AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Autonóm üzemű traktorok alkalmazásának hatása a géphasználati költségekre

Magó László

Kulcsszavak: autonóm önvezető erőgépek, géphasználati költségek, gépkihasználtság, üzemi méret, erőgép-kategóriák
JEL kód: C61, O33, Q16

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A digitalizáció, az automatizálás, illetve a mesterséges intelligencia eszközeinek fokozatos térhódítása az agráriumot, illetve a mezőgazdasági termelési technológiákat is elérte. Az egyes mezőgépgyártók részéről sorra jelennek meg az újabb és újabb autonóm üzemre alkalmas erőgépek. Előre vetítve a közeli jövőt, amely a mezőgazdaságban is a személyes közreműködés mérséklését, a hatékonyság növelését tűzi ki célul. Az emberi munkaerő mellőzése által a termelés kevésbé lesz kiszolgáltatott az olykor kedvezőtlen munkaerőpiaci körülményeknek, továbbá megfelelő műszaki feltételek mellett a gépi munkavégzés fokozott hatékonysága, precizitása a fokozódó árversenyben a termelés jövedelmezőségét is segíti.

Felvetődik a kérdés, miként befolyásolhatja az automatizálás fokozatos fejlődése a gépesítési trendeket. Az erőgépek esetében az újonnan vásárolt gépek átlagteljesítménye évről évre fokozatosan nő, hiszen az egy kezelő személy által elvégzett munka mennyisége, ill. a területteljesítmény nő. A robottechnika azonban más elveken alapul: Itt nem elsődleges szempont a nagy gépméret. Elektromos üzemű gépek esetében, napjaink technikai feltételei mellett, szinte megvalósíthatatlan a felső teljesítménykategóriákba sorolható erőgépekkel történő munkavégzés. A kisebb teljesítményű robotok kerülnek előtérbe, amelyek alkalmazása agrotechnikai szempontból előnyös elemeket is tartalmazhat.

Munkám során megvizsgáltam, hogy a szántóföldi növénytermesztés adott üzemi méreteinél alkalmazott költségszempontból legkedvezőbb erőgépek autonómra cserélése milyen hatással van az egyes traktor- vagy betakarítógép-kategóriába tartozó erőgépek műveleti költségszintjére, s ezáltal a géphasználat összes költségére. Célom megállapítani és bemutatni, hogy az üzemi méret és ezáltal a gépkihasználtság milyen mértékben befolyásolja az autonóm üzemű gépek műveleti költségszintjét.

A kutatómunka során megállapítást nyert, hogy közepes, és nagyüzemi méreteken autonóm erőgépek alkalmazásával 15, de akár a kiemelkedő 25%-os műszakórára jutó költségszint-csökkenés is realizálható, ami géppark szinten 10, esetenként 15%-kal kedvezőbb géphasználati költséget jelent. Kis üzemi méreteknél az önvezető robottraktorok magas műveleti költségét ellensúlyozandó a kisteljesítményű elektromos üzemű robotok, illetve robotcsoportok szolgáltathatnak megoldást ott, ahol a robotcsoportokat alkotó egyedek száma a munkaműveletek volumenének függvényében változhat.

BEVEZETÉS

A téma időszerűsége

A fokozódó munkaerőhiány ezen belül a szakemberkereslet nehézségeket okoz nem csupán az ipari szektorban, hanem a mezőgazdaságban is. A termelés hatékonyságának növelése és a költségek csökkentése céljából jó alternatívának ígérkezik a robotizáció. Számos munkaművelet, termeléstechnológiai munkaelem automatizálható, így elvégzésük igen eredményesen teljesíthető akár robotokkal is. Napjaink a közlekedést is érintő egyik kiemelkedő innovációja az önvezető járműtechnológiához kapcsolódó fejlesztések gyors térhódítása. Mindez a mezőgazdasági termelést is fokozottan érinti. Az erőgépek autonóm irányításának ötlete már több éve napvilágot látott.

A korszerű erőgépek, de olykor a munkagépek esetében is számos területen alkalmaznak „okos" technikai megoldásokat a precíziós mezőgazdaság elemeként, illetve a munkaműveletek hatékonyabb elvégése céljából, lásd: kormányautomatika-robotpilóták, GPS-es sorvezetők, sorvégi forduló automaták, permetező szakaszolók, ISOBUS-terminálok, videókamerák, különféle szoftveres alkalmazások.

Az autonóm gépek alkalmasak a területen való teljesen független mozgásra és munkavégzésre. A megfelelő műszaki felszereltségű gépek könnyen tudnak alkalmazkodni és válaszolni az üzemeltetési környezet változásaira.

Számos mezőgépgyártó cég dolgozta ki vezető nélküli traktorának prototípusát, s ezek közül néhány üzemi körülmények között is helyt állt.

Előzmények

Autonóm üzemű gépek ellenőrzött körülmények között, ipari létesítményekben, raktárakban, történő alkalmazása hosszú múltra tekint vissza. A mezőgazdaságban a vezető nélküli járművek alkalmazása hosszú ideig vízió volt. Az alapkutatás e témakörben az 1960-as évek elején kezdett kibontakozni. Ezen első fejlesztési lépések a gépek kormányzását érintették *(Wilson, 2000)*.

Ezt követően számos fejlesztés készült a mezőgazdaságban alkalmazható robotok terén. Ilyenek például a szabadföldi biotermelésben alkalmazható megoldások *(Kondo – Ting, 1998)*, a videókamerával, GPS navigációval ellátott „Demeter system" elnevezésű automata betakarítórendszer *(Pilarski et al., 2002)*, illetve a sávpermetezésre alkalmas API platform *(Bak – Jacobsen, 2003; Blackmore et al., 2007)*.

Az autonóm traktorokat érintő innováció az új évezred első évtizedében tovább fejlődött, s jellemzően az automata kormányzással kapcsolatos fejlesztéseket tartalmazta. A második évtizedében a technikai előrehaladás robbanásszerűen felgyorsult. Kezdeti lépéseket a „Fendt GuideConnect – két traktor, egy gépkezelő" rendszer jelentette. Ez esetben a gépkezelő nélküli traktor ugyanazt a munkafolyamatot végzi el, mint az előtte haladó vezérjármű, amivel rádiójelekkel kommunikál, miközben a kormányzása GPS-navigációval történik *(Magó, 2012)*. Az utóbbi években szinte minden piacvezető mezőgépgyártó cég kidolgozta saját önjáró erőgépét illetve annak prototípusát *(Avrora, 2019; Claver, 2018; Future Farming, 2019; Hattum, 2018; Jóri, 2019; Mihelczarek, 2018; Sárközi, 2019a, 2019b; Varga, 2019)*.

