



ROBOTTECHNIKA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI A SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYVÉDELEMBEN

AMBRUS BÁLINT

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÓ

A szerző a mezőgazdaságban, azon belül a növényvédelemben alkalmazott robotok jellemzőit, valamint a robottechnológiai lehetőségeket, a robottechnika által nyújtott lehetőségeket mutatja be. Különös hangsúlyt fektet a fenntarthatóság kritériumainak elemzésére. A legkritikusabb tényező a szintetikus növényvédő szerek, a kemikáliák használatának csökkentése, ill. helyettesítése fizikai eljárásokkal. Ezek az ismeretek segítik a paradigmaváltást a mezőgazdasági munkák automatizálásában, robotizálásban. A jövő a small, smart, interconnected, light machines, tehát a kis méretű, okos gépeké. Ezek jellemzői azonban morális és azon belül számos etikai, valamint menedzsment és szociális kérdést vetnek fel mind a rajban dolgozó gépek üzemeltetése, mind pedig tervezése és gyártása terén. A jövő a szuperintelligens gépeké ezen a területen is, amelyek mind a szoftver, mind a hardver területen képesek lesznek magukat továbbfejleszteni. Felhívja a figyelmet a dolgozat arra is, hogy olyan értelemben is paradigmaváltásra van szükség, hogy az alapgépeket szabványosítani kell, vagyis egy robot tervezésénél ne az alapokból kelljen kiindulni, hanem fel lehessen használni a már korábban kifejlesztett alkalmazásokat is. Erre jó példa az From Toy to Tool: FTtT. Az ipari robotok számos innovációs lehetőséget kínálnak, ugyanakkor ezen ismeretek, tapasztalatok természetes környezetbe történő adaptálása komoly kihívásokat jelent. A mezőgazdasági termelés sajátos jellege miatt a robotizáció területén az iparban felhalmozódott ismeretek, megoldások itt csak részben hasznosíthatók, és az egyes

termelési területek többségében szintén sajátos megoldások szükségesek. Valószínűsíthető, hogy a mezőgazdaság robotizálása új szervezési és szervezeti struktúrák kialakítását is igényli. Ehhez is nyújt segítséget a cikk.

Kulcsszavak: robot, robottechnika, növényvédelem, GPS, RTK, MI, drón

BEVEZETÉS

A jövő mezőgazdaságában döntő szerepet fog játszani a robottechnológia. A mezőgazdasági robotok széles köre fog elterjedni a növénytermesztési technológiákban, amelyek teljes mértékben át fogják venni az ember szerepét. Napjainkban kifejlesztett mezőgazdasági célú robotok még csak kiegészítik, segítik a mezőgazdasági munkát, valamint nem mutatnak széleskörű alkalmazási lehetőségeket, legtöbbjük egy adott célra lettek kifejlesztve, mint például növényvédelmi célú robotok. *Blackmore (2017)* szerint a robotgyártók ma még egyedi gépekben és nem rendszerben gondolkodnak.

MI A ROBOT?

A robotika 3 alapvető törvényét 1942-ben Isaac Asimov sci-fi író fogalmazta meg:

- „1. A robotnak nem szabad kárt okoznia emberi lényben, vagy tétlenül túrnie, hogy emberi lény bármilyen kárt szenvedjen.
2. A robot engedelmességet tartozik az emberi lények utasításainak, kivéve, ha ezek az utasítások az első törvény utasításaiba ütköznek.
3. A robot tartozik saját védelméről gondoskodni, amennyiben ez nem ütközik az első vagy második törvény bármelyikének előírásaiba” (URL₁).

Ugyanakkor a robot szó jelenleg nem igazán olyan jól körülhatárolható, és sok a vita a mérnöki, a tudományos és a hobbi közösségekben is zajlik definíció, mi az a robot és mi nem. Leggyakrabban egy olyan gépet, amelyet programozni lehet számítógép által, és önműködően végrehajtja a műveleteket automatának tekintünk (*Amobi, 2019*). Ezzel szemben robotnak definiálunk minden olyan működő entitást, amely a dinamikusan változó környezet jellemzőit érzékeli, értelmezi és működését ehhez is igazítva avatkozik be a környezetébe. További fontos tulajdonság a kommunikáció és kooperációképesség. Az automatizálási rendszernek információra van szüksége a megfelelő döntések

meghozatalához, mielőtt cselekedne. Ha az automatizálási rendszernek helytelen információi vannak, hibás döntéseket hoz és helytelen intézkedéseket fog tenni.

A gyakorlati alkalmazás számos műszaki-informatikai, jogi és etikai problémát is vet fel, amelyek még megoldásra várnak. A mezőgazdaság robotizálása a konstrukciós megoldások megfelelőségén túl számos, tágabb, rendszerszintű problémát is felvet. Ilyenek például az élet- és vagyonbiztonság problémái, az ember szerepe, felelőssége, kompetenciája a robotizálásban, a robotok együttműködése, ennek szükséges infrastruktúrája, a robotok mozgása, mozgatása a közutakon, a költséges gépek idényjellegű használata, ennek költség kihatásai.

Az egyik legfontosabb kritérium a robottechnika fejlesztése során a fenntartható fejlődés kérdésköre, amely betartása nagy felelősséget támaszt a fejlesztők iránt. „A fenntartható fejlődés olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen generációk szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációit abban, hogy ők is kielégíthessék szükségleteiket” (Láng, 2001). Fenntartható fejlődésről csak akkor beszélhetünk, ha az megfelel az ökológiai elvárásoknak, tehát környezetbarát, hozzájárul az agrár biodiverzitás növeléséhez, klímaváltozás-semleges, vagy mérsékli a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, és csökkenti a fejlett és fejletlen országok közötti életszínvonalbeli különbséget, különösen vonatkozik ez az éhínség felszámolására és arra, hogy valamennyi földlakó egészséges ivóvízhez juthasson (Neményi, 2020).

A fenntartható növénytermesztés általános követelményei a robotizáció perspektívájából következőképpen foglalható össze:

- Elkerülni a talaj erózióját, szikesedését, savanyodását, és kedvezőtlen tömörödését
- Elkerülni a környezetszennyezést (Neményi, 2017).

MEZŐGAZDASÁGI CÉLÚ ROBOTOK

Egy mezőgazdasági alkalmazású robotnak, úgy ahogy minden robotnak alapvetően három fontos részegységet kell tartalmaznia (Thompson et. al., 1991).

- Információk beszerzése és feldolgozása
- Döntéshozatal
- Feladat végrehajtása



1. ábra: Egy általános célú autonóm robot-gyomirtó rendszer felépítése (Utstumo, 2018).

Figure 1: Construction of a general purpose autonomous robotic herbicide system

A mezőgazdaság területein a gyors beavatkozást is megalapozó mérési, adatgyűjtési igények kielégítésére érdekébe különböző robottechnikai megoldások születtek meg. Ezek a következő módon csoportosíthatók: – pilóta nélküli légi jármű (drónok), mobil mini robotok, – mini mobil robotok, – mérőhálózatok. Fejlesztési, illetve kísérlet fázisban vannak önjáró mintavevő és mintaértékelő robotok, például a talajjellemzők és a növényi elváltozások meghatározására.

DRÓNTECHNOILÓGIA ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Egy pilóta nélküli légi jármű repülése közben a felszínre merőleges felvételek elkészítése érdekében kameráját egy berendezés folyamatosan úgy mozgatja, hogy az mindig merőleges legyen a felszínre (orto felvétel). Igény szerint ettől eltérő szögállás is előállítható. A drónok alkalmazása elsősorban anyagkijuttató mezőgazdasági technológiai műveletek során (permetezés) már túllépte a kísérleti fázist. A szántóföldi monitorozás adta nagy előnyök mellett korlátok is adódnak, mivel az alkalmazott adatgyűjtési és mérési technológia nem alkalmazható a lombkorona, valamint levél alá történő betekintésre A Tevel Aerobotics Technologies autonóm repülő robotokat fejleszt, gyümölcszedési célokra, mesterséges intelligenciával kombinálva, számítógépes felügyelettel, fejlett robottechnikával, repülőmérnöki szaktudással, magas szintű repülésirányítással és adatátvitellel, valamint szabályozással (URL₂).

