

Biosenzori

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

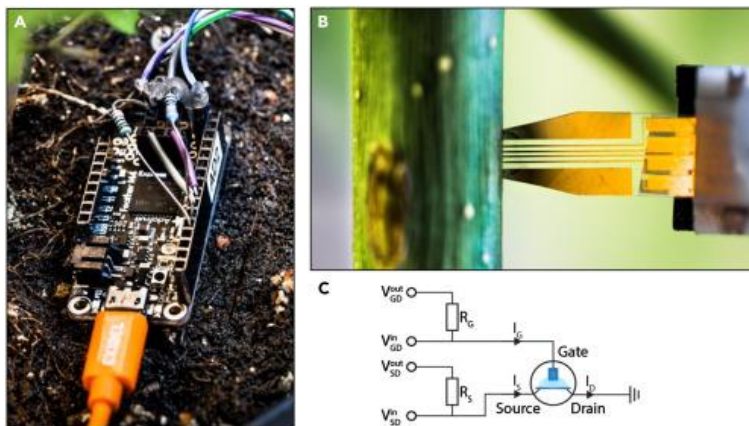
Suvremeni *biosenzori* u realnom vremenu registriraju što se trenutno događa u živim bićima, uključujući i biljke, npr. postoje li problemi s ishranom (ima li u tlu dovoljno vode i hraniva), jesu li usjevi i nasadi bolesni ili napadnuti od štetnika i dr. Biosenzori su efikasna zamjena za tradicionalne analitičke metode, jer su dovoljno precizni, znatno brži, jednostavni za korištenje, ekonomični i pouzdani. Oni udružuju prepoznavanje nekog događaja (promjena energije, tvari, kemijskih reakcija) s pretvaračem (transdudktor) u razumljiv signal/mjernu jedinicu te u potpunosti zamjenjuju pojedinu analitičku metodu.

Suvremeni trendovi u unapređenju primarne produkcije oslanjaju se na sofisticirane matematičke modele koji zahtijevaju mjerne, kvantitativne podatke o rastu, razvoju i tvorbi prinosa u različitim agroekološkim uvjetima, a potrebu za potrebnim podacima mogu osigurati suvremeni biosenzori izuzetne vremenske i prostorna razlučivost koji ne utječu značajno na poremećaj fizioloških procesa.

Budući da su biosenzori mali, brzi, jeftini i vrlo osjetljivi analitički uređaji, zapravo fizikalno-kemijski detektori kojima je moguće kontinuirano tijekom vegetacije pratiti kako vanjske (*abiotске*) faktore, tako i unutarnje (*biotske ili biljne*) faktore rasta, razvoja i tvorbe prinosa, razumljivo je da se radi na njihovom razvoju, usavršavanju i primjenjuju u biljnoj proizvodnji, ekološkim i ekofiziološkim istraživanjima.

Biosenzori su sve manji zahvaljujući napretku interdisciplinarnih znanja (*nanotehnologije, površinske kemije, biomimetičkih komponenti* (sintetskih struktura koje oponašaju funkciju prirodnih spojeva) koje reagiraju s *analitom* (pojednom komponentom ispitivane tvari itd.) te se lako ugrađuju u pojedina tkiva i biljne organe. S obzirom na tip bioprepoznavanja biosenzori se mogu klasificirati kao *enzimski, aptamerni* (lat. *aptus* = pristajati i *meros* = dio; *aptameri* su kratke, jednolančane molekule DNA ili RNA koje se mogu selektivno vezati na proteine, peptide, ugljikohidrate, male molekule, toksine, pa čak i žive stanice), na osnovi antitijela i dr. Mehanizam za pretvaranje mjernog signala najčešće je fizikalno-kemijskog tipa, npr. *optički, piezoelektrični, elektrokemijski, toplinski* itd. te je rezultat interakcije *analita* s *biološkim elementom* mjerna veličina koja preko pridruženog procesora signala kvantificira rezultat mjerenja i omogućuje interpretaciju, odnosno razumijevanje događaja u metabolizmu biljaka.

[Nedavno su istraživači sa Sveučilišta Linköping u Švedskoj razvili biosenzore na temelju organskih elektrokemijskih tranzistora koji se mogu implantirati u drvenaste poljoprivredne i šumske biljke, a omogućuju kontinuirano praćenje razine šećera u biljnim tkivima](#) (Slika 1.).