A mezőgazdasági felhasználási célú autonóm üzemű gépek fejlesztésének másik iránya a kis teljesítményű, könnyű szerkezeti kialakítású berendezések csoportokban, rajokban történő munkavégzéséről szól. E megoldások ma még futurisztikusnak tűnnek, azonban jó alternatívává válhatnak mind a kisüzemi gépesítési feladatok hatékony ellátására, mind pedig a precíziós gazdálkodás kihívásaira *(Hajdú, 2018; Swarmfarm, 2019; Varga, 2019)*.

Gépesítési trendek a mezőgazdaságban

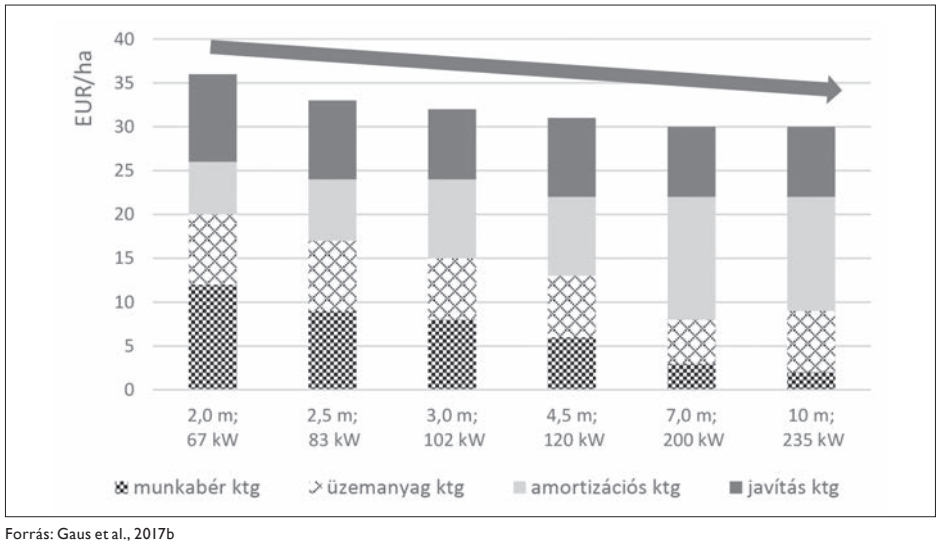
Felmerül a kérdés, miként viszonyul a robotizáció a gépesítés, ill. a géphasználat költségeihez. Az erőgépek autonóm irányításakor a bérköltség-megtakarítás kerül a figyelem központjába *(Pichlmaier, 2018)*. A bérköltség redukálásának gépesítésre gyakorolt hatását az *1. ábra* szemlélteti. Általánosságban elfogadott, hogy a gépméret növekedésével a fajlagos, azaz a hektáronkénti műveleti költségek csökkenek, hiszen egységnyi idő alatt több munka végezhető el, amennyiben az erőgépünk motorteljesítménye, ezáltal a gépkapcsolat területteljesítménye nagyobb. Mindez a termelékenységet fokozza, a fajlagos géphasználati költséget csökkenti.

Amennyiben autonóm üzemű gépeket vizsgálunk, akkor a munkaművelet-végzéshez kapcsolódó bérköltség lényegében elhanyagolható, a hektárra vetített fajlagos költségek trendje megváltozik *(2. ábra) (Gaus et al., 2017b)*. A nagyobb teljesítményű, a jelentősebb beruházási, ezáltal amortizációs költséggel rendelkező erőgépek használata költségesebbnek bizonyul, és felveti a kisméretű, kisteljesítményű robotok alkalmazásának előnyét *(Kosutić et al., 2019)*.

Az autonóm gépek, illetve az alacsony teljesítményű gépkapcsolatok gépesítésökonómiai kérdéseit az elsők között *Pedersen et al., (2005, 2006, 2007, 2008), Have (2004) és Gaus (2017a)* tekintette át. *Goense (2003)* szerint egyes speciális talajműveléssel kapcsolatos munkaműveletek esetében a növekvő bérköltségek, illetve a tárgyi eszközök – mint navigációs rendszerek, robottechnika, szenzortechnika – csökkenő költségszintjének hatására a robottechnika előnyös megoldássá válhat és elterjedése fokozódhat.

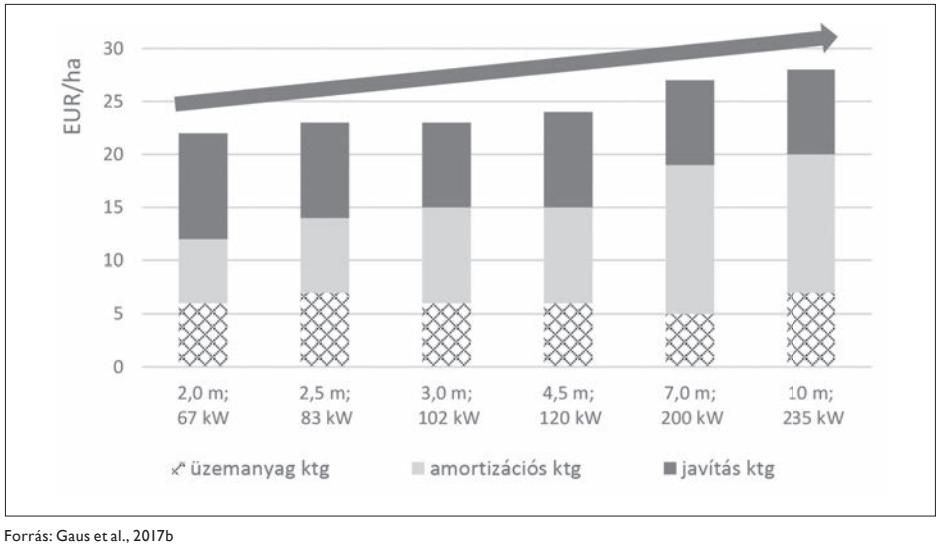
Have (2004) rámutatott arra, hogy a gépméret az autonóm erőmunkagép kapcsolatok esetében jelentősen kisebb, mint a konvencionális rendszereknél, illetve, hogy az erőgépek műszakóra-teljesítése a

