

**Darija LEMIĆ<sup>1,2</sup>, Matej GENDA<sup>3</sup>, Ivana PAJAČ ŽIVKOVIĆ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zavod za poljoprivrednu zoologiju

<sup>2</sup> Green Environmental Research d.o.o. Zagreb

<sup>3</sup> ZKM d.o.o., Zadar

dlemic@agr.hr

## VISOKONAPONSKA ELEKTRIČNA POLJA U SUZBIJANJU ŠTETNIKA

### SAŽETAK

Suzbijanje štetnika u poljoprivrednim kulturama oduvijek je izazovan problem. Razvijene su mnoge mjere za suzbijanje štetnika, koje se mogu podijeliti na agrotehničke, mehaničke, fizikalne, biološke i kemijske. Međutim, kemijske mjere, posebno korištenje insekticida, često prevladavaju. Mnogi insekticidi izgubili su dozvolu za upotrebu, a oni koji su još uvijek u upotrebi često dovode do razvoja rezistentnosti kod štetnika i smanjene učinkovitosti. Zbog toga je važno istraživati i implementirati nove alternativne, ekološki prihvatljive metode zaštite biljaka. Jedna je od takvih alternativnih metoda korištenje visokonaponskih električnih polja. Temeljito smo pregledali relevantnu literaturu da bismo ovim radom prikazali djelovanje visokonaponskih električnih polja na kukce i istražili mogućnost repelentnog djelovanja ove metode, kao i sposobnost hvatanja kukaca putem sile koju stvara visokonaponsko električno polje. Rezultati pregledanih istraživanja pokazali su visoku učinkovitost te metode u zaštiti bilja. Testirana je na 82 različite vrste kukaca i pet vrsta paukova, i na svim vrstama, ovisno o voltaži, postigla je stopostotnu učinkovitost. Visokonaponska električna polja pokazala su se vrlo učinkovitima, i u budućnosti, gdje je smanjenje korištenja pesticida prioritet, mogla bi postati jedna od ključnih alternativa za suzbijanje štetnika u poljoprivredi.

**Ključne riječi:** visokonaponsko električno polje, fizikalne mjere, suzbijanje štetnika

### UVOD

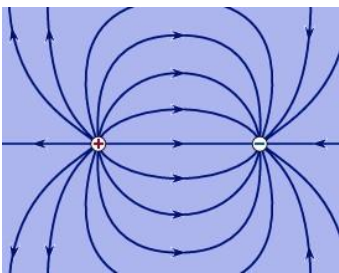
Smatra se da štetnici diljem svijeta smanjuju prirod poljoprivrednih kultura za 15,6 %, a u Hrvatskoj taj pad prinosa iznosi oko 10 %. Ukupni gubitci od svih uzročnika štete (štetnici, bolesti i korovi) procjenjuju se na 42 % globalno, 28 % u Europi i 29,2 % u Hrvatskoj u odnosu na potencijalne prinose poljoprivrednih kultura. Stoga, da bi se očuvala ekonomska isplativost uzgoja poljoprivrednih kultura, nužno je učinkovito zaštititi biljke od štetnika (Maceljski, 1999.). Primjena pesticida najčešći je pristup suzbijanju svih uzročnika bolesti, štetnika i korova. Međutim, pretjerana upotreba pesticida rezultirala je čestom

pojavom rezistentnosti, a negativni učinci aktivnih tvari (toksikološki i ekotoksikološki) i zabrinutost javnosti zbog korištenja pesticida zahtijevaju nove metode suzbijanja štetnika. Nekemijske metode suzbijanja štetnika igraju ključnu ulogu u integriranoj zaštiti bilja (Kusakari i sur., 2020.).

Korištenje visokonaponskih električnih polja jedna je od nekemijskih, fizikalnih metoda zaštite bilja. Električna polja mogu utjecati na ponašanje i život životinja na različite načine. Na primjer, ribe iz razreda Zrakoperki (Actinopterygii) koriste pulsirajuća električna polja male snage za pronalaženje plijena i komunikaciju (Bullock, 1982.). Nematoda *Caenorhabditis elegans* M. reagira na električna polja putem osjetnih neurona (Gabel i sur., 2007.). Također, električna polja mogu odbijati električki nabijene površine kukaca, što ih prisiljava na izbjegavanje tih područja (Hunt i sur., 2005.). Taj pozitivan utjecaj visokonaponskih električnih polja na kukce sugerira njihovu učinkovitost u nekemijskom (ekološkom) suzbijanju štetnika.

### VISOKONAPONSKA ELEKTRIČNA POLJA

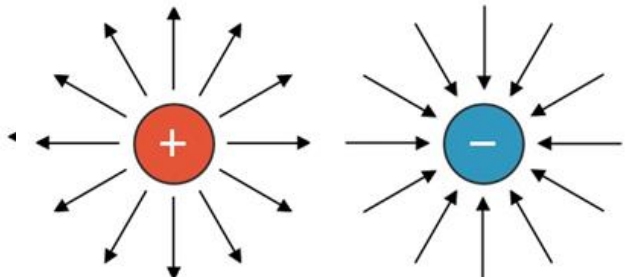
Visokonaponsko električno polje (slika 1) prostor je u kojemu električne sile djeluju na čestice nabijene električnim nabojem (Hrvatska enciklopedija, 1999.).



