

Domagoj Zimmer<sup>1</sup>, Luka Šumanovac<sup>1</sup>, Mladen Jurišić<sup>1</sup>, Petar Lukač<sup>1</sup>,  
Matej Balen<sup>1</sup>, Stjepan Sito<sup>2</sup>

Stručni rad

## Uporaba Arduino tehnologije u zaštiti bilja u Republici Hrvatskoj

### Sažetak

Ovaj rad istražuje primjenu Arduino platforme, sustava otvorenog koda, kao visokoučinkovitog alata u modernoj zaštiti bilja. Zahvaljujući modularnosti hardvera i fleksibilnosti softverskog sučelja, Arduino omogućuje precizno prikupljanje ekoloških podataka u realnom vremenu te automatizaciju sustava odgovora na abiotičke i biotičke čimbenike. Primarni cilj istraživanja bio je analizirati operativne mogućnosti navedene tehnologije u zaštiti nasada od štetnog djelovanja životinja, ekstremnih oborina i požara. Analiza obuhvaća integraciju različitih senzorskih modula koji omogućuju rano otkrivanje ugroza i pravovremenu aktivaciju zaštitnih mehanizama. Rezultati upućuju na to da implementacija ovakvih sustava značajno pridonosi smanjenju rizika u poljoprivrednoj proizvodnji uz optimizaciju ekonomskih troškova.

**Ključne riječi:** Arduino, Internet of Things, precizna poljoprivreda, zaštita bilja

### Uvod

Arduino predstavlja otvorenu elektroničku platformu koja je značajno doprinijela demokratizaciji tehnologije i ubrzanju procesa prototipiranja u različitim disciplinama. Sustav integrira pristupačno hardversko i softversko sučelje, omogućujući učinkovitu kontrolu senzora i aktuatora te rješavanje kompleksnih tehničkih problema neovisno o razini predznanja korisnika. Zbog svoje modularnosti i snažne podrške globalne zajednice, platforma nalazi široku primjenu u automatizaciji, preciznoj poljoprivredi i interaktivnom dizajnu, služeći kao ključan alat za inovacije i interdisciplinarna istraživanja (Severence, 2014.). Projekt Arduino proizašao je iz inicijative na Interaction Design Institute Ivrea (IDII) u Italiji s primarnim ciljem razvoja pristupačnih i ekonomski isplativih alata za digitalno projektiranje namijenjenih ne-inženjerima (Kushner, 2011.). Temelji platforme postavljeni su 2004. godine kroz rad Hernanda Barragána, koji je pod mentorstvom Massima Banzija i Caseyja Reasa razvio sustav Wiring. Navedeni je sustav integrirao tiskanu pločicu s mikrokontrolerom ATmega128 te razvojno okruženje (IDE) temeljeno na procesnim funkcijama. Godine 2005. Banzi, David Mellis i David Cuartielles nadograđuju Wiring uvođenjem podrške za troškovno povoljniji mikrokontroler ATmega8, čime se formira zaseban projekt pod nazivom Arduino. Distribucijom lakših i cjenovno dostupnijih verzija unutar zajednice otvorenog koda, platforma doživljava eksponencijalni rast; do 2013. godine evidentirano je približno 700.000 službeno proizvedenih jedinica u širokoj uporabi (Barragán, 2016.). Arduino predstavlja ključni instrument za razvoj sustava u preciznoj poljoprivredi, omogućujući integra-

1 doc. dr. sc. **Domagoj Zimmer**, prof. dr. sc. **Luka Šumanovac**, prof. dr. sc. **Mladen Jurišić**, **Petar Lukač**,  
mr. sc. **Matej Balen**, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek,  
Vladimira Preloga 1, 31 000 Osijek, Hrvatska

2 prof. dr. sc. **Stjepan Sito**, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Hrvatska  
Autor za korespondenciju: [dzimmer@fazos.hr](mailto:dzimmer@fazos.hr)

