UDK:632.51:519.22

Pregledni rad-Review paper

Primena modela za izračunavanje gubitaka prinosa gajenih biljaka u zavisnosti od sastava, brojnosti i vremena suzbijanja korova

Siniša Mitrić¹, Vaskrsija, Janjić², Zlatan Kovačević¹,

Biljana Kelečević¹, Dragoslava Bjelošević

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Poljoprivredni fakultet;

²Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka

REZIME

Program integralnog suzbijanja korova (Integrated Weed Management- IWM). uključuje kombinaciju različitih metoda (agrotehničkih, mehaničkih, bioloških, genetskih i hemijskih) za efikasno i ekonomično suzbijanje korova. Uspješna primena koncepta integralnog suzbijanja korova nije moguća bez poznavanja karakteristika rasta korova i useva, te dinamike nicanja korova. Gubitak prinosa gajenih biljaka zavisi od mnogobrojnih faktora, od kojih su najbitniji gustine useva, brojnosti korova i plodnost zemljišta. Zavisnost gubitka prinosa se može istraživati kroz sagledavanje uticaja jedne korovske vrste i različitih vrsta korova ("mixed infestation") na gubitak prinosa. Sama istraživanja mogu biti empirijska i mehanicistička, a rezultati tih istraživanja se koriste za predviđanje gubitka prinosa, uz prihvatljiv nivo preciznosti, kroz upotrebu matematičkih modela. Jako je važno da se utvrdi koje je optimalno vreme za uklanjanje korova. Jedan od prvih koraka u konceptiranju integralnog suzbijanja korova je identifikacija kritičnog perioda za suzbijanje korova (Critical Period for Weed Control- CPWC). Naime, poznavanje ovog perioda je od koristi za donošenje odluka o potrebi za suzbijanjem, vremenu suzbijanja, a sve u zavisnosti od specifičnosti useva. Kritični period za suzbijanje korova se definiše kao vremenski period između dve faze rasta useva unutar koga je potrebno vršiti suzbijanje korova, kako bi se sprečio gubitak prinosa veći od 5%.

Ključne reči: korov, gubitak prinosa, kritični period za suzbijanje korova

UVOD

Integralna zaštita biljaka (Integrated Pest Management) predstavlja integralni koncept suzbijanja štetnih organizama i ograničavanja njihove populacije i štetnosti zasnovane na zdravstvenim, ekonomskim i ekološkim principima. Sastavni deo integralne zaštite biljaka je i sistem integralnog suzbijanja korova (Integrated Weed Management- IWM). Program IWM uključuje kombinaciju različitih metoda (agrotehničkih, mehaničkih, bioloških, genetskih i hemijskih) za efikasno i ekonomično suzbijanje korova (Swanton and Weise, 1991). Uspesna primena koncepta integralnog suzbijanja korova nije moguća bez poznavanja karakteristika rasta korova i useva, te dinamike nicanja korova (Akobundu, 1998; Forcella, 1998, cit. Sattin and Berti, 2003). Jako je važno da se utvrdi koje je optimalno vreme za uklanjanje korova (Akobundu, 1998; Labrada, 1996, 1998., cit. Sattin and Berti, 2003). Jedan od prvih koraka u konceptiranju integralnog suzbijanja korova je, prema Knežević et al., (2002), određivanje kritičnog perioda za suzbijanje korova (Critical Period for Weed Control CPWC). Naime, poznavanje ovog perioda je od koristi za donošenje odluka o potrebi za suzbijanjem, vremenu suzbijanja, a sve u zavisnosti od specifičnosti useva (Knežević et al., 2002, 2015).

Knežević et al. (2002, 2015) su definisali kritični period za suzbijanje korova kao vremenski period između dve faze rasta useva unutar koga je potrebno vršiti suzbijanje korova, kako bi se sprečio gubitak prinosa veći od 5%. Početak kritičnog perioda za suzbijanje predstavlja moment kada dolazi do gubitka prinosa od 5% na parcelama koje su bile pod konkurentnim delovanjem korova. Početak ovog perioda se može izraziti kao broj dana od setve (sadnje) gajene biljke ili pak suma efektivnih temperatura (°C dan). Krajem kritičnog perioda za suzbijanje korova se smatra onaj period kada je ostvaren prinos gajene biljke od 95%, na parcelama koje nikako nisu bile pod konkurentnim delovanjem korova.

PREDVIĐANJE GUBITKA PRINOSA USLED DELOVANJA JEDNE KOROVSKJE BILJKE

Istraživanje uticaja jedne korovske vrste na prinos gajenih biljaka obično polazi od pretpostavke da gustina useva ne varira, tj. da je intraspecijska konkurencija konstantna, pa se ovaj uticaj može pojednostavljeno posmatrati kao efekat jednog korova na prinos. Gubitak prinosa se može predvideti, uz prihvatljiv nivo preciznosti, kroz upotrebu matematičkih modela. Sama istraživanja mogu biti empirijska i mehanicistička.

Empirijski modeli se temelje na odnosima između nezavisnih varijabli (brojnost i pokrovnost korova, dinamika njihovog rasta, vreme od pojave korova

u odnosu na nicanje gajene biljke) i zavisne varijable, što obično predstavlja prinos useva. Mehanicistički modeli se, umesto na procesima uslovljenim samim rastenjem korovskih, odnosno gajenih biljaka, zasnivaju na istraživanjima fizioloških parametara odnosa korova i gajene biljke. U tu svrhu izučava se iskorišćavanje svetlosti, fotosintetski procesi, particioni odnosi između suve mase različitih delova korovske, odnosno gajene biljke. Dakle, mehanicistički modeli uključuju istraživanja mehanizma konkurentskih odnosa, sa velikim brojem ulaznih informacija, s tim što imaju ograničenu praktičnu upotrebu (Sattin and Berti, 2003).

Model koji se najčešće koristi za izračunavanje gubitka prinosa zavisno od brojnosti korova se temelji na modelu hiperbole (Cousens, 1985, cit. Sattin and Berti, 2003) koji je opisan jednačinom:

$$Y_L = \frac{i \cdot D}{1 + \frac{i \cdot D}{a}} \quad [1]$$

gde „ Y_L “ predstavlja relativan gubitak prinosa, vrednost „ D “ je brojnost korova, parametar „ i “ predstavlja početni nagib krive, dok vrednost „ a “ predstavlja maksimalni gubitak prinosa, koji je utvrđen pri visokoj brojnosti korova (Grafik 1).

Grafik 1. Hiperbolični prikaz relativnog gubitka prinosa u zavisnosti od brojnosti korova (Cousens, 1985, cit. Sattin and Berti, 2003).