**Slika 1.** Električno polje.

Izvor:

<https://www.britannica.com/science/electric-field>



**Slika 2.** Djelovanje pozitivnog i negativnog naboja na električnom polju.

Izvor:

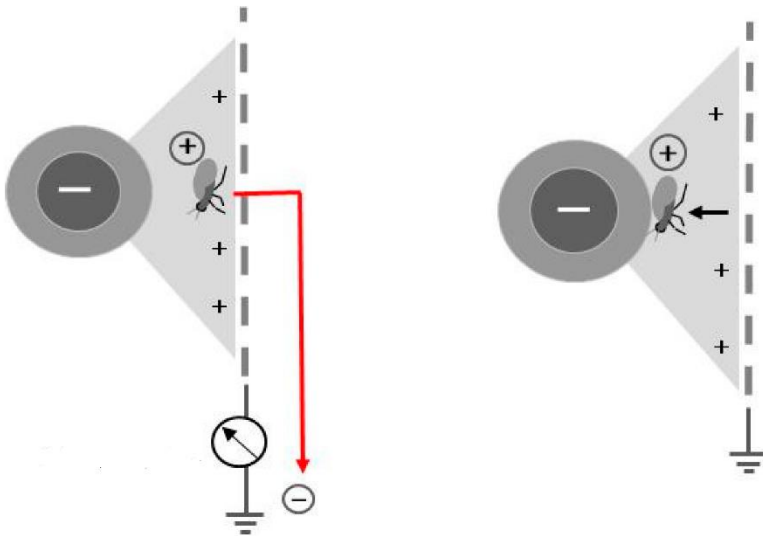
<https://www.britannica.com/science/el>

Visokonaponsko električno polje povezuje se na generator koji proizvodi željenu električnu snagu (Toyoda, 2020.). Vodiči u tom polju imaju slobodne naboje, koje električno polje usmjerava suprotno od smjera polja. Na ulaznom dijelu vodiča, elektroni se grupiraju, ostavljajući pozitivan naboj na drugom kraju - ovo je poznato kao inducirani naboj. Važno je napomenuti da unutar samog vodiča nema električnog polja, jer inducirani naboj na površini neutralizira djelovanje električnog polja (Barberović i Dadić, 2011.). Željeni napon se postiže pomoću transformatora i udvostručivača napona, kao što je Cockcroft-ov krug, a generator može imati pozitivan ili negativan naboj

(Toyoda, 2020.).

Negativan naboj odnosi se na slobodne elektrone i kretanje u obrnutom smjeru. Generator veže te slobodne elektrone za vodiče (slika 2), akumulirajući negativan naboj na površini vodiča. Suprotno tome, generator pozitivnog napona gura slobodne elektrone kako bi vodič postao pozitivno nabijen. Ovaj proces elektrostatičke indukcije rezultira pozitivno nabijenom površinom vodiča (Toyoda, 2020.). Električna polja dijele se na statička i dinamička. Statička električna polja sadrže stacionarne nabojne čestice, dok dinamička električna polja oslobađaju električnu energiju i uzbuđuju nabojne čestice. U statičkim električnim poljima vodiči su izolirani i negativno nabijeni, stvarajući odbojnu silu protiv drugih negativnih nabojnih čestica u polju. To neutralizira bilo koji vodič koji uđe u polje, uzrokujući da postane pozitivno nabijen – poznato kao pozitivna elektrifikacija vodiča (Toyoda, 2020.).

Kada kukac uđe u statičko električno polje, elektroni se u njegovoj kutikuli oslobađaju, a kukac postaje pozitivno nabijen. Izolirani vodič privlači tada kukca snažnom silom, sprječavajući njegov bijeg (slika 3). Dinamička električna polja uzrokuju oslobađanje vodiča, pri čemu napon, udaljenost između polova, potencijalna razlika između polova, kapacitet primatelja za električnu energiju, provodljivost zraka i obujam otpornosti izolatora igraju ulogu. Najvažniji je čimbenik provodljivost zraka, koja se povećava s povećanjem količine vodene pare u zraku (Toyoda, 2020.).



**Slika 3.** Ulazak kukca u područje pod visokonaponskim električnim poljem. Kukac postaje pozitivno nabijen, izolirani vodič ga snažnom silom privlači te onemogućuje njegov bijeg.

Izvor: Kusakari i sur. (2020.).

