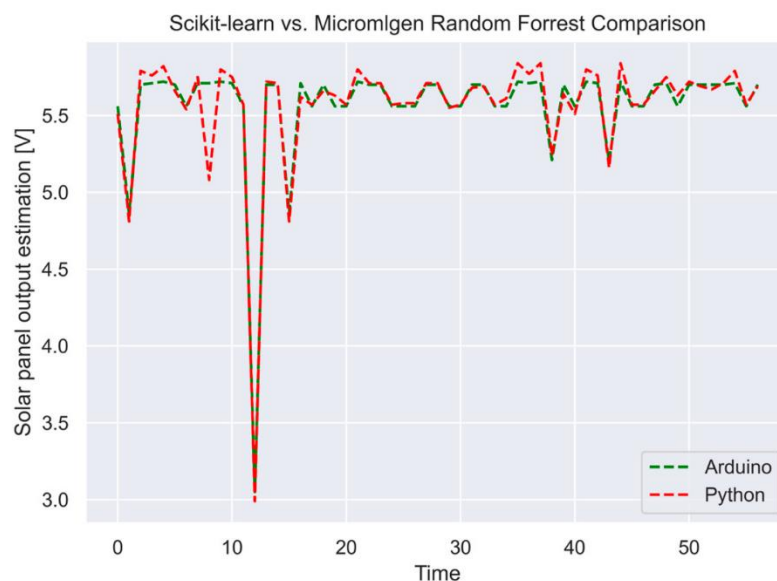
Слика 20. ESP8266 са имплементираним RF регресором и тачност предвиђања базирана на UV сензору.

Табела 7. пружа детаљне метрике поређења између ESP8266 процена и стварних мерења.

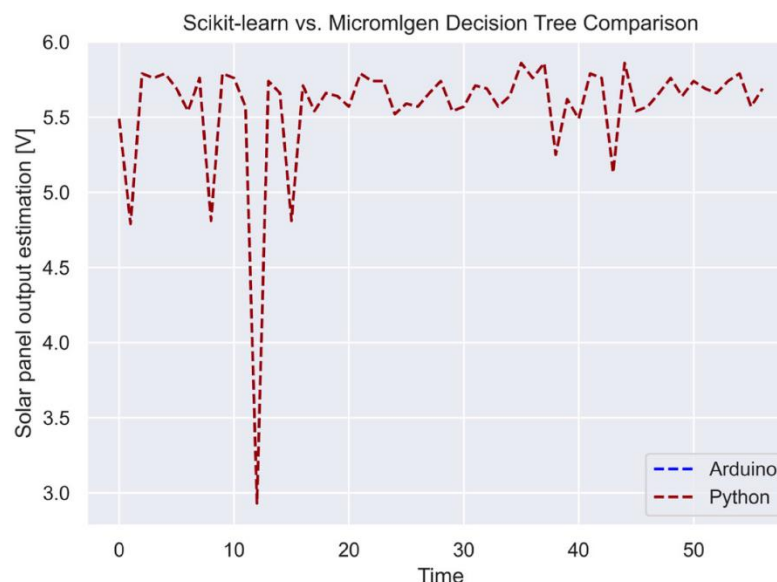


Слика 21. ESP8266 са имплементираним DT регресором и тачност предвиђања базирана на UV сензору.

Ови резултати указују на то да је ESP8266 платформа погодна за имплементацију модела машинског учења за процену излазне снаге соларних панела на основу читавања сензора.



Слика 22. ESP8266 са имплементираним RF регресором и тачност предвиђања базирана на сензору светла



Слика 23. ESP8266 са имплементираним DF регресором и тачност предвиђања базирана на сензору светла

Табела 7. приказује метрику поређења процене Decision Tree и Random Forest алгоритама на BH1750 (Lux) и UV читавања сензора. Тренутни резултати показују мање разлике у измереним вредностима. Друга и трећа колона дају поређење ESP8266 процене са Python Scikit-learn процењеним вредностима (MSE и MAE), а четврта и пета дају метрику поређења ESP8266 у поређењу са стварним измереним вредностима (MSE и MAE). Последња колона приказује R^2 резултате процене ESP8266 у поређењу са измереним вредностима.

Табела 7. Поређење Decision Tree (DT) и Random Forest (RF) тачности имплементираних на ESP8266 платформи

Parameters	RMSE Py	MAE Py	RMSE Real	MAE Real	R ² Real
UV RF	0.10416	0.05263	0.10683	0.06947	0.93309
UV DT	0.17864	0.09456	0.127568	0.07404	0.90461
Lux RF	0.09789	0.05105	0.10278	0.03912	0.93808
Lux DT	0.00000	0.00000	0.13726	0.04509	0.88956

6. Анализа рада техничког решења

Предности предложеног техничког решења су вишеструке. Предложена архитектура је дизајнирана за прикупљање података о сунчевом зрачењу и другим параметрима амбијента. Подаци се прикупљају да би се могла вршити анализа перформанси соларних панела малих димензија намењених за напајање соларних станица. Подаци се могу користити да би се дефинисале технике процене вредности излазног напона соларног панела на основу података са различитих сензора амбијенталних података (осветљење, температура, влажност, итд.). Додатно, ова процена се може вршити и употребом машинског учења, а крајњи резултат процене вредности излазног напона је његова употреба на уређајима на ивици (енг. Edge computing и Edge intelligence). Предложена архитектура је имплементирана са прототипом сензорског чвора. Рад прототипа сензорског чвора евалуиран је у различитим сценаријима са соларним и вештачким светлом за оцену оправданости његовог коришћења. Прикупљени подаци коришћени су за креирање модела нелинеарне регресије и машинског учења за процену напонског излаза.

Поред тога, иста платформа и методологија се могу користити у развоју техника за процену сунчевог зрачења коришћењем вештачке интелигенције у рачунарству на ивици (енг. edge), као што се види у бројним примерима [39–41]. Ова имплементација вештачке интелигенције је примењена у раду [36] и заснована је на програмском језику Python и пакетима Scikit-learn [42] и Keras [43].