Parametri prinosa i brojnosti korova su veoma varijabilni i zavise od gustine useva, brojnosti korova i plodnosti zemljišta. Vrednost „ i “ i „ a “, iz jednačine 1, se može koristiti za poređenje odnosa u sistemu „korov-usev“, posebno u aditivnim eksperimentima konkurencije, kada se posmatra uticaj korova različite brojnosti, kao zavisne veličine, na prinos gajene biljke kao nezavisne veličine. Suština aditivnog

eksperimentalnog modela je u tome da je konstantna gustina useva, a broj korovskih biljaka je promenljiv i kreće se od nulte do zadate maksimalne zastupljenosti po jedinici površine (Vrbničanin and Šinžar, 2003), tj. u ovim eksperimentima se korov sa različitom brojnošću seje (ili sadi) u usev gajene biljke, koja ima fiksni sklop. Jednačina 1 predstavlja relativan gubitak prinosa, koji se ne može direktno meriti, već se izračunava kao prinos gajene biljke koja je gajena sa i bez uticaja korova. Jednačina 1 se može prilagoditi tako što se uvodi i treći parametar „ Y_{WF} “ koji predstavlja prinos ostvaren na parcelama na kojima nije bilo korova („Weed-Free“). Na ovaj način gubitak prinosa se može bolje proceniti, jer su u jednačinu uključeni svi posmatrani podaci, a ne samo oni sa parcela na kojima su korovi suzbijani. Dakle proširena jednačina glasi:

$$Y = Y_{WF} \left(1 - \frac{i \cdot D}{1 + \frac{i \cdot D}{a}} \right) \quad [2]$$

Jednačine 1 i 2 polaze od pretpostavke da usev i korov niču istovremeno, a što se u praksi retko dešava (Sattin and Berti, 2003). Stoga su Cousens et al. (1987, cit. Sattin and Berti, 2003) uveli modifikaciju gore navedenog modeala da bi istovremeno uzeli u obzir brojnost korova i relativno vreme nicanja useva i korova, dakle:

$$Y_L = \frac{i \cdot D}{e^{c \cdot te} + \frac{i \cdot D}{a}} \quad [3]$$

gde oznake Y_L , i D , a imaju isto značenje kao i u jednačini 1, dok je „ te “ relativno vreme pojave useva i korova, a parametar „ c “ je regresioni parametar koji izražava variranje konkurentnosti korova u zavisnosti od vremena njihovog nicanja.

Jednačina 3 je poboljšanje u odnosu na jednačinu 1, jer omogućava bolje korišćenje eksperimentalnih podataka, pogotovo kada korovi ne niču istovremeno sa gajenom biljkom. Kada imamo postepeno nicanje korova onda određivanje vrednosti „ te “ postaje teško i dugotrajno, a procene parametra teško dokazive. Osim toga procena parametara „ i “ i „ a “, a koji takođe zavise od parametra „ te “, generalno pokazuje visoku varijabilnost s obzirom na godinu i lokaciju. Ovaj nedostatak se može, bar, delimično ukloniti pomoću temperaturne sume, umesto broja dana kao „biološke skale“.

Brojnost korova, kao promenjiva, se najčešće koristi da objasni varijacije u gubitku prinosa useva. Ovo ima jasne prednosti, kao što su **a)** jednostavnost kontrole brojnosti korova u eksperimentima i **b)** određivanje brojnosti u polju je relativno lako i brzo. Takođe, ima i neke nedostatke **a)** u polju je teško kontrolisati vreme pojave

korova u odnosu na gajenu biljku, posebno kada do nicanja dolazi postepeno („u talasima“) i b) modeli bazirani na brojnosti korova imaju slabije ekofiziološke osnove (Sattin and Berti, 2003).

Neki autori su, stoga, pokušali da identifikuju druge varijable koje bi se u isto vreme mogle lako izmeriti i odrediti konkurentost korova u različitim vremenima nicanja korova i useva, a da sve ima „ekofiziološki prizvuk“, kako navode Sattin and Berti (2003). Tako se predviđanje gubitka prinosa može vršiti na bazi površine lista ili relativne pokrovnosti korova. Kropff and Spitters (1991) su predložili model koji se zasniva na odnosu relativne lisne površine korova („Relative Leaf Area“, L_W), definisane kao odnos između indeksa lisne površine korova („Leaf Area Index“, LAI) i ukupnog indeksa lisne površine, tj. i useva (LAI_C) i korova (LAI_W), a što je predstavljeno u jednačini 4.

$$L_W = \frac{LAI_W}{LAI_C + LAI_W} \quad [4]$$

LAI_C i LAI_W su indeksi lisne površine useva, odnosno korova. L_W može varirati od 0 (nula), kada nema korova, do 1 (jedan), kada je korov sve pokrio.

Mnogobrojni autori su pokazali, prema navodima Sattin and Berti (2003), uzevši u obzir procese koji regulišu rastenje useva i rezultate mnogobrojnih simulacija sa ekofiziološkim kompetitivnim modelima, da relativna lisna površina korova u momentu "zatvaranja reda", u odnosu na usev, može biti ključna za merenje konkurentnosti sa konačnim gubitkom prinosa. Odnos između gubitka prinosa- Y_L i relativne lisne površine korova- L_W , predstavljen je jednačinom:

$$Y_L = \frac{q \cdot L_W}{1 + (q - 1) \cdot L_W} \quad [5]$$

gde je „ q “ indeks konkurentnosti određenog korova u usevu, koji se još naziva relativni koeficijent oštećenja.

Kropff et al. (1995, cit. Sattin and Berti, 2003) su modifikovali jednačinu (5) korišćenjem parametra „ m “ koji predstavlja maksimalnu štetu nastalu prisustvom korova (asimptota od hiperbole), a što je predstavljeno jednačinom 6. Jednačina 6 se može porediti sa jednačinom 1, s tim da se u njoj umesto brojnosti korova uzima relativna lisna površina.

$$Y_L = \frac{q \cdot L_W}{1 + \left(\frac{q}{m} - 1\right) \cdot L_W} \quad [6]$$

Glavni problem u ovom pristupu je pouzdano i brzo merenje relativne lisne površine- LW . Ustvari, precizno merenje površine lista je moguće sa destruktivnim uzorkovanjem biljaka (i korova i useva), ali ova metoda nije ni brza, ni ekonomična. Alternativa je u vizualnim ocenama, s stručnjakom koji bi vršio procenu pokazatelja lisne površine između useva i korova. Na ovaj način, verovatno je moguće, uz odgovarajuću obuku, dobiti dobre rezultate, ali nivo subjektivnosti u evaluaciji LW ne može biti eliminisan (Sattin and Berti, 2003).