A robotkarral szerelt robotok egyéb feladatokat is el tudnak végezni. Ilyen feladat lehet például a vezeték nélküli hálózat egységeinek (Internet of things, IoT rendszer) telepítése, illetve összegyűjtése, működtetése. Továbbá talaj vagy növényminták gyűjtése ill.

gyümölcs betakarítási munkák végzése stb. Gyümölcs, illetve szántóföldi zöldségbetakarítás esetében érzékelők döntenek el, hogy a termés megfelelő érési állapotban van-e, tehát betakarítható, vagy még várni kell, hogy megfelelő legyen az érés. Ugyanez történhet pl. az gyümölcszedő drónok esetében is, ill. egyéb, egyedeket betakarító korszerű szerkezeteknél. A fogókba szerelt érzékelők alapján a mesterséges intelligencia dönti el, hogy a termék az adott időben betakarítható-e. Ezzel ugyancsak paradigma váltás történik, hiszen a továbbiakban a nemesítőket nem terheli az az elvárás, hogy az adott genotípus valamennyi egyede szinte „percre” pontosan adott időben érjen be (URL₃).

A mezőgazdasági alkalmazásra kifejlesztett és gyártott mobil mikrorobotok (2. ábra) a levél, illetve lombkorona alatti területen is tudnak felmérő, monitorozó munkát végezni (Agustín *et. al.*, 2019).



2. ábra: Biológia által inspirált mikrorobot (URL₄)

Figure 2: Biology-inspired microrobot (URL₄)

Jelenleg a 6. fajkihalási krízist éljük, ami többek között azt jelenti, hogy a beporzó rovarok száma is jelentősen csökken világszerte, így Magyarországon is. Több mint 10 éve a világ vezető egyetemei és kutató intézetei mesterséges méhek fejlesztésével foglalkoznak, hogy ennek a problémának a megoldásához hozzájáruljanak. Ezek a beporzó drónok egyik növényről a másikba szállítják a pollent, és számos érzékelővel igazolják a sikeres transzfert (URL₅). Ezek a kis robotok a MI felhasználásával látnak, színeket tudnak megkülönböztetni, és szagló érzékük is van. Később ezek a repülő robotok az invazív kártevők ellen is bevetettek lesznek.

MŰHOLDAS POZICIONÁLÁS JELENTŐSÉGE

Ami a kültéri helymeghatározó rendszereket illeti, a legismertebb a globális helymeghatározó rendszer (GPS). Ez a rendszer olyan műholdak által küldött jeleket szolgáltat, amelyek a megfelelő vevőt alkalmazva, 3 vagy több jelet használ az eszköz pontos helyének meghatározásához (*Becvarik és Devetsikiotis*, 2016). Akkor merülnek fel kihívások, amikor pontosan meg kell becsülni egy az épületen belüli helyzetet azért, mert a műholdas jelek vétele nem megfelelő (*Kaplan és Hegarty*, (2006). A vezeték nélküli technológiák használatával már az épületekbe beépítve intelligens teret lehet létrehozni, amely képes reagálni a felhasználóktól érkező információkérésekre (*Ozsoy et. al.*, 2013). A mezőgazdasági robot rendszerek gépüzemeltetése valós idejű korrekciót igényel, mivel a térbeli koordinátákat nagy pontossággal kell lehetőleg azonnal pontról pontra meghatározni (*Gomes et. al.*, 2018). Úgynevezett real-time differenciális korrekcióval (RTK) nagymértékben növelhető a GPS adatok pontossága (*Tamás*, 2001). Lényege, hogy egyszerre legalább két helyen történik adatgyűjtés. Egyrészt ismert pozíciójú stabil földi állomáson (ún. referenciaállomáson), másrészt ismeretlen pozíciójú egyéb GPS vevőn.

Az RTK esetén a referenciaállomás kiszámítja, és rádiójelekkel továbbítja a fogott műholdak adatainak hibáit, ill. korrekcióját. Ezt a korrekciót fogja a mobil mérőállomás és felhasználja a saját pozíciójának kiszámítása során.

Az elmúlt évtizedben az RTK technológia nagy fejlődésen ment keresztül:

- Az inicializálási idő lényegesen csökkent.
- Növekedett a relatív helymeghatározás pontossága, a kezdeti 2-3 inch-ről 1 inch-re.
- Növekedett az a bázistávolság is: ez régebben 15 km volt, ma 40 km fölött is lehet (*Busics*, 2005).

GPS és RTK alapú technológiára alapozva végzett kutatást *Slaughter et. al.* (2012). A vetett növények helyzetét a vetési folyamat során rögzítették térinformatikai eszközökkel. Ezt felhasználva egy olyan berendezést alkottak meg, ami a nagy pontosságú helyzet meghatározó rendszer segítségével meg tudja állapítani a már kikelt növény, ill. a tőkőz helyzetét (*Griepentrog et. al.*, 2005). A berendezés a sorok végi fordulás kivitelezésére is képes, tehermentesítve így a vezetőt, valamint precízebb munkavégzés is végezhető. Így a csatlakozósorok pontos kialakítására is lehetőség van.

A MESTERSÉGES INTELLIGENCIA, GÉPI TANULÁS ALKALMAZÁSA

Számos lehetőség létezik manapság, amely elősegíti a nagy adathalmazokból és tapasztalatokból származó információk feldolgozását. Napjainkban a gépi tanulás nyújtotta lehetőségek nagy mértékű fejlődést mutatnak. A mesterséges intelligencia (MI) kutatás hatására, sok új módszert találtak ki, ami megkönnyíti a problémamegoldás folyamatát (*Jha et. al., 2019*).

1. Fuzzy logika
2. Mesterséges ideghálózatok (ANN)
3. Neuro-fuzzy logika

A mesterséges neurális hálózatokat sok alkalmazásban építették be a mezőgazdaságba a hagyományos rendszerekkel szembeni előnyei miatt. Az a neurális hálózatok fő előnye, hogy képes előrejelzést tenni az információk egymásra hatásának figyelembe vételével. Tényleges programozás helyett neurális hálózatok képezhetők. *Gliever* és *Slaughter* (2001) ilyen neurális hálózatokat használt megkülönböztetni a gyomokat a kultúrnövényektől. *Maier* és *Dandy* (2000) ugyan ilyen hálózatokat használtak a növények vízszükségletének előre jelzéséhez. A mezőgazdaságban alkalmazott robotok esetében nem csak a változó környezet jelent nagy nehézséget, hanem az is, hogy a berendezéseknek gyakorta élő, sérülékeny anyagokat kell kezelni. Az alkalmazott mesterséges intelligencia a gépi tanulás adta lehetőségeket is integrálja magába. A legtöbb mezőgazdasági robotokba a gépi tanulás alkalmazása hozzájárul az összetett feladatokat nagyobb hatékonyságú elvégzésére. Míg a szántóföldi műveletek robotizálása jelentősen fejlődik addig az erőgépek munkahelyre vonulásának teljes robotizálása még jó ideig várat magára.

KÉPFELDOLGOZÁS, MESTERSÉGES LÁTÁS

A szabadföldi termelés esetében általánosan a nagy területi volumen az ismérv. A nagyszámú befolyásoló tényezők miatt a területek bizonyos részei agrotechnikai szempontból statikusan és dinamikusan, azaz az időtől is függően, nagyon eltérőek lehetnek. A nagy területek felmérését, vizsgálatát szolgáló légi és műholdas távérzékelési módszerek már több évtizedes múltra tekintenek vissza. Az előbbi a feladatra kialakított integrált rendszerek kamerája/kamerái és a sebességmérő rendszer állandóan méri a

változó környezetet. A mesterséges intelligencia végzi el a feldolgozást és meghatározza a legmegfelelőbb beavatkozási módot.

A növényfajok azonosításában számos vizuális jellemzőt alkalmaztak, és három általános kategóriára oszthatók:

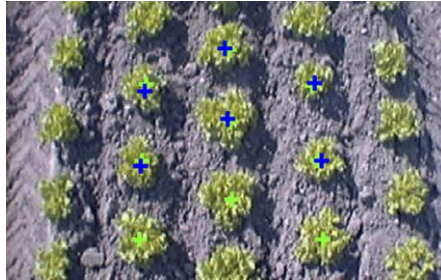
- biológiai (morfológia)
- spektrális jellemzők
- vizuális struktúra.

A legkorábbi munkák a műholdas és a levegőben lévő képek távérzékelési tanulmányai voltak. Legáltalánosabban az érzékeléshez, illetve a felvételezéshez normál színes vagy infrakamerákat alkalmaznak (*Lamb és Brown, 2001*). A valós idejű képtovábbítás is megoldott. Az utólagos képfeldolgozásban a távérzékelés kiforrott technológiai alkalmazhatók. Az infrakamerás felvételek a növényállomány monitorozásánál nagyon előnyösek. Segítségükkel többek között időben észlelhetők a növényi betegségek, megítélhető a kelési erély, vagy a felvételek megalapozottabb teszik a termésbecslést. A közvetített kép feldolgozása lehetőséget ad a csírázási, a vetési minőség egzakt megítélésére és a töeloszlás értékelésére. Az infrakamerás felvételekkel az öntözési rendellenességek, a precíziós öntözéshez az információk is jól felderíthetők. A sorvetésű növényeknél a színekövető (color tracking) képesség lehetővé teszi a soron történő végighaladást, miközben képrögzítés történik.