У погледу истраживања у вези са имплементацијом модела машинског учења на сензорске станице може се закључити следеће. Након имплементације micromlgen регресора за ESP8266 уређаје, анализирано је поређење ESP8266 процењених и стварних вредности. Вредности R² оба регресора (DT и RF) су знатно високе; стога се ти резултати могу користити за имплементацију у овој фази истраживања. ESP8266 Random Forest регресор (RF) има већу прецизност, са оба сензора (MSE од приближно 0,10, MAE од 0,07 за UV и 0,04 за Lux, и R² од приближно 0,93). Decision Tree (DT) има нешто нижу тачност (MSE између 0,13 и 0,14, MAE од 0,07 за UV и 0,04 за Lux и R² од 0,90 и 0,89 за UV и Lux сензоре, респективно) у процени стварних вредности у поређењу са RF, али је и даље довољно прецизан за оправдану примену обе методе.

Ограничење тренутног истраживања је уравнотежен скуп података, који је прикупљен у кратком периоду, током сунчаних јунских дана, што је резултирало релативно малим распоном варијанси измерених вредности. Прикупљање података о сунчевом зрачењу током много дужих периода вршиће се у наредном периоду и у даљим фазама овог пројекта.

Израђени прототип и предложено техничко решење се може применити у сензорским мрежама за прикупљање соларних података са сензорским станицама који имају не-соларне сензоре. Ове технике се могу користити у сензорским

мрежама које нису дизајниране за прикупљање података искључиво о сунчевом зрачењу, него и мрежама за праћење загађења ваздуха, мрежама за праћење метеоролошких података и сл. Ово омогућава коришћење ненаменски дизајнираних бежичних сензорских мрежа за процену перформанси соларних панела, мапирање соларног зрачења, планирање оптималног постављања сензорских чворова на соларно напајање и ефикасно управљање енергијом у сензорским чворовима на соларни погон.

Додатно, модел процене перформанси и капацитета соларног панела на основу представљеног приступа може се користити за управљање енергетски ефикасним сензорским чворовима на соларни погон. То значи да свака сензорска мрежа постављена на отвореном може користити резултате овог техничког решења. Те мреже се могу користити у различитим сценаријима, као што су мониторинг животне средине, паметна пољопривреда, грађевинска индустрија и паметна мрежа [38].

Резултати овог истраживања су важни јер показују да је предложена методологија довољно ефикасна да се имплементира већ на сензорским чворовима. Дакле, они се могу применити као интелигентни облик чворова, заједно са класичним колекторима података о сунчевом зрачењу.

Главни доприноси и резултати добијени употребом овог техничког решења објављени су у научним радовима [31, 36] публикованим у часописима категорије M22.

Библиографија

- [1] El Hammoumi, A.; Motahhir, S.; Chalh, A.; El Ghizal, A.; Derouich, A. Low-cost virtual instrumentation of PV panel characteristics using Excel and Arduino in comparison with traditional instrumentation. *Renew. Wind. Water Sol.* 2018, 5, 3.
- [2] Mnati, M.J.; Van den Bossche, A.; Chisab, R.F. A Smart Voltage and Current Monitoring System for Three Phase Inverters Using an Android Smartphone Application. *Sensors* 2017, 4, 872.
- [3] De la Cruz Severiche, M.Z.; Fernández, V.; Díaz, R. Low-Cost HEM with Arduino and Zigbee Technologies in the Energy Sector in Colombia. *Energies* 2022, 15, 3819.
- [4] Pachauri, R.K.; Mahela, O.P.; Khan, B.; Kumar, A.; Agarwal, S.; Alhelou, H.H.; Bai, J. Development of arduino assisted data acquisition system for solar photovoltaic array characterization under partial shading conditions. *Comput. Electr. Eng.* 2021, 92, 107175.
- [5] Ruiz, S.G.; Calderita, L.V.; Hidalgo-Paniagua, A.; Rubio, J.P.B. Measuring Smoothness as a Factor for Efficient and Socially Accepted Robot Motion. *Sensors* 2020, 23, 6822.
- [6] Lambert, J.; Monahan, R.; Casey, K. Power Consumption Profiling of a Lightweight Development Board: Sensing with the INA219 and Teensy 4.0 Microcontroller. *Electronics* 2020, 10, 775.
- [7] Jabbar, W.A.; Annathurai, S.; Rahim, T.A.A.; Fauzi, M.F.M. Smart energy meter based on a long-range wide-area network for a stand-alone photovoltaic system. *Expert Syst. Appl.* 2022, 197, 116703.