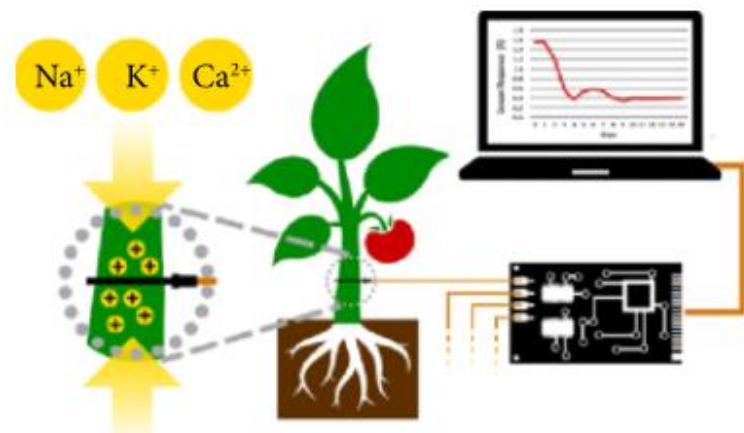


Slika 1. [Biosenzor za mjerenje šećera u drvenastim biljkama](#)

Budući da je sinteza šećera u biljkama povezana s rastom, ali i drugim metaboličkim procesima, interpretacija mjerenja ukazuje na značaj pojedinih faktora rasta i razvoja biljke, kao i njenom reakcijom na promjenu uvjetu u okolišu.

[Voda je, odmah iza energije Sunca, najznačajniji abiotски faktor u primarnoj produkciji i glavni faktor ograničenja prinosa](#), ali se potreba biljaka za vodom još uvijek najčešće utvrđuje preko vlage tla, premda već dugi niz godina postoji izravan način. Naime, utvrditi osmotsku vrijednost staničnog soka, npr. lišća, ili otvorenost puči izravno pokazuje „žed“ biljaka, odnosno mogućnost usvajanja vode ili čak i razinu stresa izazvanog sušom. Tzv. *bioristor* je senzor osjetljiv na stres izazvan sušom, posebno tijekom faze cvatnje i povećavanja plodova (Slika 2.) koji brzo i osjetljivo reagira na nedostatak vode.

Razvoj biosenzora za mjerenje sadržaja biogenih elemenata, osobito „*prinosotvornog*“ dušika, također vidno napreduje. [Od pojave ion selektivnih elektroda \(ionometri\), mjerenja florescencije klorofila i klorofilometara \(reflektometri\) i njihove praktične primjene za utvrđivanje boje usjeva, odnosno potrebe za N-prihranom](#), prošlo je nekoliko desetljeća. Budući da dušik biljke usvajaju uglavnom u mineralnoj formi (NH_4^+ i NO_3^-), za utvrđivanje koncentracije N u biljkama do sada su korištene kemijske metode koje su dugotrajne, skupe i



Slika 2. [Mjerenje promjena konc. iona u biljnom soku bioristorom \(elektrokemijski senzor na tekstilnoj niti\) bez ometanja biljnih funkcija](#)

izazvane štetnicima i patogenima opskrbu s dovoljno hrane čini sve rizičnijom. Premda je vizualna identifikacija patogena najlakši, ali ne i uvijek točan način dijagnoze biljnih bolesti, sve češće se dijagnoza zamjenjuje *fenotipiziranjem* i softverskom analizom snimaka, najčešće uz pomoć dronova radi visoke rezolucije snimaka. [Suvremeno dijagnosticiranje stanja usjeva obuhvaća više različitih tehnika snimanja: u vidljivom dijelu spektra, fluorescentnih snimaka klorofila, hiperspektralno snimanje elektromagnetskog spektra na svakom pikselu snimke i termovizijsko snimanje, a sve je praćeno računalnom analizom podataka uz automatsko klasificiranje i otkrivanje biljnih bolesti na slikama pomoću umjetne inteligencije.](#)

Suvremena poljoprivreda, često nazivana i [treća zelena revolucija](#) ili [pametna poljoprivreda](#) integrira *ICT* rješenja, odnosno *preciznu agrotehniku* s korištenjem interneta, *senzorima* i *aktuatorima*, sustavima za *geopozicioniranje*, brojnim podacima o prostoru, klimi, tlu, biljkama, tehnologiji i dr., bespilotnim letjelicama (tzv. dronovi), robotici itd., a senzori generiraju u realnom vremenu ogromnu količinu podataka koje je potrebno računalno obraditi i primijeniti. U takvom načinu primarne produkcije tradicionalne analitičke metode, koje se oslanjaju na ljude, imaju sve manje mjesta, jer su spore, skupe i kasne za razvojem i potrebama vegetacije ([naročito u određivanju potrebe za vodom i hranivima](#)), kao i potrebe za suzbijanjem patogena i štetočina.

U Osijeku, 23. ožujka 2021. god.

destruktivne. Jednako precizan, ali znato brži i jeftiniji način utvrđivanja usvajanja N_{min} je korištenje nove generacije biosenzora [utemeljenih na odgovoru promotorskog gena spojeno na genski fluorescentni protein \(GFP\), jer su točni, bez smetnji divalentnih iona i vanjskih faktora i ne utječu na metabolizam.](#)

Također, u fokusu istraživanja su biosenzori za utvrđivanje pojave bolesti i štetnika na usjevima koji se oslanjaju na nanotehnologiju. Naime, globalna potreba za hranom neprestano raste i sve je evidentniji nedostatak poljoprivrednog zemljišta, što uz gubitke ($12\text{-}80\% \text{ god}^{-1}$)