## VISOKONAPONSKA ELEKTRIČNA POLJA U ZAŠTITI BILJA

Ideja povezivanja električne energije s biološkim svijetom postoji već dugo. Solly (1845.) spominje dr. Maimbraya iz Edinburgha kao jednog od prvih istraživača koji su koristili električnu energiju za proučavanje odnosa između biljaka i električne energije. Maimbray je elektrificirao dvije biljke roda *Myrtus* i pratio kako električna energija utječe na njihov rast. Wheaton (1968.) istraživao je utjecaj električnih polja na klijanje sjemena kukuruza (*Zea mays* L.) i soje (*Glycine max* L.), a Leach je (1984.) testirao utjecaj električnih polja na površinu listova kukuruza i graha (*Phaseolus vulgaris* L.) te je istraživao potencijalnu potporu za oslobađanje aktivnih spora.

Matsuda i sur. (2006.) razvili su elektrofilter za staklenički uzgoj rajčice kao fizičku mjeru zaštite od gljive *Oidium neolycopersici* L. Kiss 2001, koja uzrokuje bolest pepelnice. Električno polje stvoreno elektrostatičkom silom privuklo je spore gljive i spriječilo zarazu rajčice njome, iako se pokazalo neučinkovitim u suzbijanju većih kukaca. Ma i Chu (1993.) koristili su elektromagnetska polja s vrlo niskim naponom za istraživanje utjecaja na razvoj embrija vinske mušice (*Drosophila melanogaster* L.), no nisu donijeli jasan zaključak o njihovoj povezanosti. Watson i sur. (1997.) pokušali su potaknuti reakciju vinske mušice na električna polja i zaključili da svaka frekvencija električnih polja do 400 Hz izaziva reakciju, ali da je potrebno daljnje istraživanje.

McGonigle i Jackson (2002.) istraživali su kako površina pod električnim naponom utječe na kućne muhe (*Musca domestica* L.), a Newland i sur. (2008.) pratili su osjećaju li žohari (*Periplaneta americana* L.) visokonaponska električna polja i zaključili da ih njihovi osjetilni organi registriraju te da pokušavaju izbjeći takva polja. Tanaka i sur. (2008.) istraživali su upotrebu električnih dipolarnih zaslona na prozorima i ulazima staklenika da bi spriječili zarazu od duhanova štitastog moljca. Matsuda i sur. (2011.) primijenili su sličan pristup da bi zaštitili skladišta od duhanara i vinske mušice. Postavili su željezne žice koje su generirale željeni napon na ulazima skladišta i tako sprječavale ulazak tih skladišnih štetnika. He i sur. (2014.) proučavali su dugoročan učinak visokonaponskih električnih polja na zobenu lisnu uš (*Sitobion avenae* F.) koristeći različite napone i istraživali utjecaj na više generacija toga štetnika. Nonomura i sur. (2014.) istraživali su primjenu visokonaponskih električnih polja na lateralnim otvorima staklenika kako bi spriječili ulazak štitastih moljaca (porodica Aleyrodidae) unutar zaštićena prostora. Kakutani i sur. (2021.) istraživali su mogućnost korištenja drona u kombinaciji s visokonaponskim električnim poljem u svrhu suzbijanja štetnika.

Moderniji znanstveni pokusi s visokonaponskim električnim poljima u svrhu suzbijanja štetnika započeli su u 21. stoljeću. U tablici 1 navedena su novija istraživanja utjecaja visokonaponskih električnih polja na različite štetnike.