Elsődleges feladat a növény elkülönítése a talajtól. Erről különböző eljárásokat alkalmaznak. Az egyik leggyakrabban használt gépi látásmód a terménysorok azonosítására a Hough transzformáció. A Hough transzformáció számítási szempontból hatékony eljárás a nem folyamatos vonalak vagy görbék felismerésére, így alkalmas a természetű növény és a gyomnövény elkülönítésére, az esetleges vetési vagy csírázási hibák azonosítására is (URL_6). Ezt a technikát először betakarításnál alkalmazták 1989-ben az Egyesült Államokban arató-cséplőgépek sorvezetésére (*Marchant és Brivot, 1995*). Egy meghatározott színű tábla alkalmazásával az elkészült kép pixelei összehasonlíthatók a tábla értékeivel, így következőképpen az vagy növénynek, vagy háttérnek minősül (*Slaughter et. al. 1997*).

A terménysorok kimutatására *Tillett és Hague (1999)* infravörös szűrőt alkalmazott a növény és a talaj közötti kontraszt fokozására, így elkülönítve azokat. A későbbiekben a szerzők finomították a terménysor detektálásának módját sávszűrőt használva a sorok lokalizálásához (*Hague és Tillett, 2001*). Ezt később *Kise et al. (2005)* továbbfejlesztette

egy sztereovíziós rendszerre, amely két RGB kamerával vizsgálja a táblát. Ennek az újításnak köszönhetően a rendszer hibája 30-50 mm között volt a növényi sorok görbülete és a haladási sebesség függvényében. A rendszer kismértékű gyommentes területet igényel, hogy elegendő információt nyerjen a sztereovíziós rendszer. *Marchant* és *Onyango* (2000) szerint a növény helyzetének meghatározásához az eredeti képet RGB színcsatornákra kell bontani, hogy csökkenteni lehessen az árnyékok okozta káros hatásokat. Az eredmény egy monokróm felvétel, amin a háttér, talaj sötétebbnek látszik, így felhasználva a kép spektrális jellemzőit is. Ezt felhasználva *Tillet et. al.*, (2008) kifejlesztett egy olyan rendszert, ami egy kamera segítségével színes képeket készít valós időben. Ezzel a detektálási eljárással azonnali gyomirtást követően 80%-kal sikerült a gyomosodás mértékét csökkenteni (3. ábra).



3.ábra: Növény számított (kék kereszt) és előre jelzett helyzete (zöld kereszt) kétdimenziós hullámokkal (*Tillet et al. 2008*)

Figure 3: Calculated (blue cross) and predicted position of plant (green cross) with two-dimensional waves (*Tillet et al. 2008*)

Más megoldással kísérletezett *Åstrand* és *Baerveldt* (2002) akik a növény beazonosításához a növények morfológiai tulajdonságait is figyelembe veszik. Ehhez két kamerát alkalmaztak. A haladási iránnyal ellentétesen elhelyezett kamera egy algoritmus segítségével felismeri a növényi sorokat. A haladási irányt a sorokra fektetett egyenes szabja meg. A kamera egy infravörös szűrővel van ellátva, ami kontrasztosabbá teszi a képet, így könnyen elkülönül a talajtól a növény. A növényi sorokat Hough transzformáció segítségével ismerik fel (4. ábra).



4.ábra: A meghatározott növényi sorokra fektetett egyenes (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Figure 4: The amount laid on the specified plant rows (Åstrand és Baerveldt, 2002)

A kultúrnövények helyzetének megállapítását a másik RGB kamera látja el. A képeket feldolgozó rendszer minden egyes elkészült képet analizál és eldönti, hogy melyik a gyom és melyik a kultúrnövény. Az egyes képeken 19 jellemzőt vesznek figyelembe. Ezek közül 6 színi tulajdonság, mint az egyes színek szórása, és átlagértéke, 7 alak tulajdonság, mint például a felület (5. ábra).

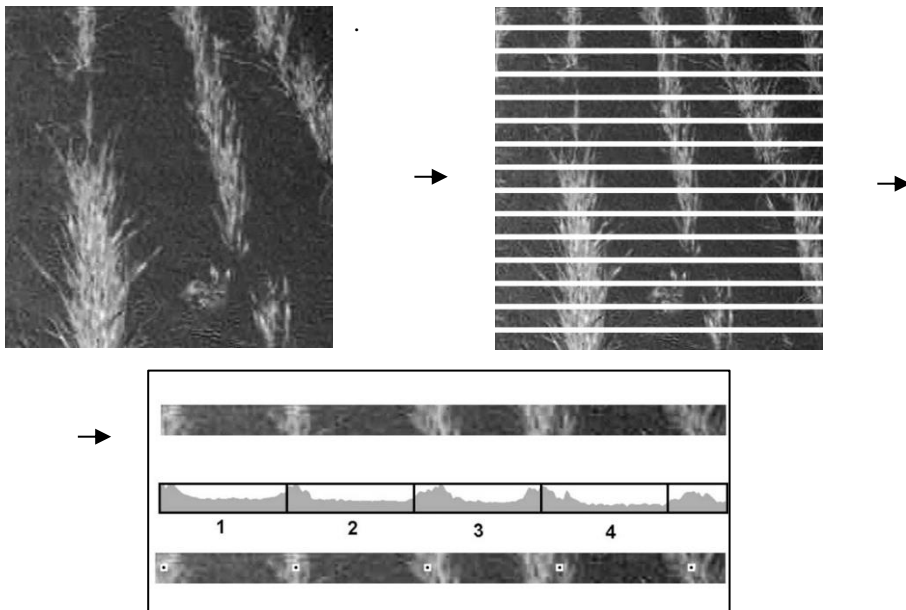


5.ábra: A kultúrnövény felismerés alakotani jellemzők által (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Figure 5: Cultural plant recognition by formological characteristics (Åstrand és Baerveldt, 2002)

Ezzel az eljárással 97%-os pontossággal képesek a termesztett növény helyzetének megállapításra. Az eljárás hiányossága, hogy az egyes képeket szegmentáltan kell feldolgozni.

Ezzel szemben *Søgaard* és *Olsen* (2003) olyan módszert fejlesztett ki, amelynél nem szükséges a szegmentáció. Ezzel csökkentve a képek feldolgozásáért felelős program számítási igényét. A sorok középvonalának tájolását és oldalirányú helyzetének becslését súlyozott lineáris regresszióval végzik el. Színes kamerát alkalmaznak ezen folyamat során is, melynek felbontása 720×576 pixel, amit $0,5$ m/s sebességgel mozgattak a sorok felett. Fehéregyensúlyának beállításához fehér papírt használtak, így a megfelelő szürkeárnyalatú kép hozható létre. Az eljárás folytatásaként ezt a képet függőleges sávokkal felosztják több részre, így a megfelelő módszerrel meg lehet határozni a növényi sorok és az osztások metszéspontját (6. ábra). Ezek a pontok valós időben jelölik ki a sorok helyzetét.



6.ábra: A növényi sorok helyzetének valós idő meghatározása (Søgaard és Olsen, 2003)

Figure 6: Real-time determination of the position of plant rows (Søgaard és Olsen, 2003)

Legegyszerűbb esetben a bejárás során készített képfelvételezés szolgálhatja az értékelést. Ez a lehetőség már ma is rendelkezésre áll. Távlatilag egy káros gyomokra kialakított tudásbázis már egy kifinomultabb gyomfelderítést is lehetővé tehet (*Bártfai et al.*, 2018).

PRECÍZIÓS GYOMSZABÁLYOZÁS

A gyomnövények versenyeznek a kultúrnövényekkel a nedvességért, tápanyagokért és a napfényért, valamint káros hatással vannak a terméshozamokra és minőségre is (*Slaughter et. al.*, 2007). A precíziós gyomszabályozásnál figyelembe vesszük a gyomnövényzet faj szerinti összetételét a vizsgált területen. Általánosságba megállapítható, hogy a precíziós megoldások gyakorlati alkalmazásának akkor van értelme, ha a gyomelőfordulás heterogenitása miatt fennáll a lehetősége a kezelések lokális elhagyásának. Egyes kutatások megfigyelése alapján az ország számos területén kapás kultúrákban négyzetméterenként 200-300 db gyomnövényegyet regisztráltak, ami a szántóterületeink nagy gyomosodási hajlamára utal. A sűrű vetésű kultúrákban (kalászos gabonák, őszi káposztarepce stb.) a természetett növény gyomelnyomó képessége nagymértékű, emiatt ezeken a területeken érdemes a vegyszeres gyomirtás elhagyásainak lokális megoldásaival foglalkozni. A tág térállású úgynevezett kapás kultúrákban (kukorica, napraforgó, cukorrépa stb.) a fentiekben vázolt nagymértékű gyomosodás miatt más lehetőségeink adódnak a precíziós gyomszabályozás alkalmazására (*Németh et. al.*, 2007). A precíziós mezőgazdaság fogalmánál ismertetett meghatározások alapján általánosan a precíziós növényvédelem lényegét talán úgy lehet megfogalmazni, hogy olyan növényvédelmi kezeléseket jelent, melyek során csak azokon a táblarészekon történik kezelés, ahol azt a károsító egyedszáma vagy a kártétel indokoltá teszi (*Nagy*, 2004).