ciju senzorskih mreža za monitoring edafskih i klimatskih čimbenika u realnom vremenu. Korištenjem podataka o vlažnosti tla, temperaturi i insolaciji, poljoprivrednici mogu vršiti ciljanu aplikaciju resursa, poput optimizacije sustava navodnjavanja, čime se postižu značajne uštede vode i energije (Schmidt, 2017.). Osim akvizicije podataka, platforma omogućuje visoku razinu automatizacije procesa, uključujući kontrolu mikroklimatskih uvjeta u zaštićenim prostorima i nadzor stočnog fonda. Ovakav pristup smanjuje operativne rizike, potiče ekološku održivost kroz racionalnu uporabu gnojiva i energenata te izravno utječe na profitabilnost i modernizaciju poljoprivredne proizvodnje (Schmidt, 2017.). Jedna od ključnih tehnoloških platformi koja igra značajnu ulogu u ostvarivanju ciljeva precizne poljoprivrede je Arduino. Precizna poljoprivreda predstavlja tehnološki utemeljen pristup optimizaciji poljoprivredne proizvodnje, a Zhang (2018.) temeljito istražuje njezine različite aspekte s posebnim naglaskom na primjenu Arduino tehnologije u prikupljanju i obradi podataka.

### **Pametna zaštita usjeva od životinja i vatre pomoću arduina**

U sustavu se koriste pasivni infracrveni senzor (PIR), senzor dima i GSM modul zajedno sa senzorom vlage u tlu dajući poljoprivrednicima više informacija o sadržaju vode prisutnoj u tlu. Kada se životinje približe PIR senzoru, on detektira pokret. Nakon dobivanja početnog ulaznog signala od toplog tijela, on se prosljeđuje na daljnju obradu, a zatim se prosljeđuje mikrokontroleru. Tada će se sustav aktivirati, odmah se uključuje zujalica i istovremeno šalje SMS poruku vlasniku. Mikrokontroler, odnosno Arduino UNO, koristi se za očitavanje ulaza iz PIR-a, senzora vlažnosti tla i senzora dima. GSM modul se koristi za slanje SMS-a poljoprivredniku kada se otkrije kretanje ili dim. Glavni cilj je pomoći poljoprivrednicima da zaštite svoje usjeve od životinja i požara. (Varshini i sur., 2021.).

### **Klasifikacija i tehničke karakteristike Arduino hardverskih skupina**

Portfolio Arduino (Slika 1.) hardverskih rješenja strukturiran je u specifične obitelji ploča, od kojih su najznačajnije Nano, MKR, Classic i Mega (Slika 2.). Unutar navedene klasifikacije, obitelj Nano ističe se kompaktnim faktorom oblika (eng. *small footprint*) te visokom gustoćom integriranih komponenti. Pojedini modeli unutar ove serije opremljeni su naprednim setom ugrađenih senzora za detekciju temperature, vlažnosti zraka, atmosferskog tlaka, gestikulacije i akustičnih signala. Značajan tehnološki iskorak predstavlja podrška za strojno učenje (eng. *Machine Learning*) i mogućnost programiranja putem MicroPython programskog jezika, što omogućuje implementaciju složenih algoritama izravno na rubnim uređajima — kompaktne računalne jedinice koje podatke prikupljene sensorima obrađuju izravno na mjestu njihova nastanka, čime omogućuju bržu reakciju sustava i smanjuju potrebu za slanjem velike količine informacija na udaljene poslužitelje (Arduino, 2024.).



**Slika 1.** Arduino uno pločica / **Figure 1.** Arduino uno board

(Izvor/Source: <https://www.conrad.hr/p/arduino-board-uno-rev3-smd-core-atmega328-191789>)



**Slika 2.** Arduino pločice iz obitelji Nano

**Figure 2.**

Arduino boards from the Nano family

(Izvor/Source: <https://www.arduino.cc/en/hardware>)



**Slika 3.** Arduino pločice iz obitelji MKR

**Figure 3.** Arduino boards from the MKR family

(Izvor/Source: <https://www.arduino.cc/en/hardware>)



**Slika 4.** Arduino pločice iz obitelji Mega

**Figure 4.** Arduino boards from the Mega family

(Izvor/Source: <https://www.arduino.cc/en/hardware>)



**Slika 5.** Arduino “štitevi” iz obitelji MKR

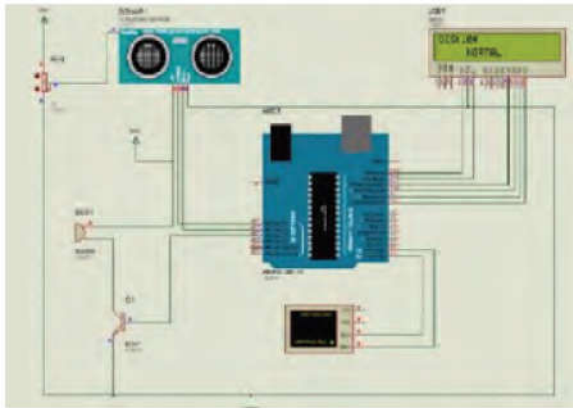
**Figure 5.** Arduino “shields” from the MKR family