1. ábra
Talajművelő munkaműveletek munkabért tartalmazó hektárra jutó fajlagos költsége az erő és munkagép kapcsolat teljesítményének függvényében
(Wage costs consisting operational cost of soil preparation operations per hectare in the function of tractor power)



Forrás: Gaus et al., 2017b

2. ábra
Talajművelő munkaműveletek munkabért nem tartalmazó hektárra jutó fajlagos költsége az erő és munkagép kapcsolat teljesítményének függvényében
(Operational cost of soil preparation operations per hectare in the function of tractor power without wage costs)



Forrás: Gaus et al., 2017b

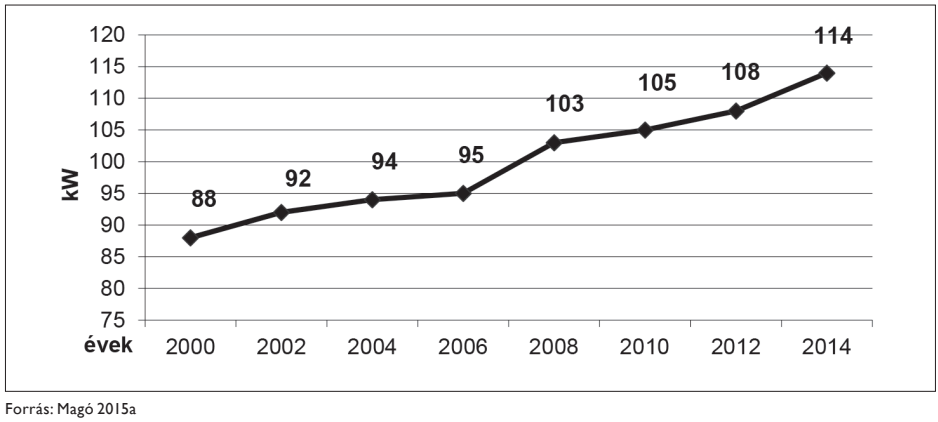
folyamatos munkavégzés eredményeként a duplájára is nőhet.

Az újonnan forgalomba helyezett traktorok átlagos motorteljesítménye az elmúlt évtizedekben folyamatosan növekvő tendenciát mutat *(Magó, 2015b)*. Tekintsük a németországi példát, ahol napjainkban az eladott traktorok átlagos motorteljesítménye 120 kW feletti. A *3. ábra* alapján megállapítható, hogy 15 év alatt ez az érték 30%-kal emelkedett. A motorteljesítmény növekedésével egyetemben az erőgépek mérete, átlagos önsúlya is fokozatosan nő *(Erdeiné, 2017)*. Mindez hatással van a gépek, gépkapcsolatok vonulására, táblaszéli mozgására, de legfőképpen a talajtaposásra. Különböző konstrukciós megoldásokkal, járószerkezet kialakítással (gumihevederes, ikerkerekes), kormányzási technikákkal (törzscsuklós, elforduló mellső tengely) vagy talajtaposást csökkentő vezetési technikákkal (oldalazó haladás) próbálják kiküszöbölni vagy enyhíteni a gép nagy méretéből, illetve tömegéből fakadó művelés szempontjából hátrányos hatásokat. Kiemelhető, hogy a kevésbé hatékony, kisteljesítményű, ez által kisebb méretű és könnyebb gépek környezetre gyakorolt hatása mérsékeltebb.

A nagyteljesítményű gépeket alkalmazó nagyüzemek, e gépek üzemeltetési feltételrendszerének megfelelően alakítják ki a táblaméreteket, a művelőutakat, és a közeledési útvonalakat. A kisgazdaságok lehetőségei azonban e téren korlátozottak, így számukra a nagyteljesítményű erőgépek alkalmazása akadályba ütközik. A kevésbé hatékony kiskapacitású gépek használatával ellenben gazdasági hátrányba kerülnek. A kisüzemek az alacsonyabb jövedelemi helyzetükből adódóan is hátrányban vannak, a magasabb árszintű, nagyobb teljesítményű erőgépek beszerzésének megvalósítása tekintetében *(Blackmore et al., 2007; Takács – Baranyai, 2010, 2013)*.

A robottechnológia áttörést jelenthet e problémakör megoldásában, hiszen az autonóm erőgépek esetében nem a munkaerő

3. ábra
Németországban forgalomba helyezett új traktorok átlagos motorteljesítménye 2000 és 2014 között
(The average engine power of the new tractors placed on the market in Germany between 2000 and 2014)



Forrás: Magó 2015a

hatékony kihasználása kerül előtérbe, ez által a gép teljesítményének és méretének növelése sem elsődleges cél. A kisméretű gépek talajra és környezetre gyakorolt hatása kedvezőbb, mozgásuk dinamikusabb. Megfelelő kapacitáskihasználásuk kisüzemi szinten is megvalósítható. Emellett az elektromos mobilitás és -hajtás, illetve a kisparcellás művelés kiváló eszközeinek minősülnek *(Witte – Sporleder, 2016)*.

MÓDSZER

A vizsgálat célja

Indokoltnak tűnik megvizsgálni, miként alakulnak a géphasználati költségek az üzemi méret függvényében autonóm erőgépek alkalmazása esetén, amennyiben az adott gazdaság vetéstervét, termeléstechnológiáját figyelembe véve határozzuk meg az elvégzendő műveleteket, az azokat teljesítő gépkapcsolatokat, ezáltal az erő- és munkagépek számát, terhelését. A következőkben üzemi adatokon alapuló determinisztikus alapú modellszámítások segítségével meghatározásra kerül, hogy szántóföldi növénytermesztés esetében az egyes üzemi méreteknél alkalmazott költség szempontból legkedvezőbb erőgépek autonómra cserélése által milyen mértékben változik az egyes traktor- vagy kombájnkategóriába tartozó erőgépek műveleti költségszintje, s ezáltal a géphasználat összes költsége. Bemutatásra kerül, hogy az üzemi méret, és így a gépkihasználtság milyen mértékben befolyásolja az autonóm üzemű gépek műveleti költségszintjét.

A gépkihasználás jelentősége

A géphasználat költségszintjének mérséklése céljából a géprendszert alkotó erőgépek *kihasználtságára* fokozott hangsúlyt kell fektetni.