A precíziós gyomszabályozás feltételrendszere:

- Gyomnövények detektálása informatikai rendszerekkel
- Földrajzi helymeghatározás általában GPS rendszerrel
- Automatizált beavatkozás

Precíziós gyomszabályozás kivitelezésére két lehetőség áll rendelkezésünkre:

Valós idejű módszerek: a gyomnövények érzékelését követően azonnal történik a beavatkozás. Előnye, hogy automatizálható és a kezelés azonnal megtörténik. Hátránya a

kis munkaszélesség és alacsony haladási sebesség miatti kis területteljesítmény. Az eljárás korábban kis táblaméretek mellett és kertészeti kultúrákban alkalmazták, mára azonban nagyobb táblaméretek melletti kapás kultúrákban is kezd elterjedni.

Nem valós idejű módszerek: a gyomérzékelés és a kezelés nem egy időben történik. A különböző érzékelési módok felhasználásával a kapott adatokat földrajzi pozíciókhoz (GPS) rendelve utófeldolgozással adatbázis készül, majd ez alapján egy beavatkozási terv. Az utó-feldolgozós módszer előnye, hogy a kapott térképek később is felhasználhatók. Hátránya, hogy a felvételezések után rendszerint gyorsan, néhány napon belül védekezni szükséges, ezért az adatfeldolgozásra kevés az idő. Előnye továbbá, hogy a nagy tároló kapacitást igénylő művelet (pl. a gyomfajok felismerése: összehasonlítása az archívumban található fajok képeivel) nem a berendezésben történik. Az utófeldolgozás miatt a beavatkozás általában növényvédőszer kijuttatást jelent, pl. mechanikus gyomirtás kevésbé alkalmas.

Mechanikus, környezetkímélő gyomirtás, tőkzművelés

Egy autonóm robot esetében a vezérlést, vagy gyakrabban szabályozást alkalmaznak. A rendszerintegráció a két fő feladat magában foglalja az egyes kultúrnövények önálló felismerését, és elkülönítését a gyomnövényektől, az önálló navigáció és a gyomszabályozás stratégiáinak kidolgozása. Ennek a rendszerintegrációnak köszönhetően olyan robotot lehet létrehozni, amely képes önállóan navigálni, és amely érzékelő rendszerekkel van felszerelve és olyan működtető berendezéssel, amely lehetővé teszi a robot számára, hogy önállóan gyomirtást végezzen. Egy tipikus kialakítás szempontjait mutat a 7. ábra.



7.ábra: Autónom tőközművelő robotok általános követelményei

Figure 7: General requirements for car-growing robots

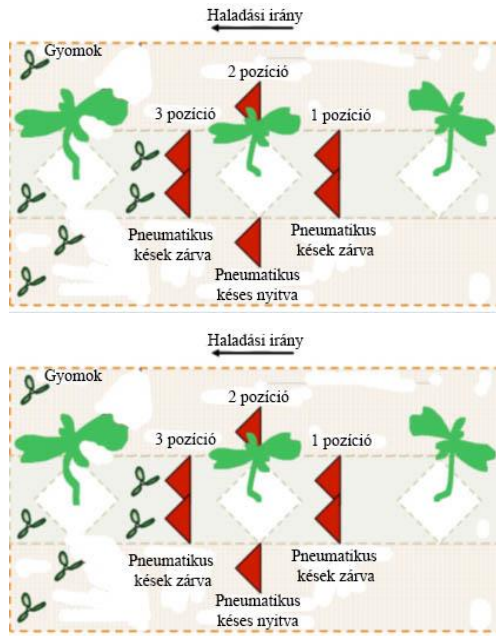
Legegyszerűbb esetben a beavatkozó szervek helyzete nem változtatható külön, ilyenkor a gyomirtás sikeressége a sorok közötti navigáláson múlik. Más kialakításoknál a kapák, forgóboronák helyzete aktuátor segítségével állítható be. Ezek az eszközök vagy alternáló, vagy forgómozgást végeznek, kapcsolatuk a talajjal általában állandó. Ezek az aktuátorok elektromos és pneumatikus valamint hidraulikus elven működőek. Forgó mozgásnál (boronáknál) villamos forgógépeket alkalmaznak, ezek általában szervo, vagy léptető motorok lehetnek. Pneumatikus berendezéseknél munkahengereket alkalmaznak. Munkájuk a növény érzékelésének pontosságától függ elsősorban, de az aktuátor beavatkozási sebessége is döntő lehet.

Tőközművelési eljárásokra első sorban kapás növényes kultúrákban van szükség. A kultúrnövények közötti gyomszabályozás nehezebb feladat, mint a sorköz művelése (Andrea et. al., 2017). Ebből fakadóan a tőközművelési eljárások ötször drágábbak lehetnek, mint a hagyományos művelési módok, és hatékonyságuk is kevesebb (Chandler, és Cooke, 1992). Thompson et. al., (1991) arra a következtetésre jutott, hogy az erőgép vontatású valós idejű gyomszabályozást megvalósító gépben nagy lehetőségek rejlenek gazdasági és környezeti hatások szemszögéből is. Ezek között sok olyan berendezés van, ami képes a gyomszabályozást nem kémiai úton ellátni, ezek között vannak a precíziós sarabolók (kapák, boronák vagy más hasonló kivitelezés)

gyomérzékelő rendszerrel és automata sorvezetővel (*Sun et al.*, 2010). Ezek az eljárások általában könnyen vezérelhetőek, és a beavatkozásra valamilyen fogazott pengéket, tárcsákat, boronákat használnak, illetve gyomkefákat is alkalmaznak, ezek a gyomokat gyökerestül tépik ki. A mechanikus rendszerek megbízhatósága általában kritikusabb, mint a vegyszeres gyomirtó rendszereké, ezért ezen rendszereket közvetlenül kell irányítani a legjobb eredmények elérése érdekében (*Rasmussen*, 2004).

Klose és Marquering (2008) olyan kukorica gyomirtásra alkalmas robotot épített, ami képes ellátni a fenti követelményeket. A rendszer felépítése öt fő részre oszlik: a robotvezérlő rendszer, a navigációs rendszer, a gyomirtó rendszer, a sebesség- és kormányvezérlő rendszer és a biztonsági rendszer. Mind az öt rendszer tartalmazza a megfelelő elektronikát, mechanikát és szoftvereket a különleges funkcionalitás érdekében. A robot mindenkori pozíciójának és a növények helyzetének meghatározására nem csak optikai és GPS, hanem akusztikus szenzort is alkalmaznak. Többféle szenzor alkalmazása nagyobb pontosság eléréséhez vezet, azonban ezeket a megfelelő módon szoftveresen kell egymáshoz hangolni.

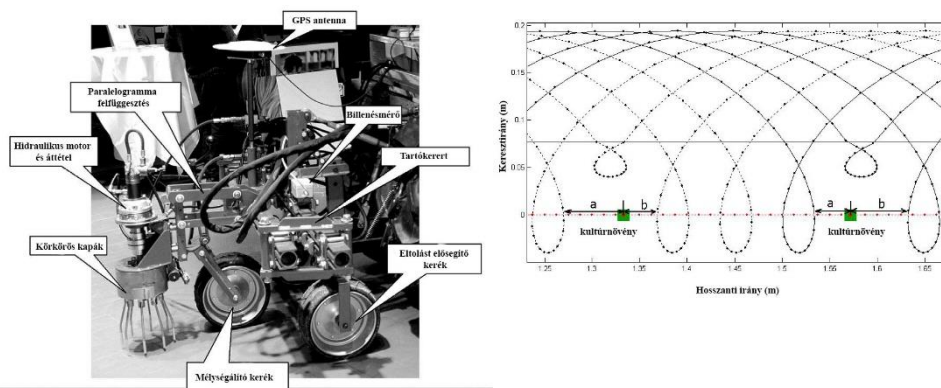
Slaughter et al. (2012) egy olyan pneumatikus kialakítású tőközművelő kultivatort hozott létre, amely pneumatikusan mozgatott kapákat használ (8. ábra). A növények helyzetét vetésükkor térinformatikai eszközökkel feltérképezték, így a tőközművelő minden kikelt növény pozícióját meg tudja állapítani amennyiben ismeri a saját helyzetét. Így képes a pneumatikus kapák megfelelő működtetésére.