(Izvor/Source: <https://www.arduino.cc/en/hardware>)

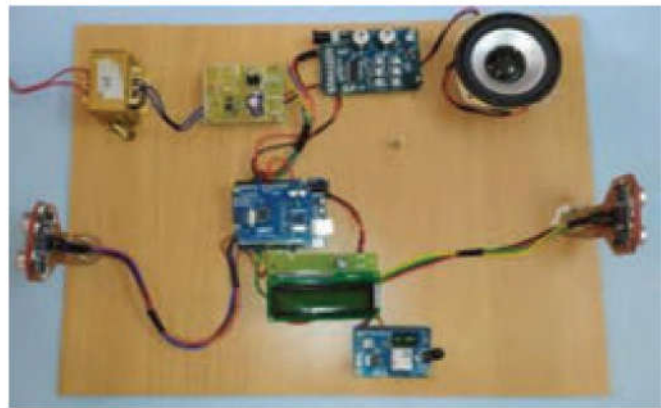
Obitelj MKR (Slika 3.) te Mega serija (Slika 4.) je ploča, štitova i nosača koji se mogu kombinirati za stvaranje nevjerojatnih projekata bez ikakvih dodatnih sklopova. Svaka ploča je opremljena radio modulom (osim MKR Zero), koji omogućuje Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, Sigfox, NB-IoT komunikaciju. Sve ploče u obitelji temeljene su na Arm Cortex-M0 32-bitnom SAMD21 procesoru male snage i opremljene su kriptičipom za sigurnu komunikaciju. Obitelj MKR štitovi i nosači dizajnirani su za proširenje funkcija ploče kao što su senzori okoliša, GPS, Ethernet, kontrola motora i RGB matrica (<https://www.arduino.cc/en/hardware>) (Slika 5.).

### Tehnička specifikacija i arhitektura sustava za zaštitu usjeva

Hardverska konfiguracija sustava za zaštitu usjeva temelji se na mikrokontrolerskoj platformi Arduino Uno, koja služi kao centralna jedinica za obradu podataka i upravljanje perifernim modulima. Sustav integrira ultrazvučni senzor za detekciju prisutnosti, GSM modul za udaljenu komunikaciju te integrirani krug (IC) za snimanje i reprodukciju zvuka povezan s audio izlazom (zvučnikom) u svrhu akustičnog odvratanja. Vizualni nadzor statusa sustava omogućen je putem LCD zaslona. Shematski prikaz strujnog kruga detaljno je prikazan na slici 6., dok je interkonekcija svih elektroničkih komponenti prikazana na slici 7.



**Slika 6.** Shema spajanja elemenata sustava zaštite usjeva / **Figure 6.** Scheme of connecting crop protection system elements (Izvor/Source: Gokul i sur., 2023)



**Slika 7.** Sustav u eksperimentalnoj fazi / **Figure 7.** System in the experimental phase (Izvor/Source: Gokul i sur., 2023)