Umesto relativne lisne površina- LW , konkurentnost korova se može oceniti na osnovu relativne pokrovnosti- **RC (Relative Cover- RC)**. Ta pokrovnost predstavlja projekciju površine gornjih listova korova, odnosno useva, na površinu zemljišta na kojoj se te biljke nalaze. Posmatrajući pokrovnost, vertikalno odozgo, gornji deo biljnog pokrova će biti formiran od listova useva i korova. Odnos između površine zemljišta, koja je pokrivena listom korova (W) i ukupne površine zemljišta pokrivenog listom i useva (C) i korova (W), predstavlja relativnu pokrovnost (**Relative Cover- RC**). Relativna pokrovnost, uzimajući u obzir pokrovnost površinu korova (W), odnosno useva (C) se izračunava primenom jednačine 7 (Sattin and Berti, 2003).

$$RC = \frac{W}{W + C} \quad [7]$$

Može se zaključiti, posmatrajući obrazac za **RC** , da što je vrednost **RC** veća, to će veći deo sunčevog zračenja biti apsorbovan od strane korova, a samim tim će i konkurencija korova biti intenzivnija. Ova metoda je utemeljena na dve pretpostavke: a) smanjenje usvajanja svetla od strane gajenih biljaka za posledicu ima smanjenje svih drugih mehanizama, jer pokrovnost lista je „integrator“ kombinovanih efekata kompeticije za svetlost, vodu i mineralna hraniva, a možda i alelolopatskih efekata, pošto se zbog smanjenog iskorišćavanja svetla, smanjuje visina i masa izdanka, a time i lisna površina i intercepcija (presretanje) svetlosti (Sattin and Berti, 2003) i b) konkurencija korova koji su manje visine od gajene biljke ili koje je gajena biljka natkrila je zanemariva, jer samo korovi koji prerastu gajenju biljku ili su u namanju ruku kao i ona mogu uspešno iskorišćavati svetlo. Berti and Sattin (1996) su ovu metodu preporučili samo za srednje niske biljke, kao što su soja i grašak, dok korišćenje relativne pokrovnosti, kao mere konkurentnosti, još uvek mora biti ispitina kod širokorednih i visokih gajenih biljaka, kao npr. kukuruza i suncokreta. Veza između gubitka prinosa (Y_L) i relativne pokrovnosti- **RC** je iskazana jednačinom:

$$Y_L = \frac{q \cdot RC}{1 + \left(\frac{q}{m} - 1\right) \cdot RC} \quad [6]$$

Podaci o relativnoj lisnoj površini- L_W i relativnoj pokrovnosti- RC mogu se koristiti za predviđanje gubitka prinosa u trenutku zatvaranja redova (Kropff, 1988; Pike et al., 1990; Berti and Sattin, 1996). Procena gubitka prinosa mora da uključi parametre pomoću kojih se predviđa razvoj korova, od nicanja, pa sve do zatvaranja redova. Ovo je još jedan izvor varijabilnosti koji mora biti određen pomoću odgovarajućih eksperimenata.

Glavna prednost relativne pokrovnosti (RC) je lakše merenje, dok se relativna lisna površina (L_W) temelji na omerima indeksa lisne površine korova (LAI) i stoga zahteva da se za sve listove utvrdi njihova površina. Utvrđivanje RC zahteva merenje omera pokrovnosti između useva i korova okomito odozgo, a što se može učiniti pomoću subjektivne vizualne procene ili, preciznije, prema merenjima sa fotografija snimljenih sa visine od 2-3 m iznad useva (Sattin and Berti, 2003).

GUBICI PRINOSA UZROKOVANI RAZLIČITIM VRSTAMA KOROVA

Proučavanje uticaja jedne korovske vrste na prinos je ograničenog praktičnog značaja, jer gajene biljke rastu u prisustvu različitih korovskih vrsta i uz preduzimanje različitih mera suzbijanja, pri čemu različiti herbicidi nemaju isti spektar efikasnosti. Izbor između opcija suzbijanja (ako i kada tretirati) mora uzeti u obzir gubitak prinosa koji bi nastao kada se korovi uopšte ne bi suzbijali i gubitak prinosa uzrokovan korovima koji su preživeli dati tretman. Sagledavanje konkurentskog delovanja korova između ove dve opcije, uključujući i situaciju kada su gajene biljke bile potpuno lišene korova, kroz celi vegetacioni period zahteva procenu uticaja različitih korovskih vrsta ("mixed infestation") na prinos gajenih biljaka. U sagledavanju odnosa između brojnosti korova i gubitka prinosa gajene biljke, najčešće se koriste metode kojima je odnos između brojnosti korova i gubitka prinosa aditivan. Očigledno je da dve različite korovske vrste, čak i kada imaju istu brojnost, uzrokuju različit gubitak prinosa. Stoga nije moguće utvrditi direktnu zavisnost između utvrđene brojnosti korova i procene konkurentne sposobnosti svih korova na nekoj parceli u celini. U tom smislu postoje tri glavna pristupa u proceni konkurentne sposobnosti različitih korova:

- Wilkerson et al. (1991) su predložili izračunavanje ukupnog kompetitivnog opterećenja ("Total Competitive Load- TCL "),
- Berti and Zanin (1994) su predložili koncept ekvivalentne brojnosti ("Density equivalent concept- Deq ") i predstavlja osnovu za podršku sistemu odlučivanju (GESTINF) koji je prilagođen italijanskim uslovima i
- Treća metoda se odnosi na relativnu pokrovnost i ona je u eksperimentalnoj fazi (Sattin and Berti, 2003).

Metod ukupnog kompetitivnog opterećenja. Model ukupnog kompetitivnog opterećenja, kao osnovu, koristi kompetitivni indeks (**CI**), koji je definisao Coble (1986, cit. Bennett et al., 2003). Ovaj indeks predstavlja stepen konkurentnosti korovskih vrsta u odnosu na gajene biljke i kreće se u rasponu od 0-10, pri čemu se vrednost 10 dodeljuje najkonkurentnijoj korovskoj vrsti. Kompetitivni indeks CI je relativni pokazatelj konkurentnosti korova, a veća vrednost označava i konkurentiji korov (Hock et al., 2006). Vrednost kompetitivnog indeksa se procenjuje na osnovu korišćenja rezultata raznih istraživanja i mišljenja stručnjaka.

Procena ukupnog kompetitivnog opterećenja se izračunava množenjem brojnosti korova po jedinici površine neke korovske vrste (**D**) sa njenim kompetitivnim indeksom (**CI**) i sumiranjem tih vrednosti za svaku vrstu prisutnu na izučavanom lokalitetu (Bennett et al., 2003). Kompetitivni indeksi su bazirani na korišćenju podataka iz sagledavanja gubitka prinosa u realnoj situaciji. Zatim, množenjem utvrđene brojnosti **i-te** korovske vrste sa njenim **CI**, dobija se njeno konkurentno ili kompetitivno opterećenje ("competitive load-**CL**") $CL_i = CI_i \cdot D_i$. Zbir ovih vrednosti za različite vrste prisutne na parceli predstavlja ukupno kompetitivno opterećenje (**TCL**) na konkretnoj parceli za konkretnu korovsku zajednicu $TCL = \sum CL_i$. Ova metoda se koristi u programu HERB koji se primenjuje za izbor opcija suzbijanja korova u soji i kukuruzu, nakon nicanja (Wilkerson et al., 1991). Hock et al. (2006) su razvili sistem za podršku u odlučivanju u suzbijanju korova, koji je predstavljen u programu Weed-SOFT, a koji se koristi u nekoliko severnih i centralnih zemalja SAD. Ovaj program koristi prilagođeni kompetitivni indeks-**ACI** koji se izračunava po jednačini:

$$ACI_i = CI_i \cdot CIM_i \quad [9]$$

gde je **CI_i** indeks konkurentnosti za i-tu korovsku vrstu u datom usevu, a **CIM_i** je modifikator koji određuje i-ta korovska vrsta i faza razvoja useva (Neeser et al., 2004, cit. Hock et al., 2006). Tako se **TCL** u ovoj modifikovanoj verziji Hock et al. (2006) izračunava po jednačini: $TCL = \sum (D_i \times ACI_i)$.

