

Senzorski poduprti sustavi za mehaničko uništavanje korova u kukuruzu i šećernoj repi

Sažetak

U ovom su istraživanju prikazani temeljni principi rada strojeva za mehaničko uništavanje korova (međuredna kultivacija) u kukuruzu i šećernoj repi te kultivacija unutar redova usjeva koja je omogućena razvojem različitih prstastih kultivatora. Kako bi se olakšao rad traktoriste i ubrzao radni proces nužna je upotreba senzorskih pomagala bilo na temelju RGB slike te odgovarajućih mikro-kontrolera odnosno u zadnje vrijeme sve dostupnijih autonomnih sustava (RTK-GPS) navođenja strojeva. Za njihovu upotrebu nužna je precizna sadnja istim sustavom te izrada karata pomoću kojih se provodi kultivacija. Pravu budućnost kultivacije kukuruza i šećerne repe predstavlja razvoj i vođenje autonomnih robota za kultivaciju koji u svakom trenutku pomoću bi-spektralnih sustava analize slike te RTK-GPS navođenjem traže i uništavaju korove bez neposredne ljudske kontrole na polju.

Ključne riječi: mehaničko suzbijanje korova, senzori, RGB slika, RTK-GPS, robot za kultivaciju

Uvod

Za uspješnu proizvodnju kukuruza i šećerne repe potrebno je pravovremeno provesti cijeli niz agrotehničkih mjera kao što su kvalitetna priprema tla, izbor sjemena, preporučena gustoća sjetve, odgovarajuća gnojidba, navodnjavanje te pravovremena kontrola korova. Suzbijanje korova u kukuruzu i šećernoj repi jedna je od najvažnijih operacija koja predstoji u sezoni. Rano suzbijanje korova bilo mehaničkim načinom bilo herbicidima jedan je od preduvjeta za postizanje visokih prinosa. Međutim, visoki prinosi postižu se i pravovremenim uništavanjem korova u njihovim najranijim razvojnim fazama, jer je tada šteta najmanja a prinos još nije umanjnjen. Korovske biljke najlakše je mehaničkim putem uništiti dok su u fazi klice. Za pred-sjetveno uništavanje korova tradicionalno se koriste tanjurače, sjetvo-spremači, drljače i kultivatori, a nakon sjetve strojevi kao što su rotacijske kopačice i međuredni kultivatori, dok su za suzbijanje korova u redovima u posljednjim desetljećima razvijeni prstasti kultivatori. Međutim, razvoj automatskih strojeva za mehaničku, ne-kemijsku kontrolu korova unutar redova još uvijek ostaje jedan od najvećih izazova za proizvođače suvremenih poljoprivrednih strojeva.

Rezultati i rasprava

Princip rada strojeva za mehaničko suzbijanje korova

Mehanička kontrola korova može se grubo podijeliti na primjenu strojeva s krutim i strojeva sa torzijskim radnim organima te njihove kombinacije. Kruti radni organi za suzbijanje korova čvrsto su pričvršćeni za potporni okvir i djeluju uglavnom rezanjem ili vađenjem korova iz tla, nakon čega korovi ostaju na površinu tla i osuše se.

Češalj (drljača s opružnim perima) već dugi niz godina predstavlja pouzdano sredstvo za suzbijanje korova u Europi i svijetu, budući da su njezini jednostavniji prethodnici bili korišteni još u doba prije upotrebe herbicida. Zbog brige za okoliš - posebice pitku vodu na VOPu (vo-