8.ábra: A pneumatikus kapák egyes helyzetei a kultúrnövény elhelyezkedése alapján (Slaughter et. al., 2012)

Figure 8: Some pneumatic hoes based on the location of the crop (Slaughter et. al., 2012)

Griepentrog et al. (2006) munkájukban egy olyan mechanikus gyomirtást végző robotot készítettek, ami a beavatkozás egy forgókéses rendszerrel végzi el. A forgó rotor kapcsolata a talajjal állandó, munkája során a megfelelő helyen nyúl be a sorok közé, így egy hurkolt ciklois alakú pályán mozog. Fontos tényező a beavatkozás során a rotor forgási sebessége és átmérője, a gép haladási sebessége, a sorokhoz képesti eltolódás, a kések száma és alakja is. A forgó kések egy paralelogramma kialakítású vázra vannak rögzítve, ami lehetővé teszi a mélység beállítását, ill. a beavatkozó szerv párhuzamos elmozdulását az egyenetlen talajon. A rotor sorok közti benyúlást elektromechanikus munkahenger végzi el. A sorok közötti navigációhoz GPS rendszert használtak. Az irányítást végző szoftver fejlesztése MATLAB Simulink segítségével történt (9. ábra).



9.ábra : A rotációs kapával felszerelt töközművelő szerkezeti felépítése és a forgó kapák által leírt ciklois görbék felépítése (Griepentrog et. al., 2006)

Figure 9: Structure of the cultivator equipped with a rotary hoe and the structure of the cycloic curves described by the rotating hoes (Griepentrog et. al., 2006)

A Garford cég által kifejlesztett kultivátor több technológiát ötvöz egy professzionális gépben. A kultivátor fejlesztésénél három alapfeltétel teljesítését tűzték ki célul, e szerint a kultivátornak pontosan a sorközben, a sorok irányát tartva kell haladnia, a sorokat művelő kapákat pontosan a sorok vonalában kell pozicionálni, illetve a gépnek fel kell ismernie a kultúrnövényt és azonosítani kell a pozícióját. A vetett vagy palántázott sorok közti területet hagyományos módon rugóskapasorral műveli, míg a növények közti területet a sorokban egy forgó boronafog. A művelő tárcsa profilja és szinkronizálása a maximális művelési hatékonyság figyelembevételével lett kifejlesztve, valamint megfelelő toleranciát és sérülésmentességet biztosít esetleges oldalirányú vetési, vagy palántázási hibák esetén (10. ábra).



10.ábra: Garford sorközművelő kultivátor (URL₇)

Figure 10: Garford line-up cultivator (URL₇)

A GPS nélküli gépre szerelt RGB kamerák a kultivátor előtt 2 méter széles és két méter hosszú területet pásztáznak, másodpercenként 20 db felvételt küldenek egy számítógép felé, amely azonosítani képes a növények sorait. A gép a sorban elhelyezkedő kultúrnövényeket képes felismerni, beazonosítani és a növény körüli területet, azaz a tőközöket is képes nagy pontossággal megművelni. Ehhez a kultúrnövény levélfelületének nagyobbak kell lennie, mint a gyomnövényeké és a színárnyalatukat is megközelítőleg 540 nm, a vörösénél pedig a 620 nm hullámhosszak közelében helyezkednek el. A felvett körvonal alapján a számítógép minden növényhez hozzárendel egy virtuális középpontot és egy egyedi azonosítót. A felvételekből a szabályozó egység kielemezi és utasítja a gépet az oldal irányú sorkövetésre, valamint szabályozza a forgó boronafogak sebességét, vagyis egyedileg szinkronizálja a hidromotorokat. A szerkezet pontossága megközelítőleg 10 mm. A művelt terület aránya 98%-os, a teljes területhez viszonyítva (URL₇).

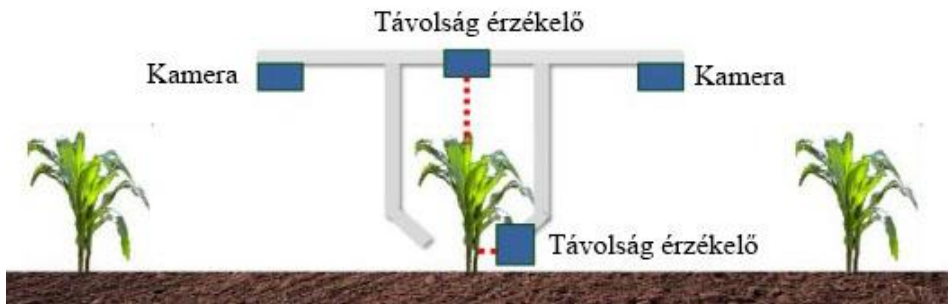
Korszerű vegyszeres növényvédelem

A nem mechanikus eljárások közül a permetezés a legelterjedtebb. Lee et al. (1999) egy olyan precíziós permetezési rendszer prototípusát fejlesztette ki, amely mesterséges látást alkalmas az azonosításra. Ez a rendszer nyolc egymástól függetlenül működő porlasztófejjel van ellátva, amelyek egy közös tartón egy vonalban helyezkednek el. Ezeket mágnesszelepek hozzák működésbe, amik 0,98 litert tudnak kijuttatni percenként. A kijuttatás helyét gépi látással létrehozott gyomnövényterkép alapján határozzák meg. Permetező rendszereket drónok esetében is alkalmaznak. Maga a permetszert tartalmazó

tartály a drón alatt helyezkedik el, alatta a permetszert kijuttató fűvóka a peszticidet lefelé szórja. (Mogili és Deepak, 2018).

A Blue River technológia a közelmúltban kereskedelmi forgalomban kapható permetezési technológia, amely mesterséges intelligenciát használ, és képesek megkülönböztetni a növényeket és a különféle gyomokat, a vegyszerfelhasználás 80 %-kal csökkenhet (Chostner, 2017). A rendszer másodpercenként 20 felvételt képez, a felvételek kiértékelése távoli szerver segítségével történik, az erőgép haladási sebesség akár 20 km/h is lehet (URL₈). Ezzel szemben A MicroDot permetező rendszer csak a levelek felületére juttatja a növényvédő szert így közel 100% hasznosulást érve el (URL₉).

Egy hasonló kialakítású rendszert hozott létre Klose és Marquering (2008). A permetező szórófejek a szivattyú felől érkező permetszert áramlását mágnes szelepekkel lehet vezérelni. Az ilyen permetező kialakítása azért is előnyös, mert külön-külön is kapcsolhatóak a porlasztó fejek. Erre azért lehet szükség, mert ha a rendszer nem azonosít növényt, akkor a kijuttatást meg kell szüntetni. A gyomirtás elvégzéséhez permetező rendszert alkalmaznak, ami az egyes tőközökbe juttatja be a permetszert (11. ábra).

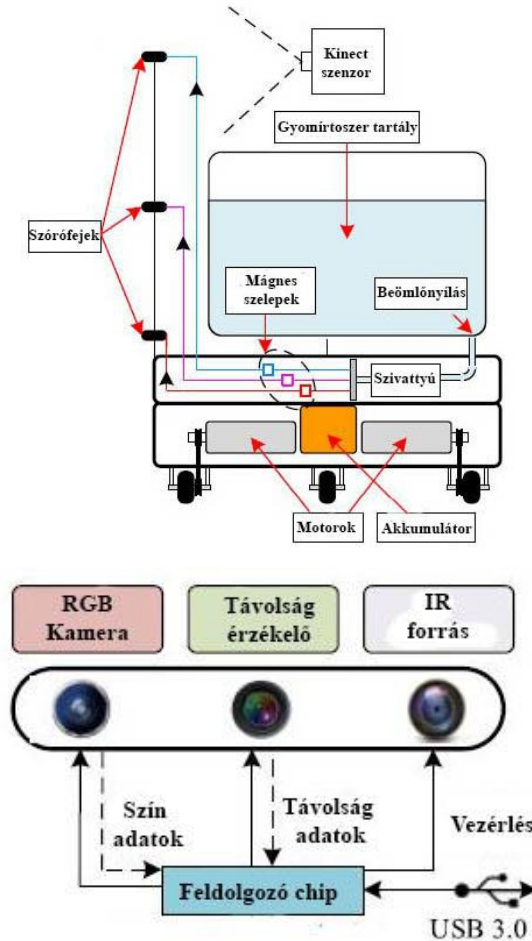


11. ábra: Permetező rendszer érzekelőinek elhelyezkedése (Klose és Marquering, 2008).