- [8] Melo, G.C.G.D.; Torres, I.C.; Araújo, Í.B.Q.d.; Brito, D.B.; Barboza, E.d.A. A Low-Cost IoT System for Real-Time Monitoring of Climatic Variables and Photovoltaic Generation for Smart Grid Application. *Sensors* 2021, 21, 3293.
- [9] Vargas-Salgado, C.; Aguila-Leon, J.; Chiñas-Palacios, C.; Hurtado-Perez, E. Low-cost web-based Supervisory Control and Data Acquisition system for a microgrid testbed: A case study in design and implementation for academic and research applications. *Heliyon* 2019, 5, e02474.
- [10] Viciano, E.; Alcayde, A.; Montoya, F.G.; Baños, R.; Arrabal-Campos, F.M.; Zapata-Sierra, A.; Manzano-Agugliaro, F. Open Zmeter: An Efficient Low-Cost Energy Smart Meter and Power Quality Analyzer. *Sustainability* 2018, 10, 4038.
- [11] Portalo, J.M.; González, I.; Calderón, A.J. Monitoring System for Tracking a PV Generator in an Experimental Smart Microgrid: An Open-Source Solution. *Sustainability* 2021, 13, 8182.
- [12] Gimeno-Sales, F.J.; Orts-Grau, S.; Escribá-Aparisi, A.; González-Altozano, P.; Balbastre-Peralta, I.; Martínez-Márquez, C.I.; Gasque, M.; Seguí-Chilet, S. PV Monitoring System for a Water Pumping Scheme with a Lithium-Ion Battery Using Free Open-Source Software and IoT Technologies. *Sustainability* 2020, 12, 10651.
- [13] Paredes-Parra, J.M.; Mateo-Aroca, A.; Silvente-Niñirola, G.; Bueso, M.C.; Molina-García, Á. PV Module Monitoring System Based on Low-Cost Solutions: Wireless Raspberry Application and Assessment. *Energies* 2018, 11, 3051.
- [14] Pereira, R.I.S.; Dupont, I.M.; Carvalho, P.C.M.; Jucá, S.C.S. IoT embedded Linux system based on Raspberry Pi applied to real-time cloud monitoring of a decentralized photovoltaic plant. *Measurement* 2018, 114, 286–297.
- [15] Pereira, R.I.S.; Jucá, S.C.S.; Carvalho, P.C.M. IoT embedded systems network and sensors signal conditioning applied to decentralized photovoltaic plants. *Measurement* 2019, 142, 195–212.
- [16] García, E.; Ponluisa, N.; Quiles, E.; Zotovic-Stanisic, R.; Gutiérrez, S.C. Solar Panels String Predictive and Parametric Fault Diagnosis Using Low-Cost Sensors. *Sensors* 2022, 22, 332.
- [17] Mallahi, F.A.; Mohamed, M.; Shaker, Y.O. Integration of Solar Energy Supply on Smart Distribution Board Based on IoT System. *Designs* 2022, 6, 118.
- [18] Panagopoulos, O.; Argiriou, A.A. Low-Cost Data Acquisition System for Solar Thermal Collectors. *Electronics* 2022, 11, 934.
- [19] Ninsawat, S.; Hossain, M.D. Identifying Potential Area and Financial Prospects of Rooftop Solar Photovoltaics (PV). *Sustainability* 2016, 8, 1068.
- [20] Sakti, A.D.; Ihsan, K.T.N.; Anggraini, T.S.; Shabrina, Z.; Sasongko, N.A.; Fachrizal, R.; Aziz, M.; Aryal, J.; Yuliarto, B.; Hadi, P.O.; et al. Multi-Criteria Assessment for City-Wide Rooftop Solar PV Deployment: A Case Study of Bandung, Indonesia. *Remote Sens.* 2022, 14, 2796.
- [21] Huang, Y.; Chen, Z.; Wu, B.; Chen, L.; Mao, W.; Zhao, F.; Wu, J.; Yu, B. Estimating Roof Solar Energy Potential in the Downtown Area Using a GPU-Accelerated Solar Radiation Model and Airborne LiDAR Data. *Remote Sens.* 2015, 7, 17212–17233.

- [22] Zhu, R.; Wong, M.S.; You, L.; Santi, P.; Nichol, J.; Ho, H.C.; Lu, L.; Ratti, C. The effect of urban morphology on the solar capacity of three-dimensional cities. *Renew. Energy* 2020, 153, 1111–1126.
- [23] Huang, Z.; Mendis, T.; Xu, S. Urban solar utilization potential mapping via deep learning technology: A case study of Wuhan, China. *Appl. Energy* 2019, 250, 283–291.
- [24] Brito, M.C.; Redweik, P.; Catita, C.; Freitas, S.; Santos, M. 3D Solar Potential in the Urban Environment: A Case Study in Lisbon. *Energies* 2019, 12, 3457.
- [25] Kosovic, I.N.; Mastelic, T.; Ivankovic, D. Using Artificial Intelligence on environmental data from Internet of Things for estimating solar radiation: Comprehensive analysis. *J. Clean. Prod.* 2020, 266, 121489.
- [26] Alassery, F.; Alzahrani, A.; Khan, A.I.; Irshad, K.; Islam, S. An artificial intelligence-based solar radiation prophesy model for green energy utilization in energy management system. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2022, 52, 102060.
- [27] Du, B.; Lund, P.D.; Wang, J. Improving the accuracy of predicting the performance of solar collectors through clustering analysis with artificial neural network models. *Energy Rep.* 2022, 8, 3970–3981.
- [28] Pang, Z.; Niu, F.; O'Neill, Z. Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons. *Renew. Energy* 2020, 156, 279–289.
- [29] Wu, J.; Qin, W.; Wang, L.; Hu, B.; Song, Y.; Zhang, M. Mapping clear-sky surface solar ultraviolet radiation in China at 1 km spatial resolution using Machine Learning technique and Google Earth Engine. *Atmospheric Environ.* 2022, 286, 119219.
- [30] Núñez-Reyes, A.; Ruiz-Moreno, S. Spatial Estimation of Solar Radiation Using Geostatistics and Machine Learning Techniques. *IFAC-Papers* 2020, 53, 3216–3222.
- [31] Dobrilovic, D.; Pekez, J.; Desnica, E.; Radovanovic, L.; Palinkas, I.; Mazalica, M.; Djordjević, L.; Mihajlovic, S. Data Acquisition for Estimating Energy-Efficient Solar-Powered Sensor Node Performance for Usage in Industrial IoT. *Sustainability* 2023, 15, 7440.
- [32] Dobrilovic, D.; Brtko, V.; Stojanov, Z.; Jotanovic, G.; Perakovic, D.; Jausevac, G.A. Model for Working Environment Monitoring in Smart Manufacturing. *Appl. Sci.* 2021, 11, 2850.
- [33] Dobrilovic, D.; Malic, M.; Malic, D.; Sladojevic, S.; Dalibor, D.; Milan, M.; Dušan, M.; Srđan, S. Analyses and optimization of Lee propagation model for LoRa 868 MHz network deployments in urban areas. *J. Eng. Manag. Compet.* 2017, 7, 55–62.
- [34] Dobrilović, D.; Brtko, V.; Jotanović, G.; Stojanov, Ž.; Jauševac, G.; Malić, M. The urban traffic noise monitoring system based on LoRaWAN technology. *Wirel. Networks* 2022, 28, 441–458.
- [35] Flammini, F.; Gaglione, A.; Tokody, D.; Dobrilovic, D. LoRa WAN Roaming for Intelligent Shipment Tracking. In *Proceedings of the 2020 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT)*, Dubai, United Arab Emirates, 12–16 December 2020; pp. 1-2.