¹

Prof. dr. Denis Stajnko, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Pivola 10, 2311 Hoče-Maribor, Slovenia
Autor za korespondenciju: denis.stajnko@um.si

doopskrbnim područjima), ali i šire u poljoprivredi „slijepo“ češljanje posebno je učinkovita mjera u fazi prije nicanja žitarica a može se obavljati sve do izlaska žitarica (EC 07 do EC 10). U suzbijanju korova, najveći uspjeh (do 80%) ostvarit će se kada je korov u fazi klijanja ili stadiju malog lista kada ga pokrijemo zemljom odnosno otkrijemo. Optimalno vrijeme za češljanje nastupa kada prvi korovi probijaju na površinu. U raži i ozimom ječmu uspješno češljanje ovisi o pravovremenom tretmanu pred zimu. Za pšenicu, nešto kasnijom sjetvom produljujemo vremensko razdoblje za češljanje te smanjujemo pritisak od porasta korova. Ako korovi prerastu stadij nicanja i dosegnu formiranje rozete, potrebno je intenzivnije češljanje (s većim tlakom i strmijim kutom opruga). Naročito je djelotvorno češljanje za sunčanih i vjetrovitih dana prema podnevu, jer će se izloženi korovi brže posušiti.

Kultivator s krutim motičicama

Ovaj stroj jedan je od starijih pristupa za uništavanje korova u okopavinama i širokolisnim usjevima. Ovaj kultivator zapravo je drljača sa S-oblikovanim, trokutasto oblikovanim ratilom ili pačjim nogama, čiji radni elementi mogu obraditi tlo do dubine 10 cm. Pri tome se tlo intenzivno miješa i zrači, stoga je potreban manji broj prolaza u usporedbi sa češljem. Nakon prolaza iskorijenjeni korovi ostaju na površini gdje su osuše.

Kultivator s prstima

Ovaj tip kultivatora koristi se kao dodatni element za kontrolu korova između redova. Riječ je o svojevrsnim poliuretanskim prstima - nastavcima koji su smješteni na dva rotirajuća diska odnosno nagnuta plastična kotačića pomoću kojih se prsti kreću između redova biljaka radi uklanjanja korova. Nastavci se kreću između biljaka, „dižući“ korov kako bi se isušio. Prilagodljivi su redovima razmaka 25 - 40 cm te radnim brzinama 4 - 15 km/h. Postoje i gumeni "prsti" koji nježnije nagrću zemlju oko biljke i čupaju korove. Ovim postupkom područje oko biljke, koje se inače jedino može okopati s motikom, ostaje uredno oplijevljeno.

Kultivator s prstima pokazao je svoju efikasnost u kukuruzu, duhanu, šećernoj repi, soji, kupusu, salati, grahu, mladom luku, artičokama, lavandi, ljekovitom bilju, jagodama, tikvicama, sadnicama drveća. Postoje tri veličine prsta tako su mali prsti radne širine 25 cm, pokazali dobru otpornost na trošenje i kod rada u tlu sa dosta kamenja. Dva različita stupnja tvrdoće prsta prilagođena su različitim vrstama tla i kulturama. Veliki prsti - radne širine 40 cm, sa tri različita stupnja tvrdoće, pogodni su za rad u različitim kulturama i različitim uvjetima tvrdoće tla. Maxi prsti - radne širine 90 cm postoje u tri različita stupnja tvrdoće za rad prilagođen u različitim uvjetima tla i različitim kulturama/okopavinama. Kod sve tri vrste prstiju može se zamijeniti kruta sa elastičnim.

Slika 1. Suvremeni kultivator s prstima u kombinaciji s ratilom za suzbijanje korova među redovima, Kultivator sa zvijezdama (Rotorhacke)

Figure 1. Modern cultivator with fingers in combination with little shovels for weed control between rows, cultivator with the stars (Rotorhacke)



Ovaj stroj idealan je za razbijanje pokorice, što pojednostavljuje inače tešku ručnu obradu. Zbog svog kružnog načina rada, idealan je za suzbijanje korova u konzervacijskoj obradi tla. Kultivacija se obavlja 6,5 mm debelim čeličnim iglicama, koje prodiru u tlo putem nagnute ploče koja se pomoću opružnog držača dodatno vrlo dobro prilagođava neravnom terenu. Razmak zvijezda od 15 cm omogućuje kultivaciju bilo žitarica bilo kultura sa većim razmakom između redova.