Figure 11: Location of spray system sensors (Klose és Marquering, 2008).

Chen és Meng (2018) egy permetező robotot készített el. A beavatkozást mágnesvezérlésű szórófejek végzik el. Az érzékelésre és feldolgozásra nem alkalmaztak speciálisan erre a feladatra tervezett berendezéseket. Az információk feldolgozását egy nyílt forráskódú Arduino fejlesztőplatformot használtak. A növények érzékelése különleges módon egy Kinect szenzorral történt. Ez egy speciális mozgásérzékelő eszköz,

amit videojáték-konzolokhoz fejlesztettek ki. Az érzékelő többféle információt is tud rögzíteni RGB kamerával, infravörös szenzorral, és távolság mérő érzékélővel. Ezt aztán az Arduino dolgozza fel és a rögzített kép és távolság alapján egy három dimenziós képet hoz létre. (12. ábra).



3. ábra: Permetező robot szerkezeti elemei (Chen és Meng, 2018)

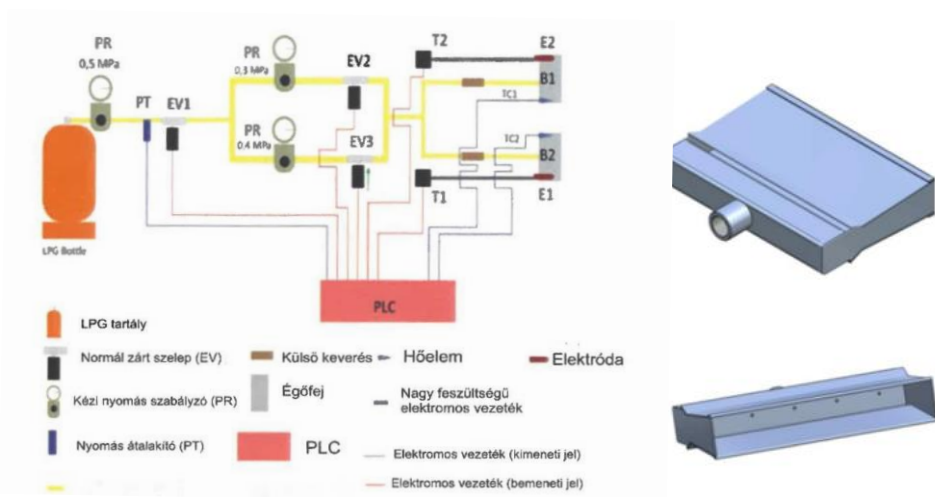
Figure 12: Spraying robot structural elements (Chen és Meng, 2018)

Fizikai elven alapuló, környezatkímélő gyomirtás

A fizikai eljárások közül a gyomperzselés is elterjedt. Hatékonysága 80-90 % körüli. Akkor is alkalmazható, ha a talaj túl nedves a mechanikus beavatkozáshoz.

A lángszórával történő gyomirtás nem új találmány. Először 1852-ben az USA-ban jegyezték be. Akkor petróleumot égettek el, de ennek felhasználása nehézkes volt, ezért

alkalmazása feledésbe merült. A fejlesztés a II. világháború után kapott nagyobb lendületet, amikor a bután gázt kezdték a készülékben alkalmazni. Hatásmechanizmusa a következő: a növényi sejteket legalább 60-70 °C-ra kell felmelegíteni a lángsugárral. Az első gyomszabályzó gépet, a mechanikus és termikus eszközök kombinációjával, 1900-ban szabadalmaztatták, és idővel más prototípusokat is elkészítettek a kutatók (Neilson, 2012). Ezek az eszközök kombinálják a nyílt láng és az infravörös hőkezelés nyújtotta lehetőségeket. A nyílt lángot manapság LPG gázból állítják elő, igaz akadnak hidrogénnel működő eszközök is. A láng alakja prizma, csonka gúla lehet. A láng mérete jól szabályozható, előállítása könnyű. Az LPG munka közbeni hőmérséklete 500-700°C lehet, ilyen esetben a megfelelő behatási idő alatt a talajfelszín alatt 5cm-rel a hőmérséklet elérheti a 150°C-ot is. A kezelés környezetbarát mivel az égés mellékterméke csak víz és széndioxid, a talaj felszínét nem károsítja. A kialakított égőfejek általában plusz levegő bejutási lehetőséggel vannak ellátva, elősegítve a jó égés kialakulását (13. ábra) (Raffaell, et. al., 2015).



13. ábra: Gyomperzselők elvi felépítése, alkalmazott égőfej kialakítás (Raffaell, et. al., 2015).

Figure 13: Principled construction of weed scorches, applied burner design (Raffaell, et. al., 2015).

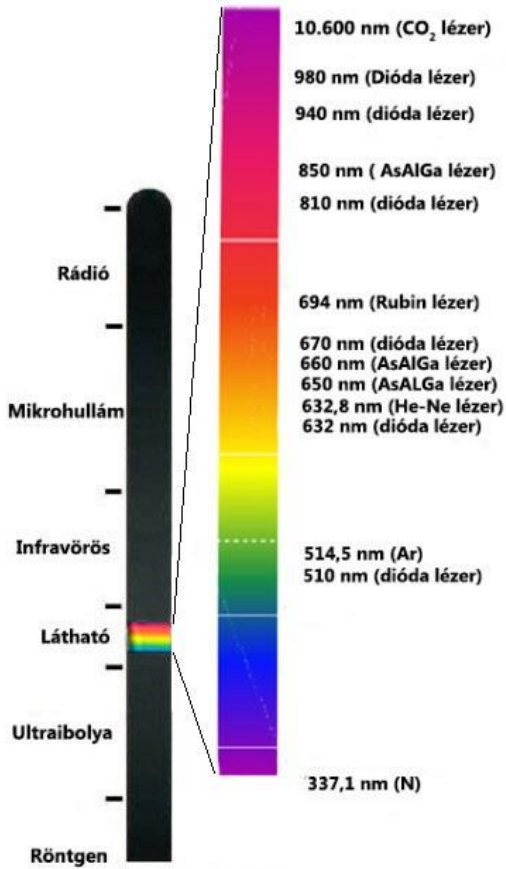
Az égőfejek PLC (Programozható logikai vezérlő) által vezéreltek. Ezen berendezések esetében problémát jelent a gáz hőmérsékletének és nyomásának állandó értéken való tartása, ami kritikus szabályozási feladat lehet. Ezen felül az égő gáz és levegő (oxigén) adagolása, amely tökéletes égés elérése miatt fontos.

A nagy feszültség okozta elektromos kisülés is képes a gyomnövények elpusztítására. *Blasco, et. al., (2002)* olyan elektródákat alkalmaztak, amelyek 15 kV-os elektromos kisülést tudnak létrehozni az áramerősség pedig 30 mA. Növények egyes leveleire 200 ms behatási idő alatt, kis levélfelületnél a határfok 100%-os volt.

Az elektromágneses spektrum hullámai is használhatóak gyomszabályozásra. Az infravörös sugaraktól elindulva egészen a látható fényen keresztül az ibolyán túli fényig vannak ismert eljárások. Az alkalmas módszerek egyik az infravörös sugárzás is. Általában a perzseléses technológiával együtt szokták alkalmazni. A gáz égése során keletkezett hő hasznosul infravörös sugarak formájában. A gáz üzemű égőfej ebben az esetben csupán felmelegíti a berendezésen található kerámia lapot mely a nagy hő hatására intenzív infravörös sugárzást közvetít a növények felé. Az infravörös sugarak által keltett hőhatás kevesebb, mint a perzselésnél, ezért kevésbé hatékony (*Parish, 1989*). Ritkán használt eljárás.

Mikrohullámokat is alkalmazzák. A 300 Mhz és 300 GHz közötti frekvenciájú hullámok keltette dielektromos hatás a növényekben lévő vizet felmelegíti, ami elpusztítja azt (*Sartorato, et. al., 2006*). Fél perces behatási idő alatt a víz hőmérséklete a növényekben elérheti a 80°C-ot.