- [36] Dobrilovic, D.; Pekez, J.; Ognjenovic, V.; Desnica, E. Analysis of Using Machine Learning Techniques for Estimating Solar Panel Performance in Edge Sensor Devices. *Appl. Sci.* 2024, 14, 1296.
- [37] Dobrilović, D.; Petrović, D.; Malić, M. Usability of open-source hardware based platform for indoor positioning systems. *J. Eng. Manag. Compet.* 2018, 8, 113–120.
- [38] Malik, P.K.; Sharma, R.; Singh, R.; Gehlot, A.; Satapathy, S.C.; Alnumay, W.S.; Pelusi, D.; Ghosh, U.; Nayak, J. Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art. *Comput. Commun.* 2021, 166, 125–139
- [39] Iftikhar, S.; Gill, S.S.; Song, C.; Xu, M.; Aslanpour, M.S.; Toosi, A.N.; Du, J.; Wu, H.; Ghosh, S.; Chowdhury, D.; et al. AI-based fog and edge computing: A systematic review, taxonomy and future directions. *Internet Things* 2023, 21, 100674.
- [40] Firouzi, F.; Farahani, B.; Marinšek, A. The convergence and interplay of edge, fog, and cloud in the AI-driven Internet of Things (IoT). *Inf. Syst.* 2022, 107, 101840.
- [41] Gill, S.S.; Xu, M.; Ottaviani, C.; Patros, P.; Bahsoon, R.; Shaghaghi, A.; Golec, M.; Stankovski, V.; Wu, H.; Abraham, A.; et al. AI for next generation computing: Emerging trends and future directions. *Internet Things* 2022, 19, 100514.
- [42] Pedregosa, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A.; Michel, V.; Thirion, B.; Grisel, O.; Blondel, M.; Prettenhofer, P.; Weiss, R.; Dubourg, V.; et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *J. Mach. Learn. Res.* 2011, 12, 2825–2830.
- [43] Chollet, F. Keras. 2015. Доступно онлајн: <https://keras.io> (приступљено 10. Јун 2024.).

Радови категорије M20

1. Dobrilović, D., Pekez, J., Ognjenovic, V., Desnica, E. Analysis of Using Machine Learning Techniques for Estimating Solar Panel Performance in Edge Sensor Devices. Appl. Sci. 2024, 14, 1296. <https://doi.org/10.3390/app14031296> **M22**
2. Dobrilović, D., Pekez, J., Desnica, E., Radovanović, Lj., Palinkaš, I., Mazalica, M., Đorđević, L., Mihajlović, S., Data Acquisition for Estimating Energy-Efficient Solar-Powered Sensor Node Performance for Usage in Industrial IoT, Sustainability 2023, 15, 7440. (This article belongs to the Special Issue Industry 4.0: Quality Management and Technological Innovation), <https://doi.org/10.3390/su15097440> **M22**

Радови категорије M50

1. Pekez, J., Desnica, E., Radovanović, Lj., Dobrilović, D., Radosav, D., Palinkaš, I., The importance of solar resource usage in internet of things (IoT), ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XX (2022), Fascule 2 (May), pp. 45-48, ISSN 1584 – 2665 <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2022/ANNALS-2022-2-06.pdf> **M53**

Радови категорије M30

1. Dobrilovic, D., Approach In Using Open-Source Hardware in Teaching Solar-Powered IoT Node Development, Proceedings of the International Scientific Conference “Informatics, Mathematics, Education and their Applications” - IMEA’2022, 23-25 November 2022, Pamporovo, Bulgaria. **M31**
2. Desnica, E., Pekez, J., Dobrilović, D., Radovanović, Lj., Radosav, D., Đorđević, L., Mazalica, M., Mihajlović, S., Research in the field of renewable energy through the application of modern ICT technologies, VI International Conference on Mechanical Engineering Technologies and application (COMETa 2022), Istočno Sarajevo, 17.-19. november 2022. pp. 712-718 (ISBN 978-99976-947-6-8) **M33**
3. Mazalica, M., Mihajlović, S., (menthows prof. dr Dalibor Dobrilović, prof. dr Dragica Radosav), Approach in mapping solar radiation data in geographic information system, 8. International Symposium »Brainstorming in Agora Students Scientific Circle – BACStud2022«, Agora University of Oradea, October 13-15., 2022, Oradea, Romania, pp. 15-20 (ISBN 978-973-1807-63-8) **M33**
4. Radosav, D., Desnica, E., Pekez, J., Dobrilović, D., Radovanović, Lj., Mazalica, M., Mihajlović, S., Đorđević, L., Possibility of using solar energy sources within of smart technologies, International conference on Applied Internet and Information Technologies AIIT, Zrenjanin, 14. october 2022., pp. (. (ISBN 978-86-7672-361-4) pp. 167-172 **M33**
5. Mihajlović, S., Ivetić, D., Berković, I., Dobrilović, D., Thermal Images Analyzes of Platform for Solar Radiation Data Acquisition, International conference on Applied Internet and Information Technologies AIIT, Zrenjanin, 14. october 2022., pp. (ISBN 978-86-7672-361-4) pp. 269-275 **M33**
6. Desnica, E., Dobrilović, D., Pekez, J., Đorđević, L., Palinkaš, I., The importance of new technologies in the education and professional development of future engineers in the technical profession, 24th International Conference on »Innovations in Science & Technology« (MIST 23), 14.-16. june 2023. Milan, Italy, pp. 1-8 (ISBN 978-989-9121-25-6) <https://doi.org/10.17758/HEAIG13> **M33**
7. Mihajlović, S., (menthows. prof dr Dalibor Dobrilović, prof. dr Jasmina Pekez), THE APPROACH IN USING SUPPORT VECTOR REGRESSION (SVR) IN SOLAR PANEL PERFORMANCE ANALYSES, 9. International Symposium »Brainstorming in Agora Students Scientific Circle – BACStud2023«, Agora University of Oradea, October 12-14., 2023, Oradea, Romania. pp. 4-13 (ISBN 978-973-1807-63-8) **M33**
8. Mazalica, M., Borovina, J., (menthows. prof dr Dalibor Dobrilović, prof. dr Eleonora Desnica) Usage of python and scikit-learn regressors in solar radiation data analyses, 9. International Symposium »Brainstorming in Agora Students Scientific Circle – BACStud2023«, Agora University of Oradea, October 12-14., 2023, Oradea, Romania. pp. 31-39 (ISBN 978-973-1807-63-8) **M33**
9. Mihajlović S., Ivetić D., Berković I., Dobrilović D.: Use of Python and OpenCV in thermal image processing, XIII International conference on Applied Internet and Information Technologies – AIIT, 13. Oktobar, 2023, Bitola, Macedonia, (In Press) **M33**