Slika 2. Kultivator sa zvijezdama u suzbijanju korova u pšenici

Figure 2. Cultivator with stars in wheat weed control

Video potpora strojevima za kultivaciju u redovima kukuruza i šećerne repe

Iako pojedini prije navedeni sustavi omogućuju kultivaciju unutar redova ovaj način bez suvremenih sustava navođenja prespor je i neučinkovit način suzbijanja korova u intenzivnoj biljnoj proizvodnji. U svijetu danas postoji više naprednih tehnologija za detekciju korova unutar redova koje imaju velik potencijal za integraciju i implementaciju u inteligentne sustave za kultivaciju. Međutim, pronalaženje cjelovitog rješenja za učinkovito i selektivno suzbijanje korova kako bi se smanjila potreba za ručnim radom, upotrebom herbicida, nije jednostavno i dalje ostaje veliki izazov u mehanizaciji zaštite od korova. Naime, prije svega vrlo je važno održati zonu bez korova oko usjeva, tako da se usjevi ne moraju natjecati s korovom za vodu i hranjive tvari.

Budući da je mehanička kontrola korova među redovima vrlo osjetljiva radna operacija, za koju je potrebno odabrati pravu dubinu, radnu brzinu i udaljenost od biljaka, danas su na tržištu dostupni automatski kontrolni uređaji. Upotreba video-tehnologije odnosno umjetnog vida temelji se prvenstveno na razvoju automatskog sustava za detekciju pojedinih, odvojenih neprekrivenih biljaka od pozadine te određivanje različitih vrsta korova kako bi se optimiziralo i pojednostavilo mehaničko suzbijanje korova i stvorilo karte korova (López-Granados, 2011). Među najpoznatije ubraja se kontrolni sustav vođen pomoću RGB kamere koji omogućava kretanje pojedinih paralelograma uz okvir pod opterećenjem čak i kod velikih radnih brzina. Budući da je RGB kamera vrlo osjetljiva na promjenljivo osvjetljenje neki proizvođači u svoj

program uključuju upotrebu dodatne umjetne svjetlosti kako bi ujednačili uvjete za procesiranje slika.



Slika 3. Video sustav sa dodatnim žaruljama za navođenje kultivatora s krutim ratilom (pačja noga)

Figure 3. Video system with additional lamps for indication of a cultivator with rigid shovels (duck leg)

U sustavima nulte odnosno malč obrade tla, gdje je pored prirodne sunčeve svjetlosti prisutna i posebno složena pozadina koju čine ostaci slame, mora se dodatno koristiti i svjetlosni pojas izvan vidljivog dijela spektra.

U zadnje vrijeme pored osnovnih RGB kamera koje koriste spektralni pojas od 400 do 700 nm sve se više koristi i pojas bliskog infracrvenog dijela spektra od 750 do 1000 nm koji može značajno poboljšati točnost otkrivanja korova u uvjetima nejednakomjerne osvjetljenosti (Liu i sur., 2014). S druge strane, mora se uzeti u obzir brzina otkrivanja korova, njihovo prepoznavanje te udovoljavanje zahtjevima algoritma za uništavanje korova. Prema današnjim saznanjima i pokusima iz prakse ovaj sustav može se uspješno primijeniti za navođenje kultivatora za uništavanje korova između redova, dok je prepoznavanje i aktivacija robotskih ruka za uništavanje korova unutar redova previše spora odnosno neprecizna što vodi i do prevelikog uništavanja uzgajanih kultura.

Podešavanje udaljenosti između paralelograma i dubine ratila jednostavno se izvodi iz traktorske kabine. Kamera s dvije optičke leće montirana je iznad reda s biljkama kako bi se pomoću računala smještenog i kabini traktora prepoznale biljke kukuruza ili šećerne repe. Slika RGB kamere podijeljena je na tri područja (crvena R, zelena G, plava B) i fokusira se samo na koncentraciju piksela zelene boje koja predstavlja red usjeva. Pomoću informacija o slikama na pojedinačnom usjevu, paralelogram sa šarkama automatski se pomiče točno iznad redova pomoću hidrauličnog kliznog okvira.