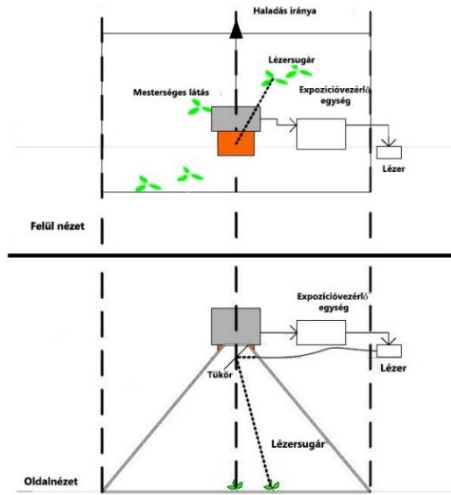
Ibolyántúli fényt is alkalmaznak a gyomszabályozásra. Nagy energiájú sugárzást alkalmaznak, amelyek így nagyfokú károsodást szenvednek el (*Utstumo, et. al., 2018*). Nagyobb létjogosultsággal rendelkezik a lézerefény. *Wilde et. al., (1969)* alkalmazott legelőször rubint, valamint He és Ne lézereket a mezőgazdaságban. Többféle lézer is szóba jöhet, például a közeli infravörösben vagy ibolyántúli fényben működő lézereket, de a CO₂ lézer tűnik a leghatékonyabbnak (*14. ábra*).



14. ábra: A mezőgazdaságban alkalmazott lézerek hullámhossz tartományai (Wilde et. al., 1969).

Figure 14: Wavelength ranges of lasers used in agriculture (Wilde et. al., 1969).

A lézerfény növényekre gyakorolt legfontosabb paramétere a hullámhossz, az intenzitás, a dózis, a behatási idő és hogy folyamatos vagy pulzáló fényt alkalmaznak. Heisel et. al. (2001) 1 mm növényi szárt sikeresen vágott el lézerfény alkalmazásával, számításaik szerint a vágáshoz 150 J energia szükséges milliméterenként. Solvejg et. al. (2006) kísérletükben a gyomnövényt mesterséges látással ismerik fel a lézerfényt tükrök segítségével irányítják a növényre. A lézerdióda által kibocsájtott fénynyalábot különböző átmérőkben, és behatási időkből vetítették a növényekre (15. ábra).



Lézer	Átmérő (mm)	Behatási idő (s)	Energia (J)
V, 532 nm	0,9	1	5
	1,8	1	5
W, 810 nm	1,2	1	90
	2,4	1,2	113

4. ábra: Gyomirtás lézertény segítségével, alkalmazott lézerek (Solvejg et. al. 2006).

Figure 15.: Weed control with the help of laser light, applied lasers (Solvejg et. al. 2006).

Kísérletük alapján megállapították, hogy azonos idő alatt a leghatékonyabb az 5W, 532nm hullámhosszú lézer volt, mely 1,8 mm átmérőjű körben vetült a növényre.

A talajgőzölés alapelve, hogy körülbelül 10 cm mélyen a talajba gőzt préselünk, ami ott oly módon fejt ki hatását, hogy elpusztít szinte minden növényt, kártevőt és baktériumot. A talaj gőzölés nem csak gyomszabályozási, hanem talajfertőtlenítési eljárás is egyben. A talajt a gőzölő eszköz körülbelül 70-100°C-ra melegíti fel. Számos pozitívhatása mellett azonban ennek a gépnek vannak negatív hatásai is, mert elpusztítja a hasznos talajflórát is mivel az eljárás nem szelektív (Miller et. al., 2014).

Létezik a magas hőmérsékleten való gyomszabályozás ellentéte is amikor fagypontra alá visszük a növény hőmérsékletét, így az a továbbiakban életképtelen lesz. A fagyasztó hatást folyékony nitrogénnel vagy szárazjéggel érik el. Manapság ez a módszer még mindig gazdaságtalan, ezért ritkán használják (Pannacci, et. al., 2017).

KÖVETKEZTETÉSEK

A robotok és a robottechnológia fejlődésével úgy, mint az élet minden területén úgy a mezőgazdaságban is nagyfokú átalakulás fog végbe menni. Az eddig kialakított rendszereket felváltják az emberi beavatkozást nem igénylő autonóm rendszerek, amelyek nem csak egy célterületre, specifikusan lesznek használhatóak, hanem saját műszerparkkal lesznek felszerelhetők mobil rendszerűen. A ma használatban lévő robosztus nagy energiafogyasztású berendezéseket (pl. arató-cséplőgép) felváltják a kisméretű berendezések, amelyek az adott munkafolyamat esetleges megosztásával fognak operálni. A területteljesítmény tényezők és a fenntarthatóság szempontjainak figyelembe vételével inkább a robot rajok, „master-slave” kapcsolatban fognak együtt kooperációban dolgozni (URL₁₀). A begyűjtött információk kronologikusan visszamenőlegesen is elérhetőek lesznek „big data” adathalmazok felhasználásával, amelyek a terepen, szántón kihelyezett stabil és mobil helyzetű mérőállomások adataival kiegészítve on-the-go feldolgozásával az MI adta lehetőségek felhasználásával fog adaptívan beavatkozni, végre hajtani a feladatát.

APPLICATION POSSIBILITIES OF ROBOT TECHNIQUE IN ARABLE PLANT PROTECTION.

AMBRUS BÁLINT

Széchenyi István University, Faculty of agricultural and Food Sciences, Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

The author presents the characteristics of robots used in agriculture, including plant protection, as well as the possibilities of robot technology and the possibilities provided by robot technology. It places particular emphasis on the analysis of sustainability criteria. The most critical factor is the reduction of the use of synthetic pesticides and chemicals replacement by physical procedures. This knowledge helps the paradigm shift in the automatization and robotization of agricultural work. The future belongs to small, smart,

interconnected, light machines. However, their properties raise moral and, within that, a number of ethical, management and social issues, both in the operation and in the design and manufacture of the machines working in the swarm. The future also belongs to the super-intelligent machines in this field, which will be able to improve themselves including software and hardware too. The dissertation also draws attention to the fact that a paradigm shift is needed in the sense that basic machines must be standardized, ie the design of a robot should not start from the basics, but can also use previously developed applications. A good example of this is From Toy to Tool: FTtT. Industrial robots offer many opportunities for innovation, but at the same time adapting this knowledge and experience to the natural environment poses serious challenges. Due to the specific nature of agricultural production, the knowledge and solutions accumulated in the field of robotics in the industry can only be partially utilized here, and in most of the individual production areas special solutions are also needed. It is likely that the robotization of agriculture will also require the development of new organizational and organizational structures. The article also helps with this.

Keywords: robot, robotics, plant protection, GPS, RTK, MI, drone

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Tématerületi Kiválósági Program - 2019 (TUDFO/51757/2019-ITM) számú projekt támogatta. Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek Prof. Dr. Neményi Miklós akadémikus úrnak és Dr. Teschner Gergely adjunktus úrnak, iránymutatásuk, szakmai segítségük nélkül ezen szemle cikk nem jöhetett volna létre. Továbbá köszönetemet szeretném kifejezni szakmai segítségéért Dr. Nyéki Anikó adjunktus asszonynak.

IRODALOM

- Amobi, O.* (2019): Introduction to robotics. Unirobotica Inc., Pasadena
- Åstrand, B. - Baerveldt A.* (2002): An Agricultural Mobile Robot with Vision-Based Perception for Mechanical Weed Control. *Autonomous Robots*. 13, 21–35.
- Bártfai Z. - Blahunka Z. - Bognár I. - Faust D.* (2018): Robotok a mezőgazdaságban. *Mezőgazdasági Technika*. 59, (10) 2-7.

- Becvarik, M., Devetsikiotis, M.* (2016): Modeling of user quality of experience in location aware smart spaces. Digital Media Industry & Academic Forum (DMIAF), 207–212.
- Blackmore, S.* (2017): Professor Simon Blackmore interview robotics in agriculture (Tharsus). Landwards Volume 72. (2).
- Blasco, J. - Aleixos, N. - Roger, J. M. - Rabatel, G. - Molto, E.* (2002): Robotic weed control using machine vision. Biosystem Engineering. 83, (2) 149-57.
- Busics Gy.* (2005): Alappontmeghatározás RTK-val. Geomatikai Közlemények, VIII. kötet. Sopron
- Chandler, J. M. - Cooke, F., T.* (1992): Economics of cotton losses caused by weeds. Weeds of Cotton: Characterization and Control. The Cotton Foundation, Memphis.
- Chen, T. - Meng, F.* (2018): Development and Performance Test of a Height-Adaptive Pesticide Spraying System, IEEE Access. 6, 12342-12350.
- Chostner, B.* (2017): See & Spray: The Next Generation of Weed Control. 24, (4) 4-5.
- Gliever, C. - Slaughter, D.C.,* (2001): Crop versus Weed Recognition Artificial neural networks: Neural Network Plant Recognition for Vision Based Robotics Weed Control. Proceeding of the ASAE conference
“Real-Time Image Applications”, Sacramento.
- Gomes, A. - Pinto, A. - Soares, C. - Torres, J.M. - Sobral, P. – Moreira, R. S.* (2018): Indoor Location Using Bluetooth Low Energy Beacons. Trends and Advances in Information Systems and Technologies. 565-580.
- Griepentrog, H.W. - Nørremark, M. - Nielsen, H. - Blackmore, S.* (2005): Seed mapping of sugar beet. Precision Agriculture. 6, (2), 157–65.
- Griepentrog, H.W. - Nørremark, M. - Nielsen, J.* (2006): Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS. The Royal Veterinary and Agricultural University Department of Agricultural Sciences, Denmark.
- Heisel, T. - Schou, J. - Christensen, S. - Andreasen, C.* (2001): Cutting weeds with a CO₂ laser. Weed Research. 41, (1) 19–29.
- Jha, K. - Doshi, A. - Patel, P. – Shah, M.* (2019): A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence, Artificial Intelligence in Agriculture. 2, 1-12.
- Kaplan, E. - Hegarty, C.,* (2006): Understanding GPS Principles and Applications. Second edn. Artech House, Norwood.
- Kise, M. - Zhang, Q. - Rovira Maïs, F.* (2005): A stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance. Biosystems Engineering. 90 (4), 357–367.