### Tehnička specifikacija i funkcionalna analiza kompatibilnih senzorskih jedinica

Ultrazvučni senzor (Slika 8.) predstavlja elektromehanički uređaj dizajniran za precizno mjerenje udaljenosti ciljnog objekta putem emisije i recepcije visokofrekventnih zvučnih valova. Mehanizam detekcije temelji se na mjerenju vremena potrebnog za povrat reflektiranog vala, koji se potom konvertira u analogni ili digitalni električni signal. Za razliku od zvučnih valova unutar ljudskog čujnog spektra, ultrazvuk operira na frekvencijama iznad 20 kHz, zadržavajući pritom brzinu širenja zvuka karakterističnu za medij kroz koji prolazi. Hardverska arhitektura senzora sastoji se od dvije primarne komponente: odašiljača, koji generira ultrazvučni puls pobudom piezoelektričnih kristala, te prijemnika, čija je funkcija detekcija povratnog signala nakon refleksije od površine objekta (Gokul i sur., 2023.). Senzori dima (Slika 9.) predstavljaju detekcijske uređaje za indiciranje požara, temeljene na fotoelektričnom ili ionizacijskom principu. Za integraciju u elektroničke sustave često se koristi modul MQ-2, koji detektira prisutnost zapaljivih plinova (LPG, propan, vodik) i dima. Rad senzora zasniva se na promjeni električne vodljivosti poluvodičkog elementa proporcionalno koncentraciji ciljanog plina, što omogućuje primjenu u sustavima za detekciju curenja plina u kućnim i industrijskim uvjetima (Varshini i sur., 2021.). GSM modul (ili GSM modem) predstavlja komunikacijski uređaj (Slika 10.) koji implementira tehnologiju globalnog sustava za pokretne komunikacije (GSM) u svrhu uspostavljanja bežične podatkovne veze s mrežnom infrastrukturom. Široka primjena ovih modula obuhvaća mobilnu telefoniju te različite sustave za udaljeni nadzor i telemetriju koji zahtijevaju stalnu interakciju s mobilnim mrežama. Autentifikacija i identifikacija uređaja unutar mrežnog sustava ostvaruje se putem SIM (Subscriber Identity Module) kartice, čime se omogućuje siguran prijenos podataka i integracija u šire komunikacijske protokole (Gokul i sur., 2023.). U svrhu učinkovite obrade zvuka, koriste se specijalizirani integrirani krugovi (Slika 11.) koji omogućuju realizaciju funkcija snimanja i reprodukcije uz minimalne hardverske zahtjeve i smanjen opseg dizajnerskih intervencija (Gokul i sur., 2023.). Pasivni infracrveni (PIR) senzori (Slika 12.) predstavljaju detekcijske uređaje koji registriraju promjene u toplinskom zračenju unutar svog vidnog polja. Princip rada zasniva se na mjerenju varijacija intenziteta infracrvenog spektra koje emitiraju objekti u okolini, omogućujući detekciju gibanja na temelju razlike u toplinskoj emisiji između pozadine i pokretnog tijela. Ova tehnologija nalazi široku primjenu u sustavima za automatizaciju, sigurnosnu detekciju prisutnosti i energetski učinkovito upravljanje prostorima (Mrežna poveznica 1.). Senzori vlažnosti tla (Slika 13.) predstavljaju mjer-

nu tehnologiju za kvantifikaciju volumetrijskog udjela vode u tlu, s primjenom u preciznoj poljoprivredi i automatiziranim sustavima navodnjavanja. Implementacijom ovih senzora omogućuje se kontinuirani monitoring hidratacijskog statusa supstrata te optimizacija potrošnje vode prema specifičnim zahtjevima kultiviranih biljnih vrsta (Mrežna poveznica 2.).



**Slika 8.** Ultrazvučni senzor  
**Figure 8.** Ultrasonic sensor  
(Izvor/Source: <https://www.hackster.io/csw1/ultrasonic-sensor-with-arduino-uno-f33ca1>)



**Slika 9.** Senzor dima  
**Figure 9.** Smoke sensor  
(Izvor/Source: <https://in.pinterest.com/pin/arduino-projects-tutorials--805933295848076206/>)



**Slika 10.** GSM Modul  
**Figure 10.** GSM Module  
(Izvor/Source: <https://www.direnc.net/arduino-gsm-shield-sim800-en>)



**Slika 11.** IC za snimanje i reprodukciju zvuka  
**Figure 11.** IC for recording and playing sound  
(Izvor/Source: Gokul i sur., 2023.)



**Slika 12.** Pasivni infracrveni senzor  
**Figure 12.** Passive infrared sensor  
(Izvor/Source: <https://www.mpja.com/PIR-Motion-Detector-for-Arduino/productinfo/31227%20SC/>)



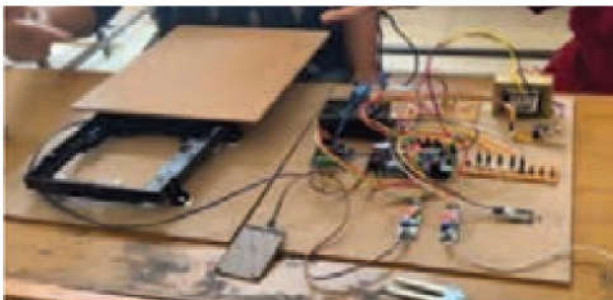
**Slika 13.** Senzor vlage u tlu  
**Figure 13.** Soil moisture sensor  
(Izvor/Source: <https://automation-roboticsarduino.com/products/soil-moisture-sensor>)

### Implementacija solarno napajanog automatiziranog sustava za zaštitu poljskih usjeva od oborina temeljenog na Arduino platformi i monitoringu razine vlage