A mind korszerűbb és magasabb beszerzési árral rendelkező erőgépek használati költségében jelentős részt képviselnek az állandó jellegű költségek, főként az amortizáció, illetve a karbantartás költsége. E költségterhek mérséklése a *kihasználtság* fokozásával valósítható meg.

Az alkalmazott eszközöket a tényleges – a kihasználtság mértékére tekintettel lévő – műveleti költségszinten szükséges társítani az egyes szántóföldi munkaműveletekhez. Így lehetőség van a *műszakóra-teljesítés* költségekre gyakorolt hatásának figyelembevételére.

A modellszámítások során az egyes üzemi méretekhez rendelt erőgépek esetében elsődleges szempont a legtöbb műszakóra teljesítése, ezáltal legkedvezőbb kihasználtság elérése *(Magó, 2008c)*.

A vizsgált növénytermesztési technológiák

A vizsgálatok a mezőgazdasági termelés gépi munkavégzési folyamatainak *modellezésével* valósíthatók meg. A modellben, szántóföldi növénytermesztés esetében, élelmiszer célú felhasználásra alkalmas kalászos gabonát, takarmány és energianövényként hasznosítható kukoricát, valamint élelmiszeripari és energianövényként hasznosuló olajos növényeket — mint a napraforgó és a napjainkban igen népszerű repce — tartalmazó, magyarországi termelési sajátosságokat tükröző vetésterv került alkalmazásra. Az üzemi méret függvényében az egyes növények vetésterületének aránya a hazai agronómiai és termesztéstechnológiai feltételek teljesülését szem előtt tartva lett kialakítva.

Az alkalmazott gépcsaládok, a modellszámítások paraméterei

A vizsgálatok a Magyarországon használatos korszerű, az autonóm üzem kialakítása céljából megfelelő technikai alapokkal rendelkező erőgépekre irányultak.

A géphasználati költségek alapadatainak meghatározása közepes és nagyüzemi gazdálkodást tekintve a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet 1999-től 2019-ig terjedő évek adatbázisára támaszkodva *(Gockler, 1999; Erdeiné – Rák, 2019)*, a kisüzemi szintet tekintve pedig saját gazdálkodásból eredő mintegy tizenöt éves adatgyűjtés tapasztalatait figyelembe véve történt.

A modellszámítások a gépek műszaki paraméterei mellett a műszakórára jutó terület-teljesítményre, illetve a gépüzemeltetés költségtényezői közül a munkabér és az ezt terhelő költségekre, a hajtó- és kenőanyagok költségére, a karbantartás és javítás költségére, az értékcsökkenésre, valamint az egyéb költségek vizsgálatára fókuszáltak. Az állandó jellegű költségek meghatározásakor az adott üzemi méreteknél realizálható gépkihasználtság és annak költségbefolyásoló hatása is számításba lett véve.

Az autonóm gépek esetében a megnövelt műszaki tartalom hatására nőtt az amortizáció, a karbantartás, illetve az egyéb költség jellegű ráfordítás, ellenben jelentősen kevesebb bérköltség került meghatározásra *(4. ábra)*.

A modellszámítások 5-1000 ha-os üzemméret-tartományban a géprendszer-kialakítás meghatározó üzemméret-pontjait érintették. Ezek alapján a mezőgazdasági birtokstruktúra nagyobb szeletét érintve tehetők megállapítások, illetve vonhatók le a konvencionális, de az autonóm gépesítést, géphasználatot érintő következtetések *(Csáki et al., 1981)*.

EREDMÉNYEK

Az erőgéprendszer összetétele és az erőgépek műszakóra-teljesítése az üzemi méret függvényében

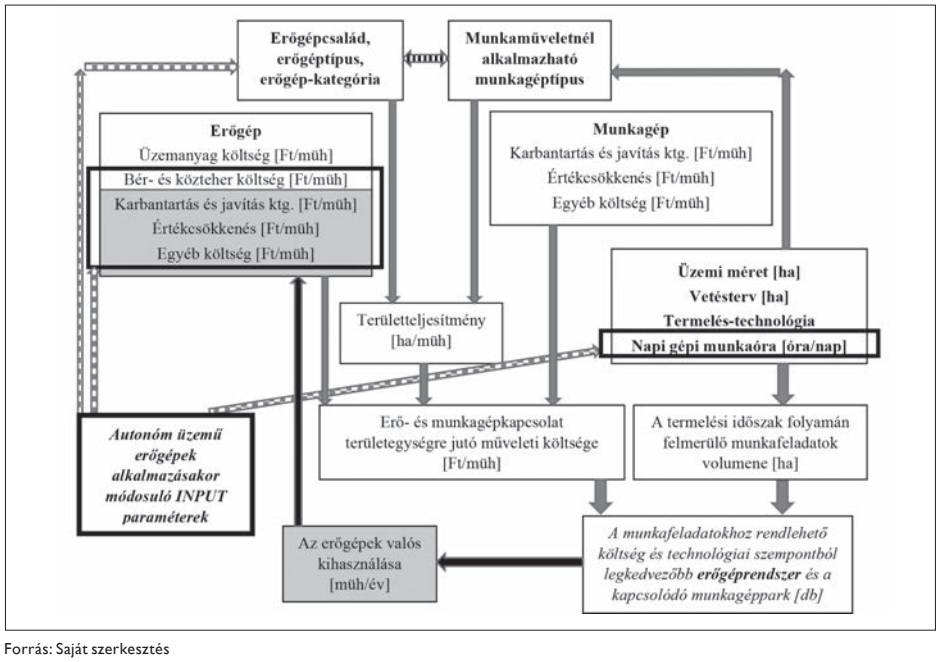
A vizsgálatok során a traktorok és a betakarítógépek kategorizálása *motorteljesítmény* alapján, történt. Az egyes területekhez rendelt legkedvezőbb használati költségű erőgéprendszer összetétele az *erőgép-kategóriák* szerint került meghatározásra.