10. Mihajlović S., Mazalica M., Borovina J., Dobrilović D., Pekez J.: Light sensor analyses for usage in open-source hardware platforms for solar data acquisition, XIII International conference on Applied Internet and Information Technologies – AIIT, 13. Oktobar **M33**

Листа раније прихваћених техничких решења за сваког коаутора појединачно

Р.бр.	Назив техничког решења или патента	Аутори решења	Категорија решења	Година
1.	Веб сервис за аутоматску анализу података базиран на систематској синтаксној класификацији	Владимир Бртка, Жељко Стојанов, Далибор Добриловић, Ивана Берковић, Весна Јевтић, Елеонора Бртка,	M85	2023
2.	Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара	Далибор Добриловић, Весна Јевтић, Иван Бекер,	M85	2023
3.	Експериментално постројење за калибрацију челичне траке и израду пуњене жице	Бајић, Н., Ракин, М., Пекез, Ј.	M83	2010.
4.	Ниско и високо легиране пуњене жице за ЕПП поступак заваривања	Бајић, Н., Ракин, М., Пекез, Ј.	M81	2010.
5.	Нисколегирана пуњена жица за заваривање МАГ поступком, Ознака производа ИХИС PZ-Ni1MoTi	Бајић, Н., Ракин, М., Вељић, Д., Стојадиновић, С., Пекез, Ј.	M82	2011.
6.	Нова специјална електрода добијена облагањем пуњене шипке	Бајић, Н., Ракин, М., Вељић, Д., Мрдак, М., Стојадиновић, С., Пекез Ј.	M82	2013.
7.	Нови технолошки поступак израде језгра и облоге рутилне и базичне електроде	Бајић, Н., Ракин, М., Вељић, Д., Мрдак, М., Стојадиновић, С., Пекез Ј.	M83	2014.
8.	Нови технолошки поступак израде цевасте електроде за тврдо наваривање	Бајић, Н., Ракин, М., Вељић, Д., Мрдак, М., Пекез, Ј., Карастојковић, З.	M83	2015.
9.	Технолошко техничко решење производне линије за транспорт и складиштење кварцног песка, цемента и адитива	Толмач, Д., Првуловић, С., Десница, Е., Радовановић, Љ., Пекез,Ј., Толмач, Ј., Палинкаш, И.	M84	2017.
10.	Електрична кочница за симулацију оптерећења на лабораторијско опитном столу ЕК 3/28	Ашоња, А., Адамовић, Ж., Глигорић, Р., Генедиевич Пастухов, А., Савин, Л., Томић, М., Симикић, М., Десница, Е., Микић, Д.	M84	2012.
11.	Лабораторијско - опитни сто за испитивање поузданости пољопривредних карданских вратила „АНА“ тип 23-26-26-04	Ашоња, А., Адамовић, Ж., Глигорић, Р., Генедиевич Пастухов, А., Савин, Л., Томић, М., Симикић, М., Десница, Е., Микић, Д.	M83	2012.

Предмет: Мишљење корисника техничког решења

Назив техничког решења: Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

Аутори техничког решења: Д. Добриловић, Ј. Пекез, Е. Десница, И. Палинкаш, Љ. Радовановић, С. Михајловић, М. Мазалица, Л. Ђорђевић

Опис техничког решења

Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже представља решење које се заснива на хардверу и софтверу отвореног кода. На тај начин је омогућено лако прилагођавање и надограђивање платформе, а све у складу са специфичним потребама самог корисника.

Техничко решење користи микроконтролерску јединицу Arduino Uno повезану на скуп сензора за мерење параметара (температура, влажност ваздуха, интензитета светлости, УВ зрачења, јачина електричне енергије и електрични напон) који су широко доступни и јефтини, а опет квалитетни, прецизни и поуздани. Такође, платформа даје могућност прикупљања измерених података у реалном времену применом комуникационог модула који зависи од мреже чији је део сензорска станица и покривености.

Мишљење корисника

Платформа представља идеално решење за имплементацију у настави са више аспеката:

- цена израде сензорске станице је мала а појединачни делови су веома доступни, што даје могућност студентима да врше и самостална истраживања и изградњу сензорске станице.
- имплементација сензорске станице, обзиром да поседује соларно напајање, може да буде на различитим локацијама, а величина сензорске станице пружа лаку мобилност.
- анализом података са платформе може се сагледати важност појединачних параметара у области соларне енергије као и боље разумевања утицаја анализираних параметара за ефикасније искоришћење соларног потенцијала.
- анализом елемената, њихове повезаности и функционисања долази се до бољег разумевања рада сензорских станица, а студенти се могу обучити за програмирање и дизајн енергетски ефикасних соларно напајаних сензорских станица.