**Tablica 1.** Prikaz najaktualnijih istraživanja s visokonaponskim električnim

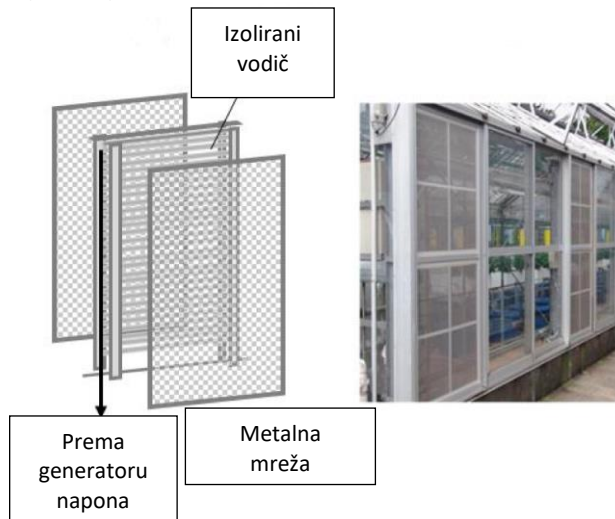
poljima u svrhu suzbijanja štetnika

**Table 1.** Overview of the most recent research on high-voltage electric fields for the purpose of pest control

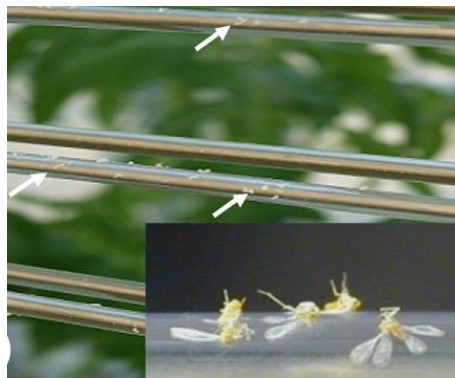
Istraživani kukac Tested insect	Prostor Area	Voltaža Voltage	Rezultat Result	Autori Authors
<i>Bemisia tabaci</i>	Staklenik	Do 15 kV	100%-tni mortalitet nakon 6 sati	Tanaka i sur. (2008.)
<i>Periplaneta americana</i>	/	Od 0,5 do 4 kV	0,5-1 kV bez utjecaja >1 kV – sporije kretanje	Newland i sur. (2008.)
<i>Lasioderma serricorne</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>	Skladište	0,8 do 8 kV	0,8-1 kV – neučinkovito 1-4 kV- djelomično uspješno 4-8 kV – 100%-tno hvatanje	Matsuda i sur. (2011.)
<i>Bemisia tabaci</i>	Staklenik	0,2 do 5 kV	0,2 kV– neučinkovito 0,2 - 0,8 kV djelomično, ali slabo učinkovito 1,5-2,5 kV – kukci izbjegavaju ulazak u staklenik 3 kV- kukce ubija električni napon	Nonomura i sur. (2012.)
<i>Sitobion avenae</i>	/	0, 2, 4 i 6 kV	Potvrđen učinak na životni vijek i razvojne stadije	He i sur. (2014.)
<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Myzus persicae</i> , <i>Scatella tenuicosta</i>	Staklenik	0,5 – 5,6 kV	100%-tno hvatanje kukaca na voltaži od 1,5 – 5,6 kV	Takikawa i sur. (2015.)
<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Liriomyza sativae</i>	Staklenik	1-6 kV	(100%-tno hvatanje) <i>Bemisia tabaci</i> – 3-6 kV <i>Frankliniella occidentalis</i> – 4-6 kV <i>Liriomyza sativae</i> – 4-6 kV	Takikawa i sur. (2019.)

Tanaka i sur. (2008.) u svome su istraživanju kreirali visokonaponsko električno polje između dviju izoliranih žica koje su vodiči električne energije (slika 4). Istraživanje je provedeno u stakleniku u kojemu je uzgajana rajčica, a cilj istraživanja bio je zaštititi rajčicu od napada duhanova štitastog moljca. Zasloni s visokonaponskim električnim poljem montirani su na prozore staklenika. Sve biljke rajčice bile su zaražene s 50 odraslih jedinki duhanova štitastog moljca. Nakon mjesec dana, kada su se štetnici razmnožili, premješteni su na udaljenost od jednog metra od visokonaponskog električnog

polja i usmjereni prema njemu s pomoću ventilatora, gdje su potom pobrojani. Zabilježen je učinak visokonaponskog električnog polja na navedene štetnike. Električni napon postavljen je na 15 kV, a nakon šest sati stopa smrtnosti štetnika iznosila je 100 %. Visokonaponsko električno polje stvorilo je silu koja je privlačila duhanove štitaste moljce i prouzročilo njihovo zaljepljivanje za žicu pod naponom (slika 5).



**Slika 4.** Izgled zaslona s visokonaponskim električnim poljem koji se postavlja na bočne otvore staklenika Izvor: Kusakari i sur. (2020.).



**Slika 5.** Duhanov štitasti moljac zaljepljen na žice pod visokim naponom Izvor: Tanaka i sur. (2008.).

Newland i sur. (2008.) istraživali su utjecaj visokonaponskih električnih polja na ponašanje žohara. Koristili su žohare vrste *Periplaneta americana* L. u eksperimentu u kojemu su žohare puštali na početak cilindra u obliku slova Y. Jedan izlaz iz cilindra bio je pod električnim poljem, dok je drugi bio bez napona. Početne voltaže od 0,5 kV i 0,75 kV nisu imale učinka na ponašanje

kukca. Međutim, svaka voltaža veća od 1 kV rezultirala je promjenom ponašanja žohara. Nakon kontakta s električnim poljem, kukac se sporije kretao i izbjegavao područje s visokim naponom. Newland i sur. (2008.) zaključuju da žohari primjećuju električna polja već na voltaži većoj od 1 kV i da receptori na njihovim ticalima igraju ključnu ulogu u tom izbjegavanju.