A vizsgálatba vont legkisebb üzemi méretekhez rendelhető konvencionális erőgép a traktorok esetében a minőségi talajmunkák elvégzéséhez minimálisan szükséges 40 kW-os teljesítményű. A területnagyság növekedésével először a géprendszert alkotó *traktorok* teljesítményszintje (30 hatól 60 kW-os traktor használata indokolt), majd a darabszáma is nő. Ily módon a 40 és a 80 kW teljesítményű traktorok százhektáros üzemi mérettől már *együttesen* szerepelnek a géprendszerben. Háromszáz

4. ábra

A modellszámítás input paraméterei (félkövér betűtípus), illetve eredményei (dőlt betűtípus)

The input parameters (bold) and the results (italics) of the model calculations



Forrás: Saját szerkesztés

hektáros üzemi mérettől az előbb említett erőgépek szerepét a 60 és 120 kW teljesítményű traktorok veszik át, amelyek a növekvő munkamennyiséghez elegendő kapacitással rendelkeznek. Ötszáz hektáros üzemi mérettől e traktorok darabszáma a kapacitásigény függvényében nő *(5. ábra)*.

A *szállítási* feladatokat a kihasználtság növelése végett szintén traktor-pótkocsi kapcsolattal célszerű megoldani.

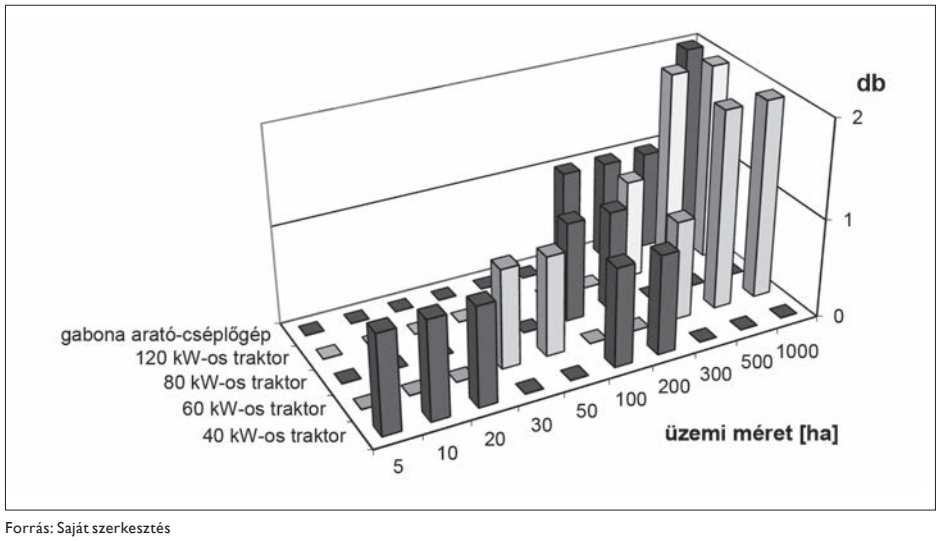
Kisebb kapacitású *gabonabetakarító gép* saját tulajdonú használata 100 hektár üzemi méret felett válhat indokolttá. Ötszáz hektár üzemi mérettől már a ráirányuló gépimunka-szükséglet nagy mértéke miatt nagyobb áteresztőképességű betakarítógép is alkalmazható. A kalkulációk szerint 1000 hektáros gazdaságban már legalább két darab gabonakombájn üzemeltetése ajánlott *(Magó, 2008b)*.

Az erőgépek eltérő üzemi méreteknél teljesíthető műszakóráinak száma befolyásolja az erőgéprendszer kategóriánkénti összetételét;

- *Szántóföldi növénytermelésnél* a vizsgált *legkisebb birtokméretnél* (50 ha-ig) *alacsony kihasználtság* érhető el a traktoroknál: maximálisan 400-500 műszakóra/év.
- *Közepes gazdaságoknál* (50-300 ha) ez a mennyiség *nagyobb*: 800-1400 műszakóra/év.
- *Nagyüzemeknél* (300 hektár felett) a traktorkategóriák már jelentős (1000-1800 müh/év) teljesítéssel rendelkeznek *(6. ábra)*.

Okszerűen megválasztott kapacitású gabonabetakarító gép *háromszáz hektár feletti* üzemi méreteknél évente mintegy 300 műszakóra-teljesítéssel *megfelelő* kihasználtságot ér el, amely által a műveleti költsége *elfogadhatóvá* válik *(Magó, 2008a)*.

5. ábra
Az egyes erőgép-kategóriához tartozó erőgépekből adott üzemi méretnél alkalmazott darabszám szántóföldi növénytermelésnél
(Number of machines of various power machine categories for the given plant size in field crop production)



Forrás: Saját szerkesztés

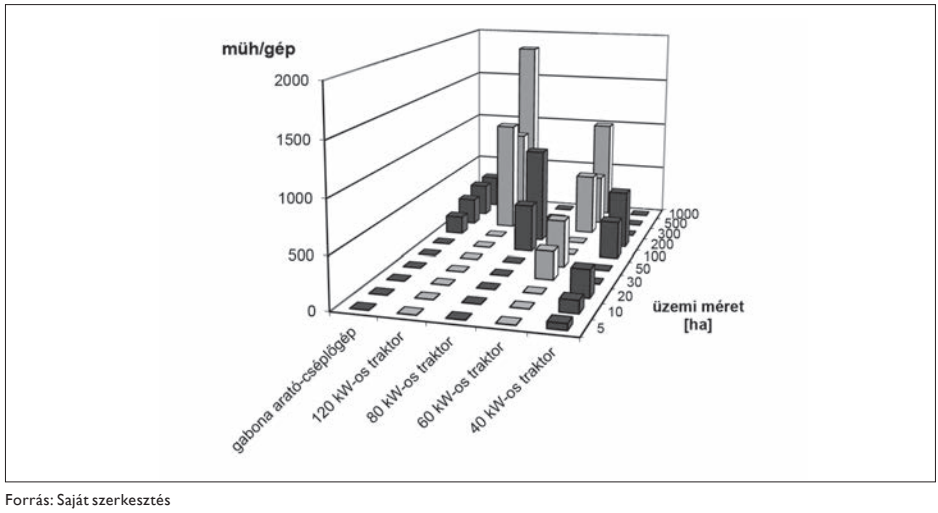
A különböző üzemi méretekhez rendelt kedvező műveleti költségű és ez által előnyös össz géphasználati költségszintű erőgépparkok összetétele és műszakóra-teljesítése konvencionális, azaz nem autonóm gépek alapján került meghatározásra. Amennyiben robot traktorok, illetve kombájnok, látják el a kijelölt feladatokat, abban az esetben az előzőekben bemutatott géppark összetétel és a gépenkénti műszakóra-teljesítés értékek szintén helytállóak, hiszen a termeléstechnológia által determinált munkafeladatok mennyisége nem változik és az azonos teljesítményű autonóm gépek azokat hasonló idő alatt teljesítik.