U radu je predstavljen dizajn i implementacija autonomnog sustava za zaštitu poljoprivrednih kultura od atmosferskih utjecaja, energetski napajanog putem fotovoltaičkih modula. Integracijom senzora vlažnosti i temperature tla omogućeno je adaptivno upravljanje navodnjavanjem, dok IoT komunikacijski modul (ESP8266) omogućava prijenos telemetrijskih podataka na mobilnu platformu Blynk za daljinski monitoring i kontrolu aktuatora. Konvencionalne metode zaštite usjeva često pokazuju ograničenu učinkovitost u mitigaciji ekstremnih vremenskih pojava, poput intenzivnih oborina i toplinskog stresa, što može rezultirati smanjenjem vegetacijskog razvoja i prinosa. Razvijeni sustav adresira navedene izazove implementacijom automatiziranog mehanizma za zaštitu od prekomjerne vlage, čime se reducira rizik od fitopatoloških oboljenja uzrokovanih vodnim stresom. Arhitektura sustava temelji se na Arduino mikrokontroleru kao centralnoj upravljačkoj jedinici, na koju su integrirani senzor detekcije oborina, senzori vlažnosti i temperature, Wi-Fi modul te aktuatori za pokretanje zaštitnog pokrova i sustava navodnjavanja. Detekcija oborina inicira signal koji aktivira DC motor za zatvaranje zaštitne nadstrešnice, dok se podaci o stanju tla kontinuirano akviziraju i vizualiziraju putem korisničkog sučelja. Energetska autonomija sustava osigurana je iskorištavanjem solarne energije, čime se postiže održivost rada u udaljenim lokacijama (Keerthana i sur., 2023.).

Inicijalizacija sustava izvodi se aktivacijom glavnog napajanja, čime se uspostavlja električni kontinuitet u krugu i omogućuje rad mikrokontrolerske jedinice. Detekcija atmosfer-

skih oborina temelji se na kontinuiranom monitoringu izlaza senzora za kišu; kada detektirana vrijednost prijeđe unaprijed definirani prag, mikrokontroler procesira signal i aktivira DC motor za zatvaranje zaštitnog pokrova iznad usjeva. Paralelno s zaštitnom logikom, firmware sustava omogućuje akviziciju podataka o temperaturi i vlažnosti tla putem odgovarajućih senzorskih modula. Očitane vrijednosti transmitiraju se putem ESP8266 Wi-Fi modula na IoT platformu Blynk, gdje se vizualiziraju u realnom vremenu. Korisničko sučelje omogućuje i manualnu intervenciju, odnosno daljinsko upravljanje aktuatorima za navodnjavanje putem virtualnih kontrola. Slika 14. ilustrira responzivnost sustava na detekciju oborina, prikazujući automatiziranu aktivaciju mehanizma pokrova. Logika navodnjavanja konfigurirana je tako da se aktivira na temelju pragova vlažnosti tla ili povišene temperature, čime se osigurava optimizacija hidratacije biljaka uz minimalnu ljudsku intervenciju (Keerthana i sur., 2023.).



**Slika 14.** Primjer sklopa za detekciju kiše u fazi testiranja / **Figure 14.** Example of a rain detection circuit in the testing phase  
(Izvor/Source: Keerthana i sur., 2023.)

### **Prednosti i nedostaci Arduino sustava**

Arduino sustav, kao otvorena elektronička platforma, nudi brojne prednosti poput modularnosti hardvera, fleksibilnosti softverskog sučelja, pristupačne cijene i široke podrške globalne zajednice, što omogućuje precizno prikupljanje podataka u realnom vremenu, automatizaciju poljoprivrednih procesa te integraciju različitih senzorskih i komunikacijskih modula (GSM, Wi-Fi, LoRa) za daljinski nadzor i brzu reakciju na ugroze, uz mogućnost naprednih funkcija poput strojnog učenja na rubnim uređajima i energetske autonomije putem solarne napajanja; međutim, unatoč demonstriranoj funkcionalnosti, komercijalna primjena Arduino sustava i dalje zahtijeva daljnju validaciju u realnim poljskim uvjetima, posebno u pogledu dugoročne pouzdanosti senzora i otpornosti na ekstremne vremenske uvjete, dok implementacija složenijih rješenja može zahtijevati dodatno tehničko predznanje te ovisnost o vanjskim modulima što može povećati složenost sustava i troškove održavanja.