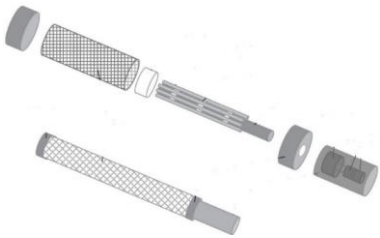
Matsuda i sur. (2011.) istraživali su učinke visokonaponskih električnih polja na ponašanje duhanara i vinske mušice u svrhu zaštite skladišnih prostora. Korištena voltaža kretala se od 0,8 do 8 kV. Voltaža od 0,8 do 1 kV nije pokazala značajnu učinkovitost u zaštiti prostora. Međutim, voltaža od 1 do 4 kV pokazala se učinkovitijom, a povećanjem voltaže značajno se poboljšala učinkovitost. Na naponima između 4,5 do 8 kV učinkovitost u hvatanju odraslih jedinki duhanara i vinske mušice bila je stopostotna. Matsuda i sur. (2011.) primijetili su da i duhanar i vinska mušica osjećaju prisutnost visokonaponskog električnog polja i ticalima ga najprije dodiruju i istražuju. S povećanjem napona, znatno se više kukaca nakon dodira s ticalima odlučuje za brz bijeg u suprotnom smjeru.

Nonomura i sur. (2012.) proveli su eksperiment u stakleniku da bi uhvatili i spriječili ulazak duhanova štitastog moljca. Eksperiment je obuhvatio raspon voltaža od 0 do 5 kV. U prvoj varijanti eksperimenta, bez voltaže, moljci bi došli do električnog zaslona, proveli ondje nekoliko sekunda i onda ili bi ušli u staklenik ili se udaljili u drugom smjeru. Zatim su testirali drugu varijantu s naponom od 0,2 kV, ali nije bilo značajnih promjena. Kada je napetost povećana s 0,2 na 0,6 kV, broj moljaca koji su ušli u staklenik smanjio se, dok kod 0,8 kV nijedan štetnik nije prošao kroz električno polje. Voltaža od 1,5 do 2,5 kV pokazala se 100 % učinkovitom u sprječavanju ulaska duhanova štitastog moljca u staklenik. Štetnici bi doletjeli blizu zaslona s električnim poljem, a zatim bi naglo promijenili smjer. Nonomura i sur. (2012.) primijetili su da štitasti moljac svojim ticalima provjerava prisutnost visokonaponskog električnog polja, a napetost od 2,5 kV snažno bi privukla štetnike prema žicama pod naponom. Ova pojava češće se ponavljala kako je napon rastao do 5 kV.

He i sur. (2014.) istraživali su dugoročan utjecaj visokonaponskih električnih polja na održivost i biotički potencijal pšenične lisne uši. Eksperiment je obuhvatio 30 generacija tog štetnika, pri čemu je svaki razvojni stadij bio izložen određenoj voltaži tijekom određenoga vremenskog razdoblja. Autori su zaključili da su u svim ponavljanjima štetnici koji nisu bili izloženi električnom naponu živjeli najduže. Ovo ukazuje na to da visokonaponska električna polja imaju utjecaj na životni vijek toga štetnika.

Takikawa i sur. (2015.) proučavali su učinkovitost visokonaponskih električnih polja postavljenih na prozore staklenika kako bi zaštitili biljke od štetnika. Međutim, primijetili su da štetnici i dalje ulaze u staklenik, s obzirom na otvorena vrata prilikom ulaska i izlaska radnika. Stoga su u okviru istraživanja

(Takikawa i sur., 2015.) razvili i primijenili mobilni uređaj za čišćenje štetnika (prikazan na slici 6), koji radi na istom principu stvaranja visokonaponskoga električnog polja. Taj je uređaj mobilan i kreće se po listovima biljaka, uklanjajući štetnike (slika 7). Korištene voltaže bile su u rasponu od 0,5 do 5,6 kV. Učinkovitost je ispitivana na duhanovu štitastom moljcu, kalifornijskom tripsu, zelenoj breskvinjoj uši (*Myzus persicae* S.) i muhi *Scatella tenuicosta* C. Električni napon snage 1,5 kV, i svaki viši, pokazao se 100 % učinkovitim kod sve četiri vrste kukaca.



**Slika 6.** Čistač kukaca

Izvor: Takikawa i sur. (2015.).



**Slika 7.** Primjena čistača kukaca

Izvor: Takikawa i sur. (2015.).

Matsuda i sur. (2015.) proveli su istraživanje repelentnog djelovanja visokonaponskog električnog polja na ukupno 57 vrsta kukaca i pet vrsta pauka. Kukci su provjeravali sigurnost prolaska kroz područje s visokonaponskim električnim poljem s pomoću svojih ticala, a pauci su koristili noge. Manji kukci i oni s velikim ticalima pokazali su tendenciju izbjegavanja prostora s visokonaponskim električnim poljem čak i pri niskim voltažama, a kod voltaža većih od 2 kV svi su kukci i pauci pobjegli. Sličan eksperiment izveo je i Takikawa i sur. (2019a.) u plasteniku. Koristili su zaslon s visokonaponskim električnim poljem koji je sadržavao željezne dodatke. U istraživanju su korišteni duhanov štitasti moljac, kalifornijski trips i lisni miner (*Liriomyza sativae* B.). Testirane su voltaže u rasponu od 1 do 6 kV. Utvrđeno je da je za sprječavanje ulaska duhanova štitastog moljca u plastenik bila dovoljna voltaža od 3 kV, dok je za kalifornijskog tripsa i lisnog minera bila potrebna voltaža od 4 kV.