Az autonóm gépek előnyének minősül, hogy általuk a munkavégzés függetleníthető a kezelő személyétől, a munkaerőhiánytól, vagy munkabeszüntetéstől, illetve az egyes munkaműveletek akár szünet nélkül is végezhetők. Nem merül fel műszakpótlékból eredő bérköltség-növekedés sem. Ez az előny, miszerint az autonóm gépek nyújtott műszakban, vagy akár éjjel-nappal hasonló műveleti költséggel alkalmasak munkavégzésre, azoknál az üzemi méreteknél tud realizálódni, amelyekhez rendelt gépparkoknál egy-egy erőgépből kategóriánként több található, s számuk redukálható. A modellszámítások szerint ez az 500 hektár feletti gazdaságokat jellemzi. Ekkor elképzelhető, hogy egyes erőgép-kategóriánkban kevesebb erőgép látja el a feladatokat a konvencionális gépparknál kialakult két-két darab helyett. Mindez az üzemi méret, s ezáltal a munkamennyiség növekedésével nem fokozható tetszőlegesen, azaz mintegy 800-900 hektárnál szükségessé válik az erőgépek számának növelése, hiszen műszakóra-teljesítésüknek a technológiai követelmények korlátot szabnak (biológiailag optimális munkavégzési időszak, időjárási feltételek).

A géphasználati költségek elemzése az üzemi méret függvényében

Általánosságban elmondható, hogy kisüzemeknél az alacsony mértékű kihasználtság az állandó költségek domi-

6. ábra
Az erőgép-kategóriákhoz tartozó műszakóra-teljesítés mértéke a vizsgált üzemi méreteknél
(The values of working hours of various categories of power machines in the case of the examined plant sizes)



Forrás: Saját szerkesztés

nanciáját vonja maga után. Az autonóm rendszer kialakításának plusz költségeit, azaz a robot rendszer kialakításának felárát is magába foglaló amortizációs költségek az itt jelentkező alacsony kihasználtsági szinten, növekvő műveleti költségszintet eredményeznek. A robotizáció által megvalósuló hatékonyabb munkavégzésből származtatható állandó költségcsökkenés ezen üzemi méretnél meglévő, arányaiban kis volumenű munkamennyiség hatására nem eredményez költségmegtakarítást. Közepes üzemeknél a javuló gépkihasználtság hatására fokozatosan csökken a gépi műveletek költségszintje.

Nagyüzemi méreteknél a jelentős műszakóra-teljesítésből adódóan a géphasználat költségstruktúrájában a változó jellegű költségek dominálnak. Autonóm üzem esetén a munkabér költsége radikálisan csökken, hiszen valószínűsíthető, hogy csupán egy, a gépparkot felügyelő központi irányító személy bérköltségével kell számolni. Másrészről a robottechnikából eredő nyújtott műszakos vagy folyamatos munkavégzés hatására a gépkihasználtság nő. Mindezek kedvező hatással vannak a költségszintre. Különösen szembetűnő mindez az előző fejezetben felvázolt nagyüzemi, esetünkben 500 hektáros üzemi tapasztalatokra tekintve, ahol az autonóm erőgép a szünet nélküli munkavégzése által akár két erőgép munkáját is teljesíteni tudja. Ennek eredményeként a kihasználtsága maximális a műveleti költsége minimálissá válik.

A kisüzemi méreteknél mintegy 10-15%-os géphasználati költségnövekménnyel, a nagyüzemi méreteknél ellenben akár 10%-os költségcsökkenéssel számolhatunk a robottraktorok bevezetése által. A géphasználat összes költségének csökkenése mintegy 50 hektáros üzemi méret felett valósítható meg. Ez az a szint, ahol az adott gazdaságban dolgozó egy erőgép közel 500 müh/éves teljesítése már kielégítőnek mondható. Továbbá e feletti üzemi méreteknél jelentkezik először igény segéd erőgép alkalmazására. Autonóm erőgéppel, a több műszakos munkavégző képesség eredményeként e segéd traktor beszerzés elkerülhető.

A géphasználati költségek üzemi méret függvényében tapasztalható csökkenő tendenciáját megtörő növekvő költségű szakaszokat az új, nagyobb teljesítményű, s adott esetben még kevésbé kihasznált gépek adott üzemi méretnél történő megjelenésének tulajdoníthatjuk. Ez a jelenség konvencionális géppark esetében 100 és 500 hektáros üzemi méretnél jelentkezik. Autonóm géppark alkalmazásával a nagyüzemi kihasználtság javítható, így a hektárra jutó össz géphasználati költségfüggvény üzemi méret függvényében csökkenő tendenciája nagyobb eséllyel realizálható *(7. ábra)*.

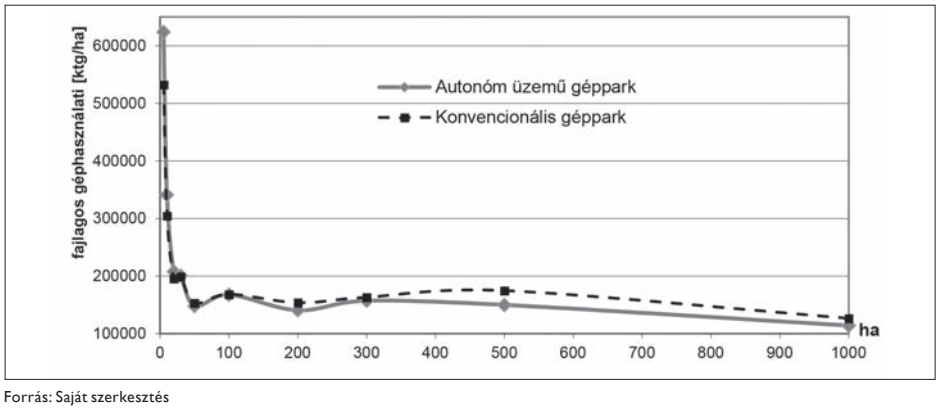
A fajlagos géphasználati költségek jellegüket tekintve az üzemi méret függvényében hiperbolikusan csökkennek. Azokon az üzemiméret-pontokon, amelyeknél új erőgépeket rendelünk a géprendszerhez a hiperbolikusan csökkenő függvények megszakadnak, és egy magasabb értékből kiindulva folytatódnak. A *7. ábrán* bemutatott költségfüggvények ezen egymást követő hiperbolikus függvények alsó határoló görbéi, és a „kilengéseiket" az adott üzemi méretnél létrejövő új összetételű géppark eredményezi *(Takács, 2001)*.