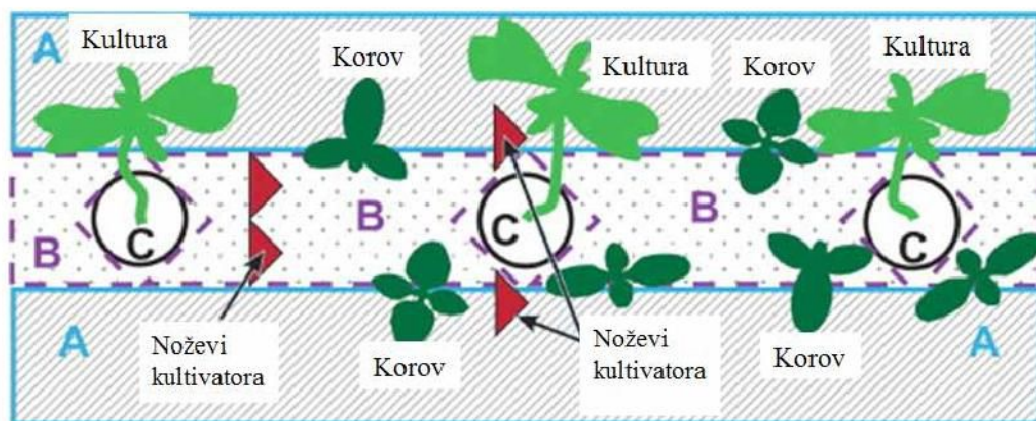
Na tržištu postoji više strojeva za mehaničku kontrolu korova između redova koji se mogu podesiti prema razmaku redova od 35 cm do 50 cm, u radnoj širini od 4 do 24 reda. Značajna prednost nije samo rasterećenje vozača i veća brzina rada, nego i veći učinak stroja, te bliže navođenje stroja ka redovima biljaka, što rezultira preciznijom i kvalitetnijom kultivacijom.



Slika 4. Elektro-hidraulični aktivator za pomicanje paralelograma sa ratilom (Einböck, 2018)/
Figure 4. The electro-hydraulic actuator for moving the parallelogram with shovels (Einböck, 2018)

RTK-GPS potpora strojevima za kultivaciju unutar redova kukuruza i šećerne repe

Glavna prednost tehnologije RTK-GPS kartiranja u usporedbi s metodom strojnog vida jest da su točnost i preciznost neovisne o vizualnom izgledu usjeva, sjenama, nestalim biljkama, gustoćikorovaili drugim uvjetima koji smanjuju performanse strojnog vida ili drugih sustava za procjenu biljaka. Osim toga, nije potrebno prepoznavati specifičnu ratarsku kulturu odnosno korove pomoću vizualne teksture, biološke morfologije ili karakteristike spektralne refleksije, a također jednostavan je prijelaz iz jednog usjeva u drugoga. RTK-GPS sustav bazira se na automatskom navođenju traktora odnosno samohodnih platformi i može se koristiti i za kultiviranje pomoću dlijetastih ratila ili podzemnog kultiviranja vrlo blizu redova usjeva (oko 5 cm) kod brzine do $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (Abidine i sur., 2004) te Pérez-Ruiz i sur. (2010) ustanovili su da je najprije potrebna preciznost rada sijačica odnosno stroja za sadnju sadnica ispod 4 cm, što je moguće samo s RTK-GPS sustavima za automatsko navođenje.



Slika 5. Tri zone za automatsko RTK-GPS navođenje kultivatora (Griepentrog i sur., 2003)
Figure 5. Three zones for automatic RTK-GPS coding of cultivators (Griepentrog et al., 2003)

Nakon nicanja odnosno sadnje najprije je potrebno identificirati u prostoru tri zone (A, B, C) oko uzgajanih usjeva; to je prostor između dva reda (A), prostor unutar reda (B) te prostor u bli-

zini usjeva (C). Budući da je pomoću RTK-GPS navođenja uništavanje korova u prostoru između dva reda praktično riješeno, cilj je njegovo sužavanje na najužu neobrađenu traku oko linija sadnica korištenjem preciznih kultivatora (Fennimore i sur., 2010), budući da uz samu biljku rastu visoko konkurentni korovi koji troše vodu i hranjiva (Melander, 1997).