Nakon potvrde učinkovitosti visokonaponskog električnog polja u različitim pokusima, Kakutani i sur. (2021.) istraživali su mogućnost hvatanja kukaca u zraku s pomoću drona koji je nosio zaslon s visokonaponskim električnim poljem. Da bi omogućili taj pokus, bilo je potrebno prilagoditi težinu zaslona s električnim poljem kako bi ga dron mogao nositi. Tijekom eksperimenta zaslon s visokonaponskim električnim poljem bio je spušten na različite visine ispod drona: 0,5 m, 1 m, 1,5 m i 2 m. Kakutani i sur. (2021.) koristili su različite voltaže u rasponu od 2 do 7 kV kako bi uhvatili kukce različitih veličina. Za veće



kukce bila je potrebna veća voltaža. Utvrđeno je da je voltaža od 6,5 kV bila 100 % učinkovita u hvatanju kukaca svih veličina. Korištenjem ove metode, uhvaćeno je mnogo različitih vrsta kukaca, uključujući kućne muhe, voćne muhe, smrdljive stjenice, lisne minere, tripse, lisne uši, moljce i komarce. Međutim, autori su primijetili da je jedan od izazova metode bio vjetar koji je otežavao let drona i hvatanje kukaca. Niže voltaže (ispod 6,5 kV) pokazale su se manje učinkovitima u hvatanju kukaca u uvjetima vjetra brzine iznad 8 m/s.

## **BUDUĆNOST PRIMJENE VISOKONAPONSKIH ELEKTRIČNIH POLJA U ZAŠTITI BILJA**

Korištenje visokonaponskog električnog polja jedna je od suvremenih metoda zaštite usjeva od štetnika. Koncept povezivanja električne energije i živog svijeta prisutan je tijekom cijele povijesti. Unatoč brojnim eksperimentima s električnim naponom, tek su u 21. stoljeću provedena znanstvena istraživanja koja su potvrdila učinkovitost takvih metoda. Pioniri su u ovom području japanski znanstvenici koji su 2006. godine razvili koncept "zaslona s električnim poljem" za suzbijanje pepelnice (*O. neolycopersici*), gljiva iz roda *Erysiphe* (Matsuda i sur., 2006.). Zaslon s visokonaponskim električnim poljem fizički je uređaj koji stvara visoki napon između suprotno nabijenih polova kako bi stvorio nepremostivu prepreku za ulazak štetnika u područje gdje se uzgajaju biljke (Matsuda i sur., 2011.). Ova inovativna metoda pokazala se iznimno učinkovitom u zaštiti bilja uzgajana u staklenicima i plastenicima. Postavljanje stalaka s visokonaponskim zaslonima na prozore i otvore staklenika ili plastenika sprječava ulazak štetnika, čime se štite biljke. Važno je napomenuti da učinkovitost visokonaponskog električnog polja varira ovisno o vrsti štetnika i potrebnoj voltaži. Manji kukci često se odvrću manjim naponima, dok za odvrćanje većih štetnika često treba veća voltaža (Tanaka i sur., 2008.).

Nizom istraživanja znanstvenici su proučavali reakcije štetnika na električni napon i otkrili da štetnici osjete prisutnost električnog polja i reagiraju na njega. Kada se približe visokonaponskom električnom polju, istražuju ga ticalima, pokušavajući ga izbjeći (Takikawa i sur., 2019.). Pregledom dostupnih istraživanja jasno je da se metoda korištenja visokonaponskih električnih polja u zaštiti bilja pokazala iznimno učinkovitom. S obzirom na globalne napore za smanjenjem upotrebe pesticida i sve veću primjenu nekemijskih metoda zaštite usjeva, visokonaponsko električno polje može postati važna metoda u suzbijanju štetnika u poljoprivredi. Osim toga, ta je metoda ekološki prihvatljiva i praktična za primjenu. Značajno je da je učinkovitost te metode uspješno testirana na velikom spektru štetnika, uključujući čak 17 redova, 42 porodice, 45 rodova i ukupno 82 različite vrste kukaca (Takikawa i sur., 2019.). S obzirom na dosadašnji uspjeh, visokonaponsko električno polje inovativno je rješenje za izazove u zaštiti bilja.

Cijena zaštite visokonaponskim električnim poljima može uključivati troškove instalacije elektroenergetskih sustava, opreme, troškove održavanja, električne energije i troškove obuke za upotrebu te tehnologije. Električna polja, osobito visokonaponska, mogu imati različite utjecaje na ljude i korisne organizme u okolišu (nisu selektivna). Kada su ljudi izloženi jakim električnim poljima, mogu se suočiti s rizikom od električnih udara, što može uzrokovati ozljede. Stoga je iznimno važno primjenjivati stroge sigurnosne mjere i pravilnu obuku kako bi se minimizirali ti rizici. U konačnici, da bi se razumio sveobuhvatan utjecaj električnih polja na ljude i korisne organizme, potrebna su daljnja istraživanja i pažljivo planiranje kako bi se osigurala sigurna primjena te tehnologije i minimalan negativan utjecaji na okoliš i ekosustav.