A saját tulajdonú géppark használati költségeinek növekvő birtokméretek melletti mérséklődő jellegét vizsgálva belátható, hogy igazán kisüzemi termelés esetén a gépi költségek mértéke többszöröse, duplája-, de akár öt-hatszorosa a közepes-, de jellemzően nagyüzemi méreteknél jelentkező elfogadható és gazdaságilag is indokolt szintnek. Ebből kifolyólag megállapítható, hogy az autonóm üzemű traktorok kapacitásának okszerű megválasztása ellenére sem található olyan megoldás, amely szántóföldi növénytermelés esetén 10 ha alatt költségszempontból elfogadható lenne.

A robotizáció térhódítása szorosan összefügg az elektromos üzemű gépek megjelenésével. E gépek energiatároló egységük jelentős tömegéből kifolyólag méretkorlattal rendelkeznek, amely kihat a beépíthető teljesítményükre is. Elképzelhető, hogy több kisebb teljesítményű robot csoportokba szervezve fogja teljesíteni az adott munkaműveletet. Kis méretükből adódóan kevésbé veszik igénybe a talajt. A diverzitást szem előtt tartva akár helyspecifikus vagy növényspecifikus munkavégzésre is alkalmasak lehetnek, ezáltal agrotechnikailag előnyösnek bizonyulhatnak. Ilyen jellegű megoldások napjainkban kísérleti szakaszban vannak. Alkalmazásukkal kapcsolatos konkrét gazdasági, gazdálkodási

7. ábra

A fajlagos géphasználati költségek értéke az üzemi méret függvényében
(The specific machine utilization costs subject to farm size)



Forrás: Saját szerkesztés

tapasztalatok, költséginformációk nem állnak rendelkezésre.

A kisteljesítményű robotok megoldást biztosíthatnak a traktorok által gazdaságtalanul kiszolgálható kisüzemi gazdások számára is, hiszen csoporton belüli darabszámuk változtatható, s így illeszthető az üzemi mérethez, a fennálló munkamennyiséghez.

Az egyes erőgép-kategóriák géphasználati költségei

A vizsgálatok alátámasztották, hogy az egyes robot traktorok és kombájnok különböző üzemi méreteknél jelentkező műszakórára jutó használati költsége eltér a konvencionális gépekétől.

A kis üzemi méretnél (5-10 ha) a lehető legkisebb teljesítményű, de még elfogadható munkaminőséget szolgáltató erőgép fajlagos használati költsége az autonóm üzemű gépek esetében is magasak. Mintegy 20 ha-os üzemi méret felett mérséklődik a 40 kW-os traktor fajlagos használati költsége a többi erőgépet jellemző költségszintre. Ezen üzemi méret felett alkalmazott traktorok használati költsége elfogadható szintű. Az üzemi méret növekedésével, a kihasználtság fokozásával a gépegyedek fajlagos használati költsége tovább csökken *(8. ábra)*.

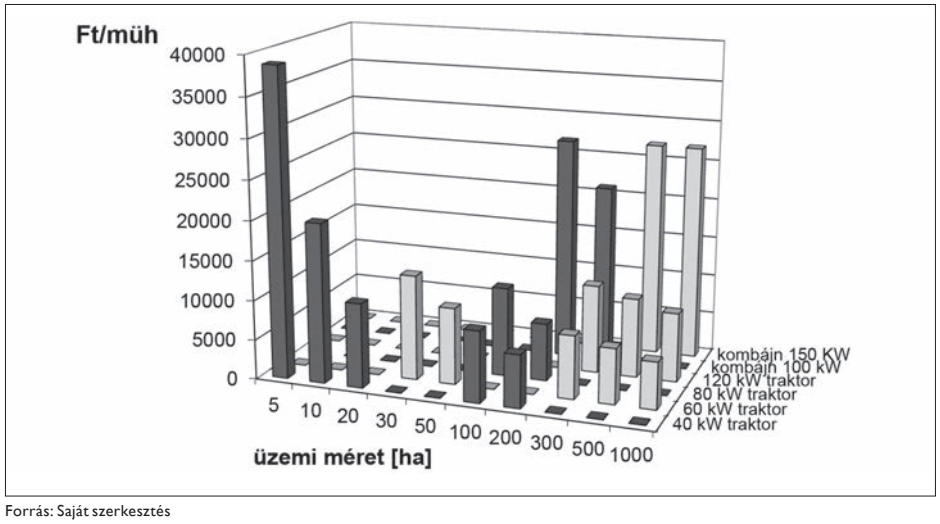
A *gabonabetakarító gépek* műszakóraköltsége jelentős. Amíg a kisebb teljesítményű arató-cséplő gépnél (100 kW) azt tapasztaljuk, hogy a kihasználtság fokozásával mérséklődik a használati költsége, addig a nagyobb teljesítményű (150 kW) esetében az üzemi méret növekedésével az alkalmazott kombájn darabszáma is nő, az egy gépre jutó műszakórák száma változatlan, így fajlagos használati költsége állandó értékű marad.

Belátható, hogy saját tulajdonban, kizárólag saját termény betakarítására használt betakarítógép üzemeltetése 100 ha-os üzemi méretig nem gazdaságos, az itt jelentkező munkafeladatokat csupán bérmunka igénybevételével, vagy valamilyen közös géphasználati forma alkalmazásával (pl. gépkörök) kifizetődő teljesíteni *(Takács et al., 1996)*.