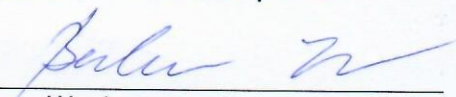
Закључак

Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже је погодна за коришћење у наставном процесу за едукацију студената у разним областима: програмирање микроконтролера за рад са сензорима, анализа рада соларно напајаних система, анализа параметара који утичу на рад фотонапонских

соларних постројења као алтернативног извора енергије, методе и начин функционисања сензорске платформе. Такође, платформа је уз релативно мала улагања доступна студентима како за индивидуална тако и за групна научна истраживања.

У Зрењанину, 13.12.2024. године

Корисник техничког решења



Шеф катедре за
информационе технологије

Технички факултет „Михајло
Пупин“, Зрењанин

Predmet: Mišljenje korisnika tehničkog rešenja:

Platforma za laboratorijska istraživanja i edukaciju u oblasti merenja solarne radijacije sa orijentacijom na senzorske mreže

D, Dobrilović, J. Pekez, E. Desnica, I. Palinkaš, Lj. Radovanović,
S. Mihajlović, M. Mazalica, L. Đorđević

Opis tehničkog rešenja

Platforma za laboratorijska istraživanja i edukaciju u oblasti merenja solarne radijacije sa orijentacijom na senzorske mreže se bazira na hardveru i softveru otvorenog koda, što omogućava lako prilagođavanje i nadogradnju u skladu sa specifičnim potrebama korisnika. Ovaj pristup pruža slobodu u modifikaciji i optimizaciji sistema za različite aplikacije.

Tehničko rešenje koristi visokokvalitetne senzore kao što su DHT-22 za temperaturu i vlažnost, UV senzor, senzore za napon i struju, senzore za nivo koncentracije metana, kiseonika i H₂S (vodonik-sulfid). Postojenja su opremljena ovom vrstom senzora ali samo u blizini upravljackog objekta. Postavljanje senzora na udaljenijom mestima u okolini pogona, omogućilo bi precizno prikupljanje podataka o različitim fizičko - hemijskim karakteristikama kvaliteta vazduha na nivou pogona i ugroženost urbanih sredina u slučajevima kada se pogon nalazi u neposrednoj blizini kuća i drugih proizvodnih pogona, industrijskim zonama. Povezivanje mikrokontrolera sa računarom omogućava lako praćenje i analizu podataka u realnom vremenu.

Platforma pruža mogućnost praćenja niza ključnih parametara kao što su napon i struja generisan iz solarnog panela, stanje punjenja baterija, temperature površine panela, ambijentalnih uslova (vlažnosti, temperature i svetlosnog intenziteta, nivo metana, kiseonika i vodonik sulfida u okolini) i dodatni faktori poput prašine i detekcije kiše.

Mišljenje korisnika

Temperatura je ključni parametar u procesima fermentacije u biogasnim postrojenjima. Vlažnost je takođe važan faktor, posebno za procese skladištenja i transporta biomase, kao i za održavanje optimalnih uslova u prostorijama.

Tehničko rešenje koristi visokokvalitetne senzore kao što su DHT-22 za temperaturu i vlažnost, te se platforma dobro pokazala pri merenju ambijentalne temperature i vlažnosti vazduha na prostoru za skladištenje biomase i ostataka proizvodnje (tečni i čvrsti digestata). Činjenica da platforma koristi solarno napajanje predstavlja značajnu prednost za primenu u biogasnim postrojenjima, posebno u situacijama kada su biogasna postrojenja smeštena u ruralnim ili izolovanim područjima gde nema stabilnog električnog napajanja.

U slučajevima kada dodje do nestanka električne energije u energetske mreže EPS - a, u pogonu se desi kratki zastoj u pogledu očitavanja parametara dok se ne pokrene alternativni generator za napajanje. Solarno napajanje u tom slučaju omogućava neprekidan rad senzorske stanice bez potrebe za dodatnom infrastrukturom za napajanje.

Platforma sa solarnim napajanjem može se lako instalirati na različitim lokacijama u okviru postrojenja, čak i na mestima gde nije praktično postaviti električne kablove, poput udaljenih skladišta biomase. Solarno napajanje je u skladu sa principima održivosti koje promovišu biogasna postrojenja.

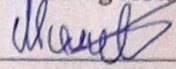
Korišćenjem obnovljivih izvora energije za napajanje monitoring sistema, dodatno se smanjuje emisija ugljen-dioksida i povećava ekološka prihvatljivost celokupnog postrojenja. Čak i u postrojenjima koja imaju električnu mrežu, solarno napajanje senzorske platforme osigurava rad sistema za monitoring u slučaju nestanka struje, što je ključno za praćenje parametara poput temperature i pritiska.

Zaključak

Solarno napajanje senzorske stanice je velika prednost za primenu u biogasnim postrojenjima, jer omogućava veću fleksibilnost, smanjuje zavisnost od mrežnog napajanja i doprinosi održivom poslovanju. Ova karakteristika čini platformu posebno pogodnom za rad u ruralnim i izolovanim oblastima ali i za unapređenje ekoloških performansi postrojenja.

U Novom Sadu,
10. 12.2024.g.

Korisnik tehničkog rešenja



Bojan Milić, direktor

Alter, BioGas I, Narodnog fronta 21a, Novi Sad



Број: 01- 2344/6.4
Датум: 05.07.2024. године

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Са **52.** седнице Наставно – научног већа Техничког факултета „ Михајло Пупин“ Зрењанин одржане 05.07.2024. године у 12,00 часова – АМФ.

Тачка 6. Разматрање записника Катедре за машинско инжењерство од 3.7.2024.

Тачка 6.4 Техничко решење

Катедра је предложила да се усвоји предлог **Новог техничког решења у фази реализације**, категорије **M85** и рецензената.