## ZAKLJUČAK

Dosadašnja istraživanja nedvojbeno potvrđuju visoku učinkovitost visokonaponskih električnih polja u zaštiti bilja od štetnika. Ta je metoda bila podvrgnuta ispitivanjima na 82 različite vrste kukaca, zajedno s pet različitih vrsta pauka, i u svim slučajevima, ovisno o primijenjenoj voltaži, postigla 100 % učinkovitost.

Konkretno, primjena voltaže veće od 1,2 kV pokazala je repelentno djelovanje na duhanova štitastog moljca, dok je voltaža veća od 2,5 kV rezultirala stopostotnim mortalitetom toga štetnika. Slično, kod kalifornijskog tripsa, duhanara, breskvine zelene uši i lisnog minera, voltaža od 1,5 kV rezultirala je stopostotnim mortalitetom. U nekim drugim slučajevima, potrebna voltaža za postizanje stopostotnog mortaliteta bila je viša, oko 4 kV, no precizne voltaže variraju ovisno o vrsti štetnika.

Ovi zaključci ukazuju na iznimnu perspektivu primjene visokonaponskih električnih polja u poljoprivredi budućnosti, posebno u svjetlu nastojanja da se smanji korištenje pesticida i da se više koriste nekemijske metode zaštite bilja. Visokonaponska električna polja obećavajuća su alternativa za suzbijanje štetnika, s potrebom za daljnjim istraživanjem da bi se precizno utvrdile optimalne voltaže za različite vrste štetnika.

## HIGH VOLTAGE ELECTRIC FIELDS IN PEST MANAGEMENT

### SUMMARY

Pest control in agricultural crops has always been a challenging issue. Numerous methods have been developed for pest control, which can be categorized into agrotechnical, mechanical, physical, biological, and chemical measures. However, chemical measures, especially the use of insecticides, often dominate. Unfortunately, many insecticides have lost approval, and those still in use frequently lead to the development of resistance in pests and

a decrease in their effectiveness. Therefore, it is essential to explore and implement new alternative, environmentally friendly plant protection methods. One such alternative method is the use of high-voltage electric fields. In this study, we conducted a thorough review of the relevant literature to illustrate the impact of high-voltage electric fields on insects and explore the potential repellent effect of this method, as well as its ability to capture insects through the force generated by the high-voltage electric field. The results of the reviewed research have demonstrated the high efficiency of this method in plant protection. It has been tested on 82 different insect species and five spider species, achieving a 100% success rate across all species, depending on the applied voltage. High-voltage electric fields have proven to be highly effective, and in the future, where reducing pesticide use is a priority, they could become one of the key alternatives for pest control in agriculture.

**Keywords:** high voltage electric field, physical measures, pest management

## LITERATURA

- Berberović, S., Dadić, M.** (2011.). Elektromagnetska polja – Elektrostatika. Zagreb.
- Britannica** (2019.). The Editors of Encyclopaedia. Electric field.
- Bullock, T.H.** (1982.). Electoreception. Annual Review of Neuroscience, 5, 121-170.
- Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje** (2023.). Električno polje. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17595> – pristupljeno 27. 9. 2023.
- Gabel, C.V., Gabel, H., Pavlichin, D., Kao, A., Clark, D.A., Samuel, A.D.T.** (2007.). Neural Circuits Mediate Electrosensory Behaviour in *Caenorhabditis elegans*. Journal of Neuroscience, 27(28), 7586-7596.
- He, J., Cao, Z., Yang, J., Zhao, H.Y., Pa, W.D.** (2014.). Effects of static electric fields on growth and development of wheat aphid *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) through multiple generations. Electromagnetic Biology and Medicine, 35(1), 1-7.
- Hunt, E.P., Jackson, C.W., Newland, P.L.** (2005.). Electropellancy Behaviour of *Periplaneta americana* Exposed to Friction Charged Dielectric Surfaces. Journal of Electrostatics, 63, 853-859.
- Kakutani, K., Matsuda, Y., Nonomura, T., Takikawa, Y., Osamura, K., Toyoda, H.** (2021.). Remote-Controlled Monitoring of Flying Pests with an Electrostatic Insect Capturing Apparatus Carried by an Unmanned Aerial Vehicle. Agriculture, 11(2), 176.
- Kusakari, S., Okada, K., Shibao, M., Toyoda, H.** (2020.). High Voltage Electric Fields Have Potential to Create New Physical Pest Control Systems. Insects, 11(7), 447.
- Leach, C.M.** (1984.). Leaf Surface Electrostatics: Response of Detached Leaves of Beans and Maize to Humidity and Red-Infrared Radiation Under Controlled Conditions. Phytopathology, 74, 695-701.
- Ma, T., Chu, K.** (1993.). Effect of the Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Field (EMF) on Developing Embryos of the Fruit Fly (*Drosophila melanogaster* L.). Mutation Research, 303, 35-39.
- Maceljški, M.** (1999.). Poljoprivredna entomologija. Zrinski d.d., Čakovec.
- Matsuda, Y., Ikeda, H., Moriura, N., Tanaka, N., Shimizu, K., Oichi, W., Nonomura, T., Kakutani, K., Kusakari, K., Higashi, K., Toyoda, H.** (2006.). A New Spore Percipitator