Koncept ekvivalentne brojnosti ("Density Equivalent Concept- **Deq**") za datu korovsku vrste je definisan kao brojnost referentne korovske vrste koja uzrokuje određeni gubitak prinosa, koji je jednak gubitku prinosa pri utvrđenoj brojnosti ispitivane korovske vrste (Sattin and Berti, 2003). Gubitak prinosa uzrokovan referentnom vrstom je predstavljen jednačinom:

$$Y_L = \frac{i_{ref} \cdot D}{1 + \frac{i_{ref} \cdot D}{a_{ref}}} \quad [10]$$

za i-tu prisutnu korovsku vrstu jednačina glasi:

$$Y_L = \frac{i_i \cdot D}{1 + \frac{i_i \cdot D}{a_i}} \quad [11]$$

Iz gornjih jednačina se može zaključiti da **Deq** za **i-tu** vrstu (**Deqi**) je vrednost brojnosti referentne vrste koja čini dve prethodne jednačine jednakim, dakle:

$$\frac{i_{ref} \times Deqi}{1 + \frac{i_{ref} \times D_i}{a_i}} = \frac{i_i \times D_i}{1 + \frac{i_i \times D_i}{a_i}} \quad [12]$$

a nakon niza algebarskih koraka dolazi se do jednačine:

$$Deq = \frac{i_i \times D_i}{i_{ref} + i_{ref} \cdot i_i \cdot D_i \left(\frac{1}{a_i} - \frac{1}{a_{ref}} \right)} \quad [13]$$

Jednačina za **Deq** se može pojednostaviti odabirom referentnih hipotetičkih vrsta za koje parametri „**i**“ i „**a**“ imaju vrednost 1. Uz ovu pretpostavku, kako navode Sattin and Berti (2003), dobijamo jednačinu:

$$Deq = \frac{i_i \cdot D_i}{1 + i_i \cdot D_i \left(\frac{1}{a_i} - 1 \right)} \quad [14]$$

Zbrajanjem **Deq** za svaku prisutnu vrstu, dobija se ukupni ekvivalent brojnosti **Deq_t = Σ Deq**, a gubitak prinosa se tada računa po jednačini:

$$Y_L = \frac{Deq_t}{1 + Deq_t} \quad [15]$$

Kada se znaju indeksi „**i**“ i „**a**“ za svaku vrstu, moguće je izračunati gubitak prinosa koji može biti prouzrokovan bilo kojom kombinacijom tih korova (Sattin and Berti, 2003).

Relativna lisna površina i metoda relativne pokrovnosti. Ako se konkurentnost ocenjuje pomoću relativne lisne površina-**L_W**, umesto brojnosti, onda se jednačina koja se primenjuje za jednu vrstu (jednačina 6), može razviti sumiranjem, tako da se koristi za izračunavanje gubitka prinosa, kada na usev deluje više („**i**“) korovskih vrsta, tj. mešana populacija korova, te se koristi jednačina (Sattin and Berti, 2003):

$$Y_L = \frac{\sum_i q_i \cdot Lw_i}{1 + \sum_i \left(\frac{q_i}{m_i} - 1 \right) \cdot Lw_i} \quad [16]$$

gde je q_i relativni koeficijent štetnosti za i -tu korovski vrstu, m_i je maksimalna šteta nastala prisustvom i -te korovske vrste, dok L_{wi} predstavlja realativnu lisnu površinu i -te korovske vrste.

Ako bi se relativna pokrovnost **RC** (Relative Cover-RC) uzela umesto **Lw**, kao opisna varijabla konkurentnog odnosa između useva i korova, onda proširenje na situaciju sa više korova („multi-species situation”) je jednostavno. Naime, RC sam po sebi predstavlja odnos horizontalne projekcije površine gornjih listova korova u odnosu na projekciju gornjih listova i useva i korova (jednačina 7). To proširenje bi se uradilo integrišući odnose lisnih površina za različite korovske vrste. To suštinski znači da je **RC** viševrsni („multi-species”) deskriptor. Stoga se merenja izvršena na terenu mogu direktno koristiti za procenu gubitka prinosa pod uticajem različitih vrsta korova (vidi jednačinu 8) (Sattin and Berti, 2003).

ODNOSI IZMEĐU PRINOSA USEVA I VREMENA POJAVE I VREMENA SUZBIJANJA KOROVA

Uzimajući u obzir važnost rane konkurentnosti korova lako se može shvatiti trend između gubitka prinosa i vremena nicanja i suzbijanja korova. Uticaj korova na gubitak prinosa, značajno zavisi od dužine prisustva korova na parceli (Grafik 2). Odnos između dužine trajanja prisustva korova i smanjenja prinosa useva je sigmoidnog tipa. Korovi koji se kratko zadržavaju na parceli imaju mali efekat na prinos. Ako korov deluje duže gubitak prinosa je veći, sve dok se ne dostigne svoju maksimalnu vrednost. Ova maksimalna vrednost odgovara gubitku prinosa koji bi se ostavario, ako bi usev bio celu vegetaciju pod prisustvom korova. Štete usled početnog delovanja korova kod kukuruza i soje su relativno niske, dok su kod većine povrtnarskih useva mnogo veće.

Grafik 2.

Relativni prinos gajenih biljaka (%) u odnosu na prinos ostvaren na parcelama lišenih korova („weed-free test”), u funkciji trajanja kompeticije (tj. vremena za uklanjanje korova, izraženo u °C dana) za gustinu korova od 10 biljaka po m²: 1=kukuruz u konkurenciji sa *Abutilon theophrasti*; 2=soja u konkurenciji sa *Amaranthus cruentus* L.; 3=luk u konkurenciji sa *Helianthus annuus* (Sattin and Berti, 2003).