Iz toga razloga u zadnje su vrijeme povećani istraživački napori usredotočeni na razvoj tehnike za uklanjanje korova koji rastu u neposrednoj blizini uzgajanih biljaka bez izazivanja prekomjernog oštećenja usjeva (Åstrand i Baerveldt, 2002; Bak i Jakobsen, 2004; Blasco i sur., 2002; Van Evert i sur., 2006; Gobor i Schulze, 2007; Tillett i sur., 2008).

Napredne tehnologije za kontrolu korova unutar redova svakako imaju potencijal za integraciju i implementaciju u inteligentne sustave za kultivaciju usjeva.

U posljednjem desetljeću za vođenje te uništavanje korova između redova kukuruza, soje, šećerne repe i drugih usjeve sa širokim međurednim razmakom sve se više koristi video sustav i RTK-GPS sustav za precizno lociranje biljki usjeva. Nørremark i sur. (2008), Sun i sur. (2010), Perez-Ruiz i sur. (2012), Rasmussen i sur. (2012) i Slaughter i sur. (2012) razvili su i testirali sustave za kreiranje karata pozicije sjemena (karata usjeva) korištenjem RTK-GPS tehnologije koja se kasnije može koristiti za mehaničko suzbijanje korova također unutar redova te za usmjerenu aplikaciju herbicida.

Budući da je i samo navođenje RTK-GPS sustavom ograničeno na cca 2,5 cm pojas uz uzgajane biljke, Ruckelshausen i sur. (2006) integrirali su multi-senzorni pristup za identifikaciju korova u kukuruzu s robotskim sustavom za selektivno suzbijanje korova u redovima kukuruza. Međutim, selektivni sustav za suzbijanje korova unutar redova još se razvija za mnoge druge okopavine. Naime, mehaničko uništavanje korova unutar redova usjeva, a u blizini biljaka, teško je postići bez oštećenja usjeva.

Gerhards i sur. (2016) koristili su bi-spektralnu kameru koja istodobno uzima sliku u infracrvenom i crvenom spektru te algoritme za automatsku identifikaciju vrste korova u kukuruzu i šećernoj repi. Na temelju detekcije njihovog oblika te kombinacije oblika najčešćih korova koji se obično javljaju u šećernoj repi razvijena je korekcijska klasifikacija za automatsku detekciju pozicije usjeva kako bi se odredila brzina vrtnje prstiju kultivatora. Ako korovi nisu bili u blizini usjeva ili ako nisu identificirani brzina prstena ostala je nepromjenljiva. Pri radnoj brzini od $2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ploča sa prstima selektivno je radila kako ne bi oštetila usjeve. Kod maksimalne brzine rada od $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ploča s prstima uklonila (uništila) je sve biljke u redu. Prototip prezentiran u ovoj studiji do sada nije testiran u terenskim ispitivanjima. Terenski pokusi će se provesti u proljeće 2018. kod različitih brzina rada, infestacija korova i tipova tla u kukuruzu i šećernoj repi.

Razvoj robotske tehnike za kultivaciju unutar redova kukuruza i šećerne repe

Prije pokazani senzorski sustavi u svojoj su biti razvijeni prije svega kao pomoć vozaču traktora, kao dodatna pomagala u navođenju strojeva za mehaničko suzbijanje korova koja olakšavaju rad i pomažu u upravljanju strojem pri radnim brzinama od $8 - 12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Međutim, zbog nebrojenih mogućih kombinacija korovne populacije te načina uzgoja usjeva, bilo kukuruza bilo šećerne repe (ili različitog povrća) teško je izraditi dovoljno robustan senzorski sustav koji bi udovoljio različite korisnike / poljoprivrednike pa se zbog toga u borbi protiv korova u zadnjem desetljeću sve više razmišlja, grade i praktički proučavaju različiti roboti za uništavanje korova.