### **Zaključak**

U radu je analizirana primjena Arduino platforme kao tehnološkog rješenja za unaprjeđenje zaštite bilja u preciznoj poljoprivredi Republike Hrvatske. Implementacija mikrokontrolerskih sustava omogućuje pouzdanu akviziciju ekoloških parametara u realnom vremenu te automatizaciju odziva na abiotičke stresore. Integracija senzora za detekciju oborina, vlažnosti i temperature tla, uz IoT modul (ESP8266) i platformu Blynk, omogućuje daljinski monitoring i upravljanje čime se reducira ovisnost o ljudskoj intervenciji. Poseban doprinos rada ogleda se u konceptualnom dizajnu solarno napajanog autonomnog sustava za zaštitu usjeva od ekstremnih atmosferskih pojava. Ekonomski aspekt upućuje na potencijal optimizacije operativnih troškova, osobito za mala i srednja poljoprivredna gospodarstva. Unatoč demonstriranoj funkcionalnosti, komercijalna primjena zahtijeva daljnju validaciju u realnim poljskim uvjetima, uključujući testiranje dugoročne pouzdanosti senzora. Zaključno,

Arduino platforma predstavlja prilagodljiv i ekonomski isplativ instrument za modernizaciju zaštite bilja, čija primjena može doprinijeti povećanju prinosa i jačanju klimatske otpornosti poljoprivrednih sustava u skladu s ciljevima održivog razvoja.

## Literatura

**Arduino:** Discover what you can create with Arduino. <https://www.arduino.cc/maker>

**Barragán, H. (2016).** The untold history of Arduino. *arduinohistory*. github. io.

**Gokul, S., Gokulnath, B., Manikandan, P., Saravanan, S., Mohananthini, N. (2023).** Smart Crop Protection From Animals And Birds Using Arduino. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology*, 22(3), 19-25.

**Keerthana, M., Charitha, A., Vaishnavi, N., VarshaSri M. (2023.).** Solar Powered Automatic Rain Protection for Field Crops Using Arduino UNO and Moisture Level Monitoring System. *Electrical & Electronics Engineering Department, G. Narayanamma Institute of Technology and Science Hyderabad, India*

**Kushner, D. (2011).** The making of arduino. *IEEE spectrum*, 26, 1-7.

**Schmidt, M. (2015).** Arduino: a quick-start guide.

**Severance, C. (2014).** Massimo banzi: Building arduino. *Computer*, 47(1), 11-12.

**Varshini, B. M., & Sushma, A. V. (2021).** Smart crop protection using Arduino. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 8(7), 213.

**Zhang, Q. (Ed.). (2015).** Precision agriculture technology for crop farming. CRC Press.

Mrežna poveznica 1. Različite vrste PIR senzora i njihove primjene. [https://www.szhaiwang.com/hr/Different-Types-of-PIR-Sensors-and-Their-Applications-id48372966.html#:~:text=Pasivni%20infracrveni%20\(PIR\)%20senzori%20su%20neprocjenjivi%20alati,sigurnosnim%20sustavima%2C%20automatizaciji%20i%20raznim%20drugim%20industrijama](https://www.szhaiwang.com/hr/Different-Types-of-PIR-Sensors-and-Their-Applications-id48372966.html#:~:text=Pasivni%20infracrveni%20(PIR)%20senzori%20su%20neprocjenjivi%20alati,sigurnosnim%20sustavima%2C%20automatizaciji%20i%20raznim%20drugim%20industrijama).

Mrežna poveznica 2. Geeks For Geeks Soil Moisture measurement using Arduino and Soil Moisture Sensor <https://www.geeksforgeeks.org/soil-moisture-measurement-using-arduino-and-soil-moisturesensor/>

**Prispjelo/Received: 1.3.2026.**

**Prihvaćeno/Accepted: 7.4.2026.**

*Professional paper*

### **Application of Arduino technology in plant protection in the Republic of Croatia**

#### **Abstract**

*This study investigates the application of the Arduino platform, an open-source system, as a highly efficient tool in modern plant protection. Owing to hardware modularity and software interface flexibility, Arduino enables precise real-time environmental data acquisition and the automation of response systems to abiotic and biotic stressors. The primary objective of this research was to analyze the operational capabilities of this technology in safeguarding crops against adverse effects caused by animals, extreme precipitation, and fire hazards. The analysis encompasses the integration of diverse sensor modules facilitating early threat detection and the timely activation of protective mechanisms. Findings indicate that the implementation of such systems significantly contributes to risk reduction in agricultural production while optimizing economic costs.*

**Keywords:** Arduino; Internet of Things (IoT); Precision Agriculture; Plant Protection.