with Polarized Dielectric Insulators for Physical Control of Tomato Powdery Mildew. *Phytopathology*, 96(9), 967-74.

**Matsuda, Y., Nonomura, T., Kakutani, K., Kimbara, J., Osamura, K., Kusakari, K., Toyoda, H.** (2015.). Avoidance of an Electric Field by Insects: Fundamental Biological Phenomenon or an Electrostatic Pest-Exclusion Strategy. *Journal of Physics Conference Series*, 646 (1).

**Matsuda, Y., Nonomura, T., Kakutani, K., Takikawa, Y., Kimbara, J., Kasaishi, Y., Osamura, K., Kusakari, S., Toyoda, H.** (2011.). A Newly Devised Electric Field Screen for Avoidance and Capture of Cigarette Beetles and Vinegar Flies. *Crop Protection*, 30(2), 155-162.

**McGonigle, D., Jackson, C.W.** (2002.). Effect of Surface Material on Electrostatic Charging of Houseflies (*Musca domestica* L.). *Pest Management Science*, 58, 374-380.

**Newland, P.L., Hunt, E., Sharkh, S.M., Hama, N., Takahata, M., Jackson, C.W.** (2008.). Static Electric Field Detection and Behavioural Avoidance in Cockroaches. *The Journal of Experimental Biology*, 211, 3682-3690.

**Nonomura, T., Kakutani, K., Kimbara, J., Kusakari, S., Matsuda, Y., Toyoda, H.** (2012.). An electric field strongly deters whiteflies from entering window-open greenhouses in an electrostatic insect exclusion strategy. *European Journal of Plant Pathology*, 134, 661-670.

**Nonomura, T., Matsuda, Y., Kakutani, K., Takikawa, Y., Kimbara, J., Osamura, K., Kusakari, S., Toyoda, H.** (2014.). Prevention of Whitefly Entry from a Greenhouse Entrance by Furnishing an Airflow-Oriented Pre-Entrance Room Guarded with Electric Field Screens. *Journal of Agricultural Science*, 6(12), 172-184.

**Solly, E.** (1845.). The Influence of Electricity on Vegetation. *Journal of the Horticultural Society*, 1, 81-109.

**Takikawa, Y., Kakutani, K., Kimbara, J., Kusakari, S., Matsuda, Y., Nonomura, T., Osamura, K., Toyoda, T.** (2015.). Electrostatic Insect Sweeper for Eliminating Whiteflies Colonizing Host Plants: A Complementary Pest Control Device in An Electric Field Screen-Guarded Greenhouse. Institute of Advanced Technology, Kinki University, Wakayama. *Insects*, 6(2), 442-454.

**Takikawa, Y., Kakutani, K., Matsuda, Y., Nonomura, T., Kusakari, S., Toyoda, H.** (2019.). A Promising Physical Pest-Control System Demonstrated in a Greenhouse Equipped with Simple Electrostatic Devices that Excluded all Insect Pests. *Journal of Agricultural Science*, 11(18), 1.

**Takikawa, Y., Matsuda, Y., Nonomura, T., Kakuani, K., Kusakari, S., Toyoda, H.** (2019a.). Exclusion of Flying Insect Pests From a Plastic Hoop Greenhouse by a Bamboo Blind-Type Electric Field Screen. *Journal of Agricultural Science*, 12(2), 50.

**Tanaka, N., Matsuda, Y., Kato, E., Kokabe, K., Furukawa, T., Nonomura, T., Honda, K., Kusakari, S., Imura, T., Kimbara, J., Toyoda, H.** (2008.). An Electric Dipolar Screen with Oppositely Polarized Insulators for Excluding Whiteflies from Greenhouses. *Crop Protection*, 27(2), 215-221.

**Toyoda, H.** (2020.). Insect Physical Control: Electric Field-Based Pest Management Approach. *Research Association of Electric Field Screen Supporters. Insects*, 11(8), 480.

**Watson, D.B., Sedcole, N.P., Chan, E., Smart, K.G., Patel, S.M.** (1997.). The Movement of Insects in an Electric Field. *10th International Conference on Electromagnetic Compatibility*, 54-58.

.....  
**Wheaton, F.W.** (1968.). Effect of Various Electrical Fields on Seed Germination. Retrospective Theses and Dissertations. Iowa State University.

**Stručni rad**