Najvažnija razlika između robota i strojeva za kultivaciju jest mogućnost robota da se u svakom trenutku na polju autonomno orijentira, traži npr. redove kukuruza i razlikuje između korova i uzgajanih biljaka te samostalno odlučuje o (ne)uništavanju korova. Iako se na tržištu danas reklamiraju i robotski kultivatori priključeni na traktor, pravi autonomni robot zapravo je

platforma sa vlastitim 4x4 dizel ili električnim pogonom koja je opremljena RTK-GPS sustavom navođenja i dodatnim LIDAR odnosno ultrazvučnim senzorima za orijentaciju u prostoru te hidrauličnim odnosno elektro-hidrauličnim aktivatorima za pokretanje noževa odnosno rovila za uništavanje korova.



Slika 6. 'Oz' robot za kultivaciju na poljima i u tunelima (Naio, 2018)

Figure 6. 'Oz' cultivation robot for fields and tunnels (Naio, 2018)

U fazi prototipova najveći izazov još uvijek predstavlja prepoznavanje korova pomoću vizualnog sustava tj. digitalne RGB kamere i algoritma za prepoznavanje oblika korova. Naime, zbog promjenjive prirodne svjetlosti vrlo je teško napraviti dovoljno robustan sustav kojim bi se u najmanjoj mogućoj mjeri smanjilo pogreške i spriječilo uništavanje uzgajanih biljaka koje su u najranijim fazama rasta. U to vrijeme je i mehaničko uništavanje korova najučinkovitije, a barem neke od kultiviranih biljaka su vrlo slične korovima. Budući da je bez video tehnologije kultivacija prepuštena samo navođenju RTK-GPS sustavom koji uništava sve biljke koje mu stoje na putu, velike se nade polažu u hiper-spektralna područja među kojima je zbog cijena senzora i prihvatljivosti tehnologije najzanimljivije NIR (blisko infracrveno područje). Ugrađivanje algoritma sa fuzzy-logikom također bi moglo ubrzati odlučivanje robota o uništavanju potencijalnih korova. Naime, nasuprot linearnom odnosno on/off odlučivanju koje je prisutno u većini današnjih algoritama, fuzzy-logika na neki način uključuje logičko razmišljanje pa i učenje na osnovu već obrađenih informacija, što omogućuje veću učinkovitost računalnih procesora i veći broj operacija jedinici vremena i na kraju brži rad.

Zaključak

Suvremeni načini suzbijanja korova u kukuruzu i šećernoj repi sastavni su dio precizne poljoprivrede koji uključuju automatizirane sustave rada poduprte senzorima i računalima odnosno mikro računalima ugrađenim na traktoru, stroju ili samohodnom robotu. Pogotovo brzi razvoj multispektralnih senzora te novih algoritama za prepoznavanje svih vrsta biljaka na

polju, kako korova tako i usjeva, omogućuje upotrebu različitih tehnika za suzbijanje korova (kultivacija, prskanje, termička obrada...) koje se mogu primijeniti na pojedinačne korove na temelju njihove biologije tj. invazivne sposobnosti. Budući da u nekim granama poljoprivrede ne možemo zamisliti kontrolu korova bez upotrebe herbicida, u periodu do prestanka njihove upotrebe za aplikaciju bi se mogle koristiti mikro prskalice. Ako bi na primjer, sustav identificirao korov koji je otporan na glifosat, može se prskati drugim herbicidom odnosno mogao bi se umjesto toga upotrijebiti alat za rezanje ili plamen. Kao i kod drugih preciznih poljoprivrednih tehnologija, primjena mikro-doza herbicida samo na lišće pojedinačnih biljaka spriječila bi kontaminaciju nadzemnih i podzemnih voda, a sam korov također će sporije razviti otpornost na herbicide jer je potrebno manje kemikalija, a jedino bi ciljani korovi bili tretirani.