Gubitak prinosa usled delovanja različitih korova na parceli može se izraziti u funkciji maksimalnog prinosa ostvarenog (bez prisustva korova), dužine kompetitivnog delovanja korova i vremena pojave korova i suzbijanja korova. Ovi faktori su specifični za svaku lokaciju i zavise od više faktora, kao što su period bez korova ("Weed-Free Period-**WFP**") i period tolerancije na konkurentnost korova ("Duration of Tolerated Competition-**DTC**"). i opisuju ih različite krive za različite godine i/ili lokacije.

Osnovno pitanje koje se postavlja, koliko su ovi podaci varijabilni u prostoru i vremenu. Sattin et al. (1996) su analizirali varijabilnost **DTC** i **WFP** krivih u područjima sa ujednačenim temperaturnim uslovima. Zaključili su da bez obzira na razlike u korovskoj flori između eksperimentalnih područja, obrazac tih odnosa više zavisi od karakteristika useva, nego od sastava korovske flore. Ako se rezultati ovih autora potvrde i u drugim eksperimentima, onda će predviđanje gubitaka prinosa usled delovanja različitih korova na nekom području zahtevati jedan veliki eksperiment povezan sa efektima vremena nicanja korova i njihovog uklanjanja, tj. utvrđivanje zakonomernosti između konkurentskog opterećenja korovima i gubitka prinosa. Ta vrsta istraživanja je značajno jednostavnija nego istraživanje koje bi uključilo odnose između trajanje tolerancije na konkurentnost ("Duration of Tolerated Competition - **DTC**"), dužine perioda bez korova ("Weed-Free Period- **WFP**"), brojnosti korova i gubitka prinosa useva.

Plan postavke ogleda kojim se utvrđuje zakonomernost između vremena nicanja korova i njihovog suzbijanja i prinosa useva prikazan je na grafiku 3. Upravo ovako dizajniran ogled predstavlja osnovu za određivanje kritičnog perioda i optimalnog vremena za suzbijanje korova.

Grafik 3. Primer tretmana u eksperimentu koji se odnosi na istraživanje uticaja konkurencije korova na pasulj (Aleman, 1989).

Na našem području autori su se bavili proučavanjem uticaja herbicida na prinos gajenih biljaka, hemijski sastav poljoprivrednih proizvoda i neke druge morfološke

i fiziološke pokazatelje gajenih biljaka (Janjić et al., 1970, 1972, 1973, 1976a, 1976b, 1983, 1984, Marinković, 1997). Veliki broj istraživanja je bio usmeren na proučavanje delovanja herbicida na semenske useve, pre svega semenski kukuruz. Istraživanja uticaja korova na prinos gajenih biljaka su bila manje zastupljena ili su se ta istraživanja uglavnom fokusirala na utvrđivanje efikasnosti herbicida.

Malidža and Rajković (2011) su ustanovili da je gubitak prinosa kukuruza na kontrolnim parcelama 77,6% u 2010., odnosno 73,5% u 2011. godini u odnosu na prinos kukuruza ostvaren na parcelama na kojima su primenjeni herbicidi bili najefikasniji, dok je u istraživanjama Jovović et al. (2000) gubitak prinosa kukuruza na netretiranim parcelama iznosio 41,4%. Bjelošević (2016) je u ogledu sa kukuruzom utvrdila da je smanjenje prinosa kukuruza, koji je celu vegetaciju bio pod delovanjem korova, iznosilo 75,1 do 75,3% u odnosu na prinos kukuruza na parcelama bez korova. Šinžar et al. (1988) su ustanovili da je gubitak prinosa krompira na neokopavanim parcelama iznosi 29,7% u odnosu na na obrađivane parcele, tj. da je gubitak 38,4% u odnosu na najefikasniju kombinaciju herbicida. Mitrić et al. (2003) su utvrdili gubitak prinosa krompira 58,6% na parcelama koje su stalno bile pod korovima, u odnosu na najefikasniju kombinaciju herbicida. Milićević (2015) je ustanovila da je prinos krompira na parcelama sa stalnim prisustvom korova bio za 29,1-34,6% manji od prinosa krompira na kojeg korovi nisu delovali. Glušac et al. (1994) su utvrdili da je prinos pasulja na neokopavanim parcelama bio manji za 23,7 - 37,7%, zavisno od godine istraživanja, u odnosu pasulj koji je bio okopavan. Mijatović et al. (2000) su ustanovili da je prinos zelenih mahuna graška, gajenog pod delovanjem korova, bio, zavisno od sorte, za 28,4 - 35,3% manji nego na parcelama na kojima su ostvareni najveći prinosi, a na kojima su korovi suzbijani herbicidima.

KRITIČAN PERIOD I OPTIMALNO VREME ZA SUZBIJANJE KOROVA POSLE NIKANJA (POSTEM)

Sistem integralnog suzbijanja korova uključuje kombinaciju agrotehničkih, mehaničkih, bioloških, genetskih i hemijskih metoda kojima se efikasno i ekonomično suzbijaju korovi (Swanton and Weise, 1991). Princip IWM treba da predstavlja temelj za razvoj sistema suzbijanja korova i efikasnu primenu herbicida. Poznavanje kritičnog perioda za suzbijanje korova (CPWC) je ključan za primenu koncepta IWM (Knežević et al., 2002, 2007, 2015). Ivanek-Martinčić et al. (2010) kritični period za suzbijanje korova definišu i kao kritično razdoblje zakorovljenosti (KRZ). Mnogobrojni autori (Zimdahl, 1988; Knežević et al., 2002) navode da su prvi autori koji su uveli ovaj pojam u literaturu bili Vega et al. (1967, cit.: Zimdahl, 2004) i Nieto et al. (1968). Do sada je veliki broj autora definisao pojam kritičnog perioda za suzbijanje korova, a može

se izdvojiti definicija Knežević et al. (2002). Knežević et al. (2002) kritični period za suzbijanje korova (CPWC) definišu kao vremenski interval utvrđen u dva odvojena seta ogleđa (Grafik 3 i 4) u kojima se istražuje uticaj korova na prinos useva, koji imaju za cilj utvrđivanje kritičnog vremena uklanjanja korova (Critical Timing of Weed Removal- CTWR) i kritičnog perioda bez korova (Critical Weed-Free Period- CWFP).

Prvim setom ogleđa se istražuje kako povećanje trajanja prisustva korova u funkciji vremena utiče na prinos i u tom delu ogleđa se uvrđuje kritično vreme uklanjanja korova (CTWR). Kritično vreme uklanjanja korova predstavlja maksimalan period u kome korovi u svojoj ranoj vegetaciji mogu da budu prisutni u usevu, a da zbog toga ne dođe do nepovratnog gubitka prinosa. Ovaj period Alemán (1989) naziva i rani prag kritičnog perioda. U tom delu ogleđa, korovi se razvijaju zajedno sa usevom u 5 do 7 vremenskih intervala, međusobno ravnomerno raspoređenih, recimo 7, 14, 21, 28, 35, 42 i 49 dana nakon setve (sadnje), da bi se nakon isteka tog perioda korovi mehanički uklanjali ili suzbijali na neki drugi način. Vreme trajanja delovanja korova na usev može se iskazati preko broja dana nakon nicanja (Days After Emergence- DAE) ili je bolje, radi uporedivosti podataka između različitih lokacija da se broj dana nakon nicanja iskoristi za izračunavanje sume aktivnih temperature (Growing Degree Days- GDDs), a Gilmore and Rogers (1958) predlažu da se ona računa po jednačini:

$$GDD = \sum \left\lceil \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right\rceil - T_{base} \quad [17]$$

gde su Tmax i Tmin maksimalne i minimalne temperature vazduha merene svakog dana (°C), a Tbase je bazična temperatura vazduha, obično 10°C.

Obično se uzima da taj period počinje kada usled ranog konkurentnog delovanja korova dolazi do gubitka prinosa od 2 ili 5%, ređe 10% u odnosu na prinos ostvaren bez prisustva korova. Taj gubitak prinosa od 2 ili 5% je prihvatljivi gubitak prinosa (Acceptable Yield Loss- AYL).

Odnos između dužine konkurentnog delovanja korova i prinosa gajenih biljaka se po većini autora (Hall et al., 1992; Knežević et al., 2002) opisuje logističkom funkcijom. Ovu zavisnost su Knežević et al. (2007) su opisali četvero-parametarskim log-logističkim modelom, predstavljenim jednačinom:

$$Y = \frac{C + (D - C)}{\{1 + \exp[B(\log X - \log E)]\}} \quad [18]$$

gde je Y odgovor (npr. prinos ili procenat gubitka prinosa ostvarenog na parcelama bez korova), C je donja granica prinosa, D je gornja granica prinosa, dok je X vreme nakon nicanja useva (vreme, kao nezavisno promenljiva, se nanosi x-osu i izražava u sumi efektivnih temperatura- GDD ili dana nakon nicanja- DAE), E je takođe vreme

nakon nicanja koje daje 50% odgovor između donje (**C**) i gornje granice (**D**), a poznat je i kao tačka infleksije (I50 ili ED50), a **B** je nagib tangente u tački infleksije (**E**).

Drugi deo oglada istražuje kako dužina perioda bez korova utiče na ukupan prinos. Na ovaj način se utvrđuje kritični period bez korova (**CWFP**), odnosno minimalan vremenski period koji treba da prođe od nicanja useva, do trenutka kada usev mora bez prisustva korova da ne bi došlo do neprihvatljivog gubitka prinosa. U tom delu oglada obično se utvrđuje kasni prag kritičnog perioda, odnosno onaj broj dana od setve (sadnje) u kome usev dostiže 95% prinosa ostvarenog u delu oglada u kojem je usev bio bez prisustva korova. Ovaj odnos je u ranijim literaturnim navodima opisan Gompertzovom regresionom funkcijom:

$$Y = a \cdot \exp(-b \cdot \exp(-k \cdot T)) \quad [18]$$

gde **Y** i **T** imaju isto značenje kao u prethodnom obrascu, dok je **a** asimptota maksimalnog prinosa, **b** i **k** su konstante (Hall et al., 1992). Knežević et al. (2007) kritični period bez korova izračunavaju troparametarskim log-logističkim modelom, što odgovara gornjoj četvero-parametarskoj funkciji, pri čemu je vrednost za **C** na nuli, te jednačina glasi:

$$Y = \frac{D}{\{1 + \exp[B(\log X - \log E)]\}} \quad [19]$$

Prvi prag kritičnog vremena uklanjanja korova (**CTWR**) predstavlja početak kritičnog perioda suzbijanja korova, a drugi kritični period bez korova (**CWFP**) njegov kraj. Teorijski gledano suzbijanje korova pre i posle kritičnog perioda suzbijanja korova (**CPWC**) ne može doprineti bitnijem očuvanju prinosa useva. Da bi se utvrdio kritični period suzbijanja korova, neophodno je rezultate obe komponente kombinovati.

Osnova za definisanje kritičnog perioda suzbijanje korova (**CPWC**) je pojam statistički značajnog gubitka prinosa ili prihvatljivog gubitka prinosa. Kritični period suzbijanje korova se različito posmatran u stručnoj literaturi, a Berti et al. (1996) te pristupe dele na klasični i funkcionalni pristup.

Klasični pristup određivanja kritičnog perioda suzbijanje korova zasniva se na istraživanju u kojem je određivano koja dužina trajanja prisustva korova dovodi do statistički značajnog gubitka prinosa useva. Koristeći klasični pristup, moguće je utvrditi vremenski period unutar kojeg nema statistički značajnih gubitaka prinosa. Zimdahl (1988) je, koristeći ovaj pristup, zaključio da je za većinu ratarskih useva nepotrebno suzbijanje korova u prvih nekoliko sedmica nakon nicanja i korova i useva.

Funkcionalni pristup u svojoj osnovi ima nelinearne regresione zavisnosti, pri čemu se kao nezavisno promjenljiva uzima vreme trajanja zakorovljenosti, odnosno uklanjanja korova, ili suma efektivnih temperatura akumuliranih od setve, sadnje ili nicanja gajene biljke, dok se kao zavisno promenljiva uzima prinos gajene biljke. Ti regresioni odnosi po Knežević et al. (2007) se mogu opisati pomoću log-logističke, tro- i četvoreo-parametarske, regresije (Grafik 4). Te regresione funkcije su asimptotskog tipa. Suštinu funkcionalnog pristupa u definisanju kritičnog perioda suzbijanja korova prestavlja činjenica da se umesto statistički značajnog gubitka prinosa uvodi pojam prihvatljivog gubitka prinosa (Acceptable Yield Loss- AYL). Knežević et al. (2002) navode da je u mnogim studijama početak i kraj kritičnog perioda za suzbijanje korova utvrđen na osnovu prihvatljivog gubitka prinosa od 2,5 do 10%. Funkcionalni pristup u određivanju zavisnosti prinosa od dužine delovanja korova omogućava prilagođavanje pojma prihvatljivog gubitka prinosa, uzimajući u obzir troškove suzbijanja korova, očekivanu finansijsku dobit i finansijski rizik na tržištu (Knežević et al., 2002). Ovaj metodološki pristup se može koristiti za veoma različita istraživanja. Tako su Zhaleh et al. (2014) proučavali uticaj gustine kukuruza i dužine prisustva korova u usjevu kukuruza na prinos kukuruza.

Grafik 4.

Funkcionalna pristup za određivanje kritičnog perioda za suzbijanje korova (Knežević et al., 2002, 2007)

Knežević et al. (2002), na osnovu regresionih odnosa prikazanih na grafikonu 4, definišu kritični period za suzbijanje korova kao vremenski period između dve faze rasta useva (**CGSx** do **CGSy**) unutar koga je potrebno vršiti suzbijanje korova, kako bi se sprečio gubitak prinosa veći od 5%. Početak kritičnog perioda za suzbijanje korova predstavlja moment kada dolazi do gubitka prinosa od 5% na parcelama sa korovima, a izražava se kao broj dana od setve (sadnje) gajene biljke ili pak kao suma aktivnih temperatura ($^{\circ}\text{C}$ dan), kada gajena biljka dostigne fenofazu **CGSx**. Kraj kritičnog perioda za suzbijanje korova se smatra ona fenofaza gajene biljke (**CGSy**) kada je ostvareno 95% prinosa, u odnosu na prinos koji se postiže na parcelama bez prisustva korova. Unutar ovog kritičnog perioda treba smanjiti konkurenciju korova na minimum i usev osloboditi njihovog prisustva, kombinacijom svih raspoloživih mera suzbijanja. Ukoliko je taj period duži znači da će se suzbijanju korova morati pristupiti višekratno, najčešće dvokratnom ili trokratnom primenom herbicida uz kombinovanje međuredne kultivacije.

Mahmoodi and Rahimi (2009) su ustanovili da je kritični period za suzbijanje korova u kukurzu u fenofazi od 5 do 15 listova ili od 19 do 55 dana nakon nicanja kukuruza (19-55 DAE) za sprečavanje gubitaka prinosa od 5%. Ovaj period za sprečavanje gubitaka prinosa od 2,5% je od faze 4 do 17 listova, a ako se prihvatljivi gubitak poveća na 10%, onda se kritični period sužava na fazu 6-12 listova, tj. na period 25-47 dana nakon nicanja. Ako bi se prihvatio gubitak prinosa od 20% onda se kritični period smanjuje na svega 6 dana i trajao bi od 31 do 36 dana nakon nicanja, tj. između 8 i 9 lista kukuruza (Grafik 5).

Grafik 5. Uticaj korova na smanjenje prinosa kukuruza (Mahmoodi and Rahimi, 2009).

Alemán (1989) je trogodišnjem ogledu u pasulju izvedenom u Nikaragvi ustanovio, koristeći metodiku Nieto et al. (1968), da je kritičan period konkurentnosti korova između 21 i 28 dana, od setve, bez obzira na sklop pasulja. Jahanbakhshi and Saeedipour (2015) su u istraživanju u Iranu ustanovili da je kritični period za suzbijanje korova u boraniji od 10-63 dana od nicanja, za prihvatljivi gubitak prinosa od 5%. Ako se kao prihvatljivi gubitak prinosa uzme gubitak od 10%, onda je kritični period za suzbijanje korova u rasponu od 13-71 dan od dana nicanja. Kritični period za suzbijanje korova u boraniji je jako dug i u prvom slučaju ($AYL=5\%$) traje 53 dana, a u drugom ($AYL=10\%$) 58 dana, što govori o slaboj konkurentnosti boranije. Ahmadvand et al. (2009) su utvrdili da je kritični period za suzbijanje korova u krompiru na području zapadnog Irana počinje 19-24 dana nakon nicanja i traje 43-51 dan nakon nicanja, pri čemu su za prihvatljiv gubitak prinosa uzimali 10%.

ZAKLJUČAK

Istraživanja u oblasti konkurentnosti korova i uticaja korova na prinos imaju izuzetan akademski, a pre svega, praktični značaj. To se posebno odnosi na istraživanja koja bi bila usmerena na određivanje kritičnog perioda za suzbijanje korova. Ova istraživanja bi, kao višegodišnja istraživanja, trebalo organizovano sprovesti u glavnim proizvodnim regionima Bosne i Hercegovine. Dobijeni rezultati bi bili osnova za donošenje taktičkih i operativnih odluka u suzbijanju korova, te predstavljali pouzdanu podršku stručnoj službi.

LITERATURA

- Ahmadvand, G., Mondani, F., Golzardi, F.:** Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato, *Scientia Horticulturae*, 121, 249–254, 2009.
- Alemán, Z.:** Threshold periods of weed competition in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Crop Production Science 4. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden. p.42, 1989.
- Bennett, C. A., Price, J. A., Sturgill, C. M., Buol, S. G., Wilkerson, G. G.:** *Weed HADSS, Pocket HERB, and WebHADSS: Decision Aids for Field Crops.* Weed Technology, 17, 412–420, 2003.
- Berti, A., Zanin, G.:** Density equivalent: a method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. Weed Research, 34, 327–332, 1994.
- Berti, A., Sattin, M.:** Effect of weed position on yield loss in soybean and a comparison between relative weed cover and other regression models. Weed Research, 36, 249–258, 1996.
- Bjelošević, D.:** Uticaj brojnosti i dužine kompeticijskog djelovanja korova na kukuruz (*Zea mays* L.). Magistarski rad. Univerzitet u Banjoj Luci, Poljoprivredni fakultet, 2016.
- Gilmore, E. C., Rogers, R. S.:** Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, 50, 611–615, 1958.
- Hall, M. R., Swanton, C. J., Anderson, G.:** The critical period of weed control in grain corn (*Zea mays*). Weed Science, 40, 441–447, 1992.
- Hock, S. M., Knezevic, S. Z., Martin, A., Lindquist, J. L.:** Performance of WeedSOFT for Predicting Soybean Yield Loss. Agronomy & Horticulture - Faculty Publications. Paper 372. (<http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/372>), 2006.
- Ivanek-Martinčić, M., Ostojić, Z., Barić, K., Goršić, M.:** Važnost poznavanja kritičnoga razdoblja zakorovljenosti poljoprivrednih kultura. Poljoprivreda, 16(1), 57–61, 2010.
- Jahanbakhshi, M., Saeedipour, S.:** Determination of critical period of weeds control in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Iran. International Journal of Biosciences, 6(2), 411–417, (ISSN: 2220-6655 (Print), 2222-5234 (Online)); <http://www.innspub.net>; <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/6.2.411417>), 2015.
- Janjić, V., Mišljenović-Trifunović, M., Acimović, I., Štrbac, V.:** Uticaj herbicida CDAA i CIPC na prinos i hemijski sastav semena graška. Dokumentacija za tehnologiju i tehniku u poljoprivredi, 5(55), 1–7, 1970.
- Janjić, V., Trifunović, M., Acimović, I., Kljajić, R.:** Uporedna posmatranja promena prinosa i hemijskog sastava graška, luka i kupusa pod uticajem nekih herbicida. Agrohemija, 5(6), 247–255, 1972.
- Janjić, V.:** Uticaj herbicida na kvalitet finalnih proizvoda biljaka. Glasnik poljoprivredne proizvodnje, prerade i plasmata, 3, 1–5, 1973.
- Janjić, V., Acimović, I., Trifunović, M., Mišković, D., Kljajić, R.:** Prilog poznavanju promena prinosa i kvaliteta graška, luka i kupusa nastalih pod uticajem primene herbicida CDAA i CIPC. Agrohemija, 9–10, 389–397, 1976a.
- Janjić, V., Trifunović, M., Acimović, I., Mišović, M., Kljajić, R.:** Rezultati četvorogodišnjih ispitivanja promene prinosa i hemijskog sastava mrkve i krompira nastali pod uticajem primenjenih herbicida linurona i prometrina. Agrohemija, 3–4, 105–113, 1976b.
- Janjić, V., Trifunović, M., Bogdanović, V., Šinžar, B., Mišović, M.:** Proučavanje delovanja herbicida na prinos i kvalitet zrna kukuruza. Fragmenta herbologica Jugoslavica, 2(1), 51–58, 1983.