Назив техничког решења: Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

Аутори техничког решења: Далибор Добриловић, Јасмина Пекез, Елеонора Десница, Иван Палинкаш, Љиљана Радовановић, Синиша Михајловић, Милица Мазалица, Лука Ђорђевић.

Предложени рецензенти:

1. Проф. др Срђан Попов, Редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
2. Проф. др Милан Рацков, Редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
3. Проф. др Жељко Стојанов, Редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.

Након изјашњавања, сви присутни чланови Наставно - научног већа су гласали „ЗА“, па је констатовано да је једногласним гласањем донета следећа:

ОДЛУКА

Усваја се предлог **Новог техничког решења у фази реализације**, категорије **M85** и рецензената у свему како је горе наведено.



Председник Наставно - научног већа
Проф. др Милан Николић

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Назив техничког решења: Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

Аутори техничког решења:

- Др Далибор Добриловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- Др Јасмина Пекез, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- Др Елеонора Десница, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- Др Иван Палинкаш, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- Др Љиљана Радовановић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- МСц Синиша Михајловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- МСц Милица Мазалица, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
- МСц Лука Ђорђевић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду

Година израде и почетка примене техничког решења: 2024.

Корисници техничког решења:

- Alter, BioGas I, Народног фронта 21а, Нови Сад
- Технички факултет „Михајло Пупин“, Ђуре Ђаковића бб, Зрењанин

Научна област на коју се техничко решење односи: Информационе технологије, Машинско инжењерство

Опис техничког решења: У оквиру техничког решења реализована је платформа заснована на хардверу и софтверу отвореног кода. Платформа се састоји од широко доступних електронских компоненти ниске цене. Поред микроконтролера, платформа садржи соларне елементе (соларни панел, пуњач, батерија) и сензоре (напона, интензитета светлости, температуре и влажности ваздуха). Платформа се може користити за прикупљање и логовање података о сунчевом зрачењу, који се касније могу користити за анализу перформанси соларног панела и утицаја мерених вредности на његове перформансе. Микроконтролер који се користи у платформи за тестирање је Arduino UNO. Arduino UNO је повезан са експанзионим модулом (*eng. shield*). Arduino шаље податке на рачунар преко серијске магистрале (USB). Arduino UNO је програмиран је да чита податке са сензора напона и шаље их на рачунар преко USB-а. Компјутер чита податке послате на COM порт и евидентира их у CSV датотеку. Контролно мерење се врши помоћу дигиталног мултиметра (DMM) који је повезан са рачунаром преко USB-а. Подаци се шаљу на рачунар, где се програм за читање дигиталног мултиметра отвореног кода UltraDMM користи за визуелизацију и евидентирање података. Оба уређаја су повезана паралелно са соларним панелом. Остале компоненте платформе су: (3) DHT-22 сензор за температуру и влажност ваздуха, TMP36 сензор за температуру соларног панела, светлостни BH1750 сензор за

интензитет светлости, УВ сензори, сензор напона, соларни панел $130 \times 87 \times 2,5$ mm (ефикасност 16%, 5,5 V, 3 W, вршна струја 270 mA). Анализом прикупљених података и уз помоћ машинског учења иста платформа се може користити у развоју техника за процену сунчевог зрачења коришћењем вештачке интелигенције у рачунарству на ивици (енг. edge intelligence). Имплементација вештачке интелигенције је заснована је на програмском језику Python и библиотекама Scikit-learn и micromlgen.

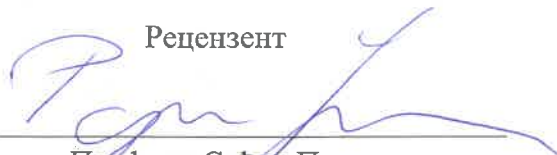
Могућност примене техничког решења: Креираном платформом омогућена је аквизиција података о соларном зрачењу. Анализом прикупљених података добија се увид у перформансе соларних панела. На основу тога, може се конструисати сензорска станица са соларним напајањем која може да буде независна од напајања електричном енергијом преко електроенергетске мреже.

Као таква, платформа се може користити као независна сензорска станица или као део мреже сензорских станица за праћење различитих параметара окружења. С обзиром да је платформа заснована на хардверу и софтверу отвореног кода, а економски је доступна, може се користити као сврсисходно учило код студената који развијају вештине програмирања сензорских мрежа, развој хардверских решења бежичних сензорских мрежа као и употпуњавање области обновљивих извора енергије, у овом случају соларне енергије.

Закључак: На основу претходно наведеног, а према правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС, бр. 24/2016 и бр. 21/2017), техничко решење под називом „Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже“ испуњава услове за прихватање у категорију М85 – Ново техничко решење у фази реализације.

У Новом Саду
23.12.2024.

Рецензент



Проф. др Срђан Попов
Факултет техничких наука,
Универзитет у Новом Саду

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Назив техничког решења:
Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже
Аутори техничког решења:
Др Далибор Добриловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду Др Јасмина Пекез, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду Др Елеонора Десница, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду Др Иван Палинкаш, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду Др Љиљана Радовановић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду МСц Синиша Михајловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду МСц Милица Мазалица, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду МСц Лука Ђорђевић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
Пројекат у оквиру којег је техничко решење развијано:
„Стварање лабораторијских услова за истраживање, развој и едукацију у области употребе соларних ресурса у Интернету ствари (ИоТ)“, број пројекта 142-451-3118/2022-01, финансираног од стране Покрајинског секретаријата за високо образовање, Аутономне покрајине Војводине
Област примене:
Анализа, планирање и дизајн бежичних сензорских платформи, алтернативни извори енергије, информационе технологије, машинско инжењерство, едукација
Корисници решења:
Технички факултет „Михајло Пупин“, Ђуре Ђаковића бб, Зрењанин Алтер, БиоГас I, Народног фронта 21а, Нови Сад
Година израде и почетка примене техничког решења:
2024. година
Категорија техничког решења:
Ново техничко решење у фази реализације (M85)
Подаци о рецезенту:
Проф. др Милан Рацков, Редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Мишљење рецезента о техничком решењу:

На основу достављене документације извршена је рецензија техничког решења *Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже*, које је реализовано у склопу пројекта:

У оквиру техничког решења реализована је платформа заснована на хардверу и софтверу отвореног кода. Платформа се састоји од широко доступних електронских компоненти ниске цене. Поред микроконтролера, платформа садржи соларне елементе (соларни панел, пуњач, батерија) и сензоре (напона, интензитета светлости, температуре и влажности ваздуха). Платформа се може користити за прикупљање и логовање података о сунчевом зрачењу, који се касније могу користити за анализу перформанси соларног панела и утицаја мерених вредности на његове перформансе.