8. ábra

Az autonóm erőgépek erőgép-kategóriák szerinti műszakóránkénti kalkulált fajlagos használati költsége a vizsgált üzemi méreteknél

(The specific utilisation cost per hours run for the various autonomous power machines in the plant sizes examined)



Forrás: Saját szerkesztés

Szántóföldi növénytermesztésben, kis üzemi méreteken a robot traktorok a pótlólagos beruházási költségüket nem tudják kigazdálkodni, így alkalmazásuk plusz költséggel jár. Ötven hektár felett azonban kedvező jelenségnek lehetünk tanúi. Minden vizsgált üzemi méretnél költségmegtakarítás figyelhető meg, amelynek értéke 2-15%-os is lehet. Ötszáz hektáros üzemi méretnél a korábban bemutatott, a gépkihasználtságot érintő kedvező körülmények hatására több mint 25%-os műveleti költségszintcsökkentés is elérhető az autonóm gépek segítségével.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Megállapítható, hogy az autonóm erőgépek alkalmazásával költség takarítható meg. Azonban fokozott tekintettel kell lennünk a géphasználati költségek jellegére. A robotizáció által elsősorban a bérköltség csökkentése a célunk. A változó költségek, mint a munkabér, abban az esetben dominálnak, ha a teljesített munkamennyiség jelentős. Kis üzemi méreteken ez nem valósítható meg, és az autonóm berendezés kialakításának többletköltségét, nem képes kompenzálni a mérsékelt bérköltség-megtakarítás. Mindennek eredménye, hogy tíz hektár alatti gazdaságoknál mintegy 10-15%-os üzemi szintű géphasználati költségnövekménnyel kell számolnunk. Közepes, illetve nagy üzemi méreteknél a termelési, és a környezeti tényezők által biztosított legjobb gépkihasználás esetén adott autonóm erőgépnél 15, de akár a kiemelkedő 25%-os műszakórára jutó költségszintcsökkenés is realizálható, ami géppark szinten 10, esetenként 15%-kal kedvezőbb géphasználati költséget jelent.

A nyugat európai és a régiónkban tapasztalható bérköltség eltérő szintje befolyásolja az autonóm gépek alkalmazásával jelentkező géphasználati költség változásának mértékét. Feltételezhetően a magasabb bérköltségű környezetben, akár kisebb kihasználtság és üzemméret mellett is indokolttá válhat a robottraktorok használata.

Kis üzemeknél felmerülő munkafeladatok ellátására, a traktorokat helyettesítendő, talajkímélő konstrukciójuk, valamint a növénytermelés diverzitását, helyspecifikusságát kisüzemi körülmények között hatékonyan kezelni tudó rendszerük által a kisteljesítményű robotok, illetve robotcsoportok biztosíthatnak megoldást. A robotcsoportokat alkotó egyedek száma az üzemi méret, illetve a munkaműveletek volumenének függvényében változhat. Beszerzésük, üzemeltetésük elérhető és megtérülő lehet akár néhány hektáros gazdaság esetében is.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) Avrora (2019): https://avrora-robotics.com/en/projects/agrobot/, Letöltés: 2019. 06 28. – (2) Bak T., Jacobsen H. (2003): Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection. *Biosystems Engineering* 87: 125-136. – (3) Blackmore B.S., Griepentrog H., Fountas S., Gemtos T. (2007): A Specification for an Autonomous Crop Production Mechanization System. *Agricultural Engineering International*: the CIGR Ejournal. Manuscript PM 06 032. Vol. IX. September, 2007. – (4) Claver H. (2018): Yanmar launches new autonomous tractors - https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2018/10/Yanmar-launches-new-autonomous-tractors-346699E/ - 16 Oct 2018 – (5) Csáki Cs. - Mészáros S. et al. (1981): *Operációkutatási módszerek alkalmazása a mezőgazdaságban*. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest. 509 p. – (6) Erdeiné Késmárki-Gally S. (2017): Növénytermesztés fontosabb gépkiválasztási szepontjainak meghatározása, *Gazdálkodás*, Vol. 61. No. 2. p. 119-129. – (7) Future Farming (2019): Autonomy, or not just yet? Future Farming, 2019 nov. 1. No 4. – (8) Erdeiné Késmárki-Gally Sz., Rák R.: Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2019-ben. Mezőgazdasági Gépüzemeltetés. NAIK MGI. Gödöllő, 2019. 32. p. – (9) Gaus C. C. (2017a): Economics of mechanical weeding by a swarm of small field robots. *57. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften e. V.: Agrar- und Ernährungswirtschaft zwischen Ressourceneffizienz und gesellschaftlichen Erwartungen*.

Freising, 14.09.2017. – (10) Gaus C.-C., Minßen T.-F.; Urso L.-M., de Witte T., Wegener J. (2017b): *Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen*, Final project report. Johann Heinrich von Thünen-Institut - Braunschweig 136 p. – (11) Gockler L.: Mezőgazdasági gépek ára és üzemeltetési költsége 1999-ben. Mezőgazdasági Gépüzemeltetés. FVM Műszaki Intézet. Gödöllő, 1999. 1. sz., 44. p. – (12) Goense D. (2003): The Economics of Autonomous Vehicles. In: VDI-Max-Eyth-Gesellschaft (Hrsg.): *Tagung Landtechnik 2003. Agricultural Engineering*, Hannover, 07.-08. November 2003, Düsseldorf: VDI Verlag, p. 283–290 – (13) Hajdú J. (2018): Felgyorsult a mezőgazdasági robotok fejlesztése, *Mezőgazdasági Technika*, Vol. LIX, No 5., p. 16 – 20. – (14) van Hattum B. (2018): *Farmtrac presents robot tractor Future Farming*; https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2018/9/Farmtrac-presents-robot-tractor-339213E/ - 29 Sep 2018 – (15) Have H. (2004): Effects of automation on sizes and costs of field machinery. In: Technological Intitute (Hrsg.): *Engineering the future*. Book of Abstract. AgEng 2004 Conference, 12.-16. September 2004. Leuven (1), p. 366–367 – (16) Jóri J. I. (2019): Robot traktorok – A keleti válasz, *Agrofórum Online* https://agroforum.hu/agrarhirek/gepinfo/robot-traktorok-a-keleti-valasz/ - 2019. február 17. – (17) Kondo N., Ting K. C. (1998): *Robotics for Bioproduction Systems*. St. Joseph: ASAE Publication. – (18) Kosutić S., Gronauer A., Martinov M., Schulze Lammers P. (2019): Highlights of 28th Club of Bologna Meeting, 47th Symposium "*Actual Tasks on Agricultural Engineering*", Opatija, Croatia, 2019. p. 17 – 26. – (19) Magó L. (2008a): Low Cost Mechanisation for Efficient Land Use in Small and Medium Size Arable Farms, *Cereal Research Communications*, Akadémiai Kiadó, Vol