- Klose, R. - Marquering, J.* (2008): Weedy – a sensor fusion based autonomous field robot for selective weed control. *Agricultural engineering; Land-Technik.* 167-172.
- Lamb, D.W. - Brown, R.B.* (2001): Remote-sensing and mapping of weeds in crops. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 78, (2) 117–125.
- Láng I.* (2001): Lesz-e új a nap alatt a környezetvédelemben? *Magyar Tudomány.* 162, (12) 1415–1422.
- Lee, W.S. - Slaughter, D.C. - Giles, D.K.* (1999): Robotic weed control system for tomatoes. *Precision. Agriculture.* 1, 95–113.
- Maier, H.R.. - Dandy, G.C.* (2000): Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications. *Environmental Modeling & Software.* 15, (1) 101–124.
- Marchant, J.A. - Brivot, R.* (1995): Real-time tracking of plant rows using a Hough transform. *Real-time Imaging* 1, (5) 363–371.
- Marchant, J.A. - Onyango, C.M.* (2000): Shadow invariant classification for scenes illuminated by daylight. *Journal of the Optical Society of America.* 17, (11) 1952-1961.
- Miller, T.C. - Samtani, J. B. - Fennimore, S.A.* (2014): Mixing steam with soil increases heating rate compared to steam applied to still soil. *Crop Protection.* 64, 47-50.
- Mogili, U.M.R. - Deepak, B.B.V.L.* (2018): Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science.* 133, 502–509
- Nagy S.* (2004): A gyomfelvételezési módszerek fejlesztése a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez, Phd értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar.
- Neilson, B. D.* (2012): The Integration of Propane Flaming and Mechanical Cultivation for Effective Weed Control in Agriculture. University of Nebraska-Lincoln, PhD disszertáció.
- Neményi M.* (2017): Thoughts and questions about the sustainability of agriculture in the modern digital age: theoretical and practical approach. pp. 11-40.
- Neményi M.* (2020): Az agrárium és az ökológiai fenntarthatóság I. rész: globális megközelítés, a gazdagok felelőssége. *Magyar Tudomány.* 181, (129) 1665–1673.
- Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs.* (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. MTA TAKI kiadó, Budapest.
- Ozsoy, K. - Bozkurt, A. - Tekin, I.* (2013): Indoor positioning based on global positioning system signals. *Microwave Optical Technology Letters.* 55, 1091–1097.

- Pannacci, E. - Lattanzi, B. - Tei, F.* (2017): Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. *Crop Protection*. 96, 44-58.
- Parish, S.* (1989): Weed control testing the effects of infrared radiation. *The Agricultural Engineer*. 44, 53-55.
- Peruzzi, A. - Martelloni, L. - Frascioni, C. - Fontanelli, M. - Pirchio, M. - Raffaelli, M.* (2017): Machines for Non-Chemical Intra-Row Weed Control in Narrow and Wide-Row Crops: A Review. *Journal of Agriculture Engineering*. 45, (2) 8-12.
- Raffaelli, M. - Frascioni, C. - Fontanelli, M. - Martelloni, L. - Peruzzi, A.* (2015): LPG burners for weed control. *Applied engineering in agriculture*. 31,717-731.
- Rasmussen, I.A* (2004): The effect of sowing date, stale seedbed technique, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*. 44, 12-20.
- Sáeza, A. - Negrib, P. - Vielc, M. – Aizena, M.A.* (2019): Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwifruit. *Scientia Horticulturae*. 246, 1017-1021.
- Sartorato, I. - Zanin, G. - Baldoin, C. - Zanche, C.D.* (2006): Observations on the potential of microwaves for weed control. *Weed Research*. 46, .1-9.
- Slaughter, D.C. - Chen, P. - Curley, R.G.* (1997): Computer vision guidance system for precision cultivation. *American Society of Agricultural Engineers paper 97*, 1076-1079.
- Slaughter, D.C. - Giles, D.K. - Downey, D.* (2007): Autonomous robotic weed control systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 61, (1) 63-78.
- Slaughter, D.C. - Ruiz, M. P. - Fathallah, F. - Upadhyaya, S. - Gliever, C. J. - Miller, B.* (2012): GPS-Based Intra-Row Weed Control System: Performance and Labor Savings. *Automation Technology for Off-Road Equipment. proceedings of the 2012 ATOE Conference 10-11 July, 2012 Valencia, Spain.*
- Søgaard, H. T. - Olsen, H. J.* (2003): Determination of crop rows by image analysis without segmentation, *Computers and Electronics in Agriculture*. 38, (2) 141-158.
- Solvejg, K.M. - Bak, T. - Svend, C. - Per, K.* (2006): The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method, *Biosystems Engineering*. 95, (4) 497–505.
- Sun, H. - Slaughter, D.C. - Pérez Ruiz, M. - Gliever, C. - Upadhyaya, S.K. - Smith, R.F.* (2010): RTK GPS mapping of transplanted row crops. *Computers and Electronics in Agriculture*. 71, (1) 32-37.
- Tamás J.* (2001): *Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata. Mezőgazdasági szaktudás Kiadó, Budapest.*

Thompson, J.F. - Stafford, J.V. - Miller, P.C.H. (1991): Potential for automatic weed detection and selective herbicide application, *Crop Product.* 10, (4), 254–259.

Tillett, N. D. - Hague, T. (1999): Computer-Vision-based hoe guidance for cereals - an initial trial. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, (3) 225-236.

Tillett, N. D. - Hague, T. (1999): Computer-Vision-based hoe guidance for cereals - an initial trial. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, (3) 225-236.

Tillett, N.D - Hague, T. (2001): A bandpass filter-based approach to crop row location and tracking, *Mechatronics.* 11, (1) 1-12.

Tillett, N.D. - Hageua, T. - Grundy, A.C. - Dedousis, A.P. (2008): Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering.* 99, (2) 171-178.

Utstumo, T. - Urdala, F. - Brevika, A. - Dørum, N. - Overskeida, Ø. - Berge, T.W. - Gravdahl, J.T. (2018): Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* 154, 36–45.

Wilde, W.H. A. - Parr, W. H. - McPeak, D. W. (1969): Seeds bask in laser light. *Laser Focus.* 5, (23) 41-42.

URL1:https://hu.wikipedia.org/wiki/A_robotika_h%C3%A1rom_t%C3%B6rv%C3%A9nye

URL2:https://www.agroinform.hu/gepeszet/gyumolsszedo-dronba-fektet-vagyonokata-kubota-47574-001?utm_source=feedly&utm_medium=organic&utm_campaign=HIRpromo&utm_content=4757

URL3: <https://www.ofc.org.uk/sites/ofc/files/papers/prof-simon-blackmore-presentation.pdf>

URL4: <https://tudomanyplaza.hu/mikrorobotok/>

URL5: <https://internetofbusiness.com/walmart-files-patent-autonomous-bees/>

URL6: http://mialmanach.mit.bme.hu/erdekessegek/nem_jellemzo_alapu_alakzatfelismero_algoritmusok,

URL7: <https://garford.com/products/robocrop-inrow-weeder/>

URL8: <https://medium.com/the-coleman-fung-institute/blue-river-technology-how-robotics-and-machine-learning-are-transforming-the-future-of-farming-f355398dc567>

URL₉: <https://www.ofc.org.uk/sites/ofc/files/papers/prof-simon-blackmore-presentation.pdf>

URL₁₀: <https://www.realagriculture.com/2020/10/fendt-rolls-out-new-generation-of-small-xaver-field-robots/>

A szerző címe – Adress of the author:

AMBRUS Bálint

Széchenyi István Egyetem,

Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari

Műszaki Tanszék,

H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

E-mail: ambrus.balint@sze.hu