Иста платформа се може користити у настави за обуку студената за програмирање и дизајн енергетски ефикасних соларно напајаних сензорских станица и за анализу рада соларно напајаних система.

Креирана платформа може се користити на различитим локацијама, независно од извора напајања (обзиром да користи соларну енергију за рад) у сврху мерења и праћења параметара окружења. Платформа може радити индивидуално или као део сензорске мреже. Друга сврха употребе ове платформе је за реализацију научних истраживања и едукацију студената (програмирање соларно напајаних сензорских станица, анализа рада сензора, анализа параметара окружења у различитим процесима).

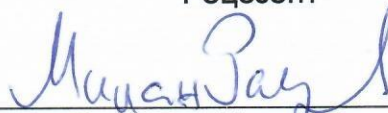
Употребом ове платформе омогућено је прикупљање података, како о сунчевом зрачењу и његовом утицају на сам ПВ панел, тако и о свим осталим елементима окружења где је платформа постављена. Прикупљени подаци могу нам дати увид у рад сензорске платформе у сврху унапређења и креирања нових аутономних сензорских решења.

Закључак:

Према правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС, бр. 24/2016 и бр. 21/2017), техничко решење под називом *Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже* испуњава услове за прихватање у категорију M85 – *Ново техничко решење у фази реализације*.

У Новом Саду, 17.12.2024.

Рецезент



Проф. др Милан Рацков
Факултет техничких наука
Универзитет у Новом Саду

РЕЦЕНЗИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Назив техничког решења

Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже

Аутори техничког решења

Др Далибор Добриловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
Др Јасмина Пекез, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
Др Елеонора Десница, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
Др Иван Палинкаш, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
Др Љиљана Радовановић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
МСц Синиша Михајловић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
МСц Милица Мазалица, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду
МСц Лука Ђорђевић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин, Универзитет у Новом Саду

Образложење

Корисници решење

1. Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
2. Alter, BioGas I, Народног фронта 21а, Нови Сад

Година израде и почетка примене техничког решења

2024.

Област и научну дисциплину на којој се техничко решење односи

Машинско инжењерство, Информационе технологије

Проблем који се решава техничким решењем

Креирана платформа омогућује прикупљање података о соларној радијацији у облику који омогућује анализу утицаја соларне радијације на перформансе соларних панела. Такође, на основу анализе прикупљених података могуће је дизајнирати и програмирати соларно напајане сензорске станице.

Опис техничког решења

Креирана платформа за прикупљање и анализу података о соларној радијацији је базирана на хардверу и софтверу отвореног кода. Основни хардверски елементи платформе су микроконтролер, соларни панел, пуњач батерија и сензори напона, интензитета свтлости, температуре и влажности ваздуха. Прикупљени подаци о соларној радијацији се могу складиштити и касније употребити за израчунавање перформанси соларног панела. Подаци који се прикупљају се односе на струју и напон на излазу соларног панела, струја и напон за пуњење батерија, и амбијентални подаци (температура површине соларног панела, температура и влажност ваздуха, интензитет светлости, прашина и детекција кише).

Приказана је детаљна архитектура потпуно опремљене сензорске платформе за прикупљање података о соларном зрачењу, са фокусом на микроконтролерску јединицу, комуникациони подсистем и изабране сензоре. Прототип платформе је базиран на микроконтролеру Arduino UNO, који је повезан серијском

везом са персоналним рачунаром. Елементи платформе су: Arduino UNO Rev3; Сензор напона; Сензор светлости - BH1750; УВ сензор; DHT-22 сензори температуре и влажности; TMP36 сензор температуре за температуру панела; Рачунар за екстерну обраду података; Соларни панел: димензија 81 × 137 mm, снаге 1.5 W, 270 mA, 5.5 V.

Тестирање платформе је реализовано експериментом који је садржао две фазе:

(1) Провера тачност сензора напона.

(2) Одређивање односа између напона и других измерених вредности (температура панела, температура и влажност ваздуха, УВ и интензитет сунчеве светлости).

Могућности примене техничког решења

Креирана платформа се може користити у оквиру сложених техничких система базираним на сензорским станицама за праћење параметара окружења и у системима за управљање енергијом.

Поред ове практичне примене предложене платформе, она се може користити и у настави за обуку студената за дизајн и програмирање енергетски ефикасних соларно напајаних сензорских станица, али и за анализу рада соларно напајаних система.

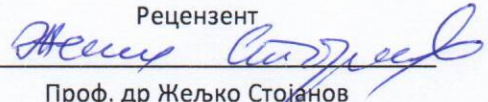
Закључак

На основу свега наведеног, као рецензент оцењујем да резултат научно истраживачког рада под називом „Платформа за лабораторијска истраживања и едукацију у области мерења соларне радијације са оријентацијом на сензорске мреже“ према правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донет 2017. године („Сл. гласник РС, бр. 24/2016 и бр. 21/2017) испуњава услове за прихватање у категорију научно-истраживачких резултата **Ново техничко решење у фази реализације (M85)**.

У Зрењанину

13.12.2024.

Рецензент



Проф. др Жељко Стојанов

Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Универзитет у Новом Саду