Janjić, V., Jevtić, S., Šinžar, B., Trifunović, M., Mišović, M.: Prilog proučavanju efikasnosti nekih herbicida u suzbijanju širokolisnih biljaka i njihovog delovanja na prinos i kvalitet sunčokreta. *Fragmenta herbologica Jugoslavica*, 13(2), 27-34, 1984.

Jovović, Z., Kovačević, D., Biberdžić, M., Momirović, N.: Uticaj primenjenih herbicida na prinos zrna i važnije komponente prinosa kukuruza. Zbornik radova sa šestog kongresa o korovima. Herbološko društvo Srbije, 439-446, 2000.

Knezevic, S. Z., Evans, S. P., Blankenship, E. E., Van Acker, R. C., Lindquist, J. L.: Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Agronomy and Horticulture Faculty Publications*. Paper 407. <http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/407>, 2002.

Knezevic, S. Z., Streibig, J. C., Ritz, C.: Utilizing R software package for dose-response studies: the concept and data analysis. *Weed Technology*, 21, 840-848, 2007.

Knezevic, Z. S., Datta, A.: The Critical Period for Weed Control: Revisiting Data Analysis. *Weed Science*, 63, 188-202, 2015.

Kropff, M. J.: Modelling the effects of weeds on crop production. *Weed Research*, 28, 465-471, 1988.

Kropff, M. J., Spitters, C. J.T.: A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative area of the weeds. *Weed Research*, 31, 97-105, 1991.

Mahmoodi, S., Rahimi, A.: Estimation of Critical Period for Weed Control in Corn in Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 3(1), 27-32, 2009.

Malidža, G., Rajković, M.: Efikasnost novih herbicida za suzbijanje divljeg sira u kukuruza. *Acta herbologica*, 20(2), 111-120, 2011.

Marinković, I., Živanović, M., Ognjenović, R., Knežević, D., Mićanović, D., Zečević, V.: Uticaj herbicida na masu 1.000 zrna i hektolitarska masu pšenica (*Triticum aestivum* L.). *Pesticidi*, 12(1), 15-23, 1997.

Mijatović, M., Ivanović, M., Đorđević, R.: Suzbijanje korova u usevu graška primenom različitih kombinacija herbicida. *Pesticidi*, 15(1), 67-74, 2000.

Miličević, S.: Ispitivanje dejstva linurona i prometrina na kontrolu korova, organsku produkciju i prinos krompira. Magistarski rad. Univerzitet u Banjoj Luci, Poljoprivredni fakultet, 2015.

Mitrić, S., Komljenović, I., Todorović-Mitrić, V.: Efikasnost folijarnih herbicida u usevu krompira. *Herbologija*, 4(1), 173-179, 2003.

Nieto, H. J., Brnd, M. A., Gonzales, J. T.: Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. *Pest Articles and News Summaries*, 14(2), 159-166, 1968.

Pike, D. R., Stoller, E. W., Wax, L. M.: Modeling soybean growth and canopy apportionment in weed-soybean (*Glycine max*) competition. *Weed Science*, 38, 522-7, 1990.

Sattin, M., Berti, A., Zanin, G.: Crop yield loss in relation to weed time of emergence and removal: analysis of the variability with mixed infestations. *Proceedings of the Second International Weed Control Congress*, Copenhagen, 67-72, 1996.

Sattin, M., Berti, A.: Parameters for weed-crop competition. In: *Weed Management for Developing Countries*, Addendum 1. Edited by Labrada, R. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, (ISBN 92-5-105019-8, ISSN 0259-2517, <http://www.fao.org/docrep/006/y5031e/y5031e04.htm#bm04>), 2003.

Šinžar, B., Mišović, M., Šušić, S., Bročić, Z.: Zakorovljenost i suzbijanje korova u usevu

krompira Dragačeva. Treći kongres o korovima, Jugoslovensko društvo za pručavanje i suzbijanje korova, *Fragmenta herbologica Jugoslavica*, 17(1-2), 307-318, 1988.

Swanton, C. J., Weise, S. F.: Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology*, 5, 648–656, 1991.

Vrbničanin, S., Šinžar, B.: Elementi herbologije sa praktikumom. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Zavet- Beograd, 1-322, 2003.

Wilkerson, G. G., Modena, S. A., Coble, H. D.: HERB: Decision model for post-emergence weed control in soybean. *Agronomy Journal*, 83, 413-417, 1991.

Zhaleh, A., Tavakkoli, A., Rastgoo, M.: Responses of Corn to Plant Density and Weed Interference Period. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(10), 1746-1750, 2014.

Zimdahl, R. L.: The concept and application of the critical weed-free period. In Altieri, M.A. Liebmann, M., eds. *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. pp. 145-155. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA, 1988.

Zimdahl, R. L.: *Weed-Crop Competition*. Second edition, John Wiley and Sons, USA, 2004.

The application of mathematical models to calculate the yield loss of cultivated plants depending on the composition, number and timing of weed control

Siniša Mitrić¹, Vaskrsija, Janjić², Zlatan Kovačević¹,

Biljana Kelečević¹, Dragoslava Bjelošević

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Poljoprivredni fakultet;

²Akademija nauka i umjetnosti Republike Srpske, Banja Luka

Summary

Program of Integrated Weed Management (IWM) involves a combination of different methods (agrotechnical, mechanical, biological, genetic and chemical) for efficient and economical weed control. Successful implementation of the concept of integrated weed control is not possible without knowledge about characteristics of weeds and crop, and weed emergence dynamics. The yield loss of cultivated plants depends of many factors, of which the most important is crop density, the number of weeds and soil fertility. The dependence of yield loss can be explored through the understanding effects of one weed species and different weed species ("mixed infestation") to yield loss. Research can be empirical and mechanistic, and the results of these studies can be used to predict yield loss, at an acceptable level of accuracy through the use of mathematical models. It is important to determine which is the optimal time to remove weeds. One of the first steps in the conception of the integrated weed control is to identify the critical period for weed control (CPWC). Knowing of this period is used to make decisions about the need for control, time of control, and all depending on the specific crop. A critical period for weed control is defined as the time period between two stages of crop growth within which it is necessary to perform the weed control, in order to prevent yield loss greater than 5%.

Key words: weeds, yield loss, critical period for weed control