Literatura

- Åstrand, B., Baerveldt, A.-J. (2002) An agricultural mobile robot with Vision-Based Perception for mechanical weed control. *Autonomous Robots* 13, 21–35.
- Bak, T., Jakobsen, H. (2004) Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection. *Biosyst. Eng.*, 87 (2), 125–136.
- Blasco, J., Aleixos, N., Roger, J.M., Rabatel, G., Moltó, E. (2002) Robotic weed control using machine vision. *Biosyst. Eng.*, 83 (2), 149–157.
- Einböck (2018). http://www.einboeck.at/index.php?option=com_content&view=article&id=1591&Itemid=665&lang=de (preuzeto 5. 5. 2018)
- Fennimore, S.A., Tourte, L., Rachuy, J.S., Smith, R.F., George, C. (2010) Evaluation and economics of a machine-vision guided cultivation program in broccoli and lettuce. *Weed Technol.*, 24, 33–38.
- Gerhards, R., Sökefeld, M., Peteinatos, G., Nabout A. A., Maier, J., Risser, P. (2016) Robotic intra-row weed hoeing in maize and sugar beet, Julius-Kühn-Archiv, 452, 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig, DOI 10.5073/jka.2016.452.062
- Gobor, Z., Schulze Lammers, P. (2007) Prototype of a rotary hoe for intra-row weeding. In: Proceedings of the 12th IFToMM World Congress in Mechanism and Machine Science, Besancon, France
- Griepentrog, H.W., Nørremark, M., Nielsen, H., Blackmore, B.S. (2003) Individual plant care in cropping systems. In: Stafford, J. (Ed.), Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture. Berlin, Germany, Wageningen. Academic Press, Wageningen, NL, pp. 247–251
- Liu, H., Lee, S.H., Saunders, C. (2014) Development of a machine vision system for weed detection during both of off-season and in-season in broadacre no-tillage cropping lands. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 9 (2), 174-193.
- López-Granados, F. (2011) Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. *Weed Res.* 51 (1), 1–11.
- Melander, B. (1997) Optimization of the adjustment of a vertical axis rotary brush weeder for intra-row weed control in row crops. *J. Agr. Eng. Res.*, 68, 39–45.
- Naio (2018) <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/> (preuzeto 5. 5. 2018)
- Nørremark, M., Griepentrog, H-W., Nielsen, J., Tangen Søgaard, H. (2008) The development and assessment of the accuracy of an autonomous GPS-based system for intra-row mechanical weed control in row crops. *Biosystems Engineering*, 101, 396-410.
- Pérez-Ruiz, M., Slaughter, D.C., Gliever, C.J., Upadhyaya, S.K. (2012) Automatic GPS-based intra-row weed knife control system for transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 80, 41–49.
- Rasmussen, J., Griepentrog, H-W., Nielsen, J., Bugge Henriksen, C. (2012). Automated intelligent rotor tine cultivation and punch planting to improve the selectivity of mechanical intra-row weed control. *Weed Research*, 52 (4), 327-337.
- Ruckelshausen, A., Klose, R., Linz, A., Marquering, J., Thiel, M., Tölke, S. (2006) Autonomous robots for weed control [Autonome Roboter zur Unkrautbekämpfung]. *Journal of Plant Diseases and Protection Sonderheft*, XX, 173-180.
- Slaughter, D.C., Pérez-Ruiz, M., Fathallah, F., Upadhyaya, S., Gliever, C.J., Miller, B. (2012) GPS-based intra-row weed control system: performance and labor savings. Proc. Int. Conf. of Agricultural Engineering CIGR-AgEng., 8-12.
- Sun, H., Slaughter, D.C., Pérez Ruiz, M., Gliever, C., Upadhyaya, S.K., Smith, A.R.F. (2010) RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71 (1), 32-37.
- Tillett, N.D., Hague, T., Grundy, A.C., Dedousis, A.P., (2008) Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosyst. Eng.*, 99, 171–178.
- Van Evert, F.K., Van der Heijden, G.W.A.M., Lotz, L.A.P., Polder, G., Lamaker, A., De Jong, A., Kuyper, M.C., Groendijk, E.J.K., Neeteson, J.J., Van der Zalm, T. (2006) A mobile field robot with vision-based detection of volunteer potato plants in a corn crop. *Weed Technol.*, 20 (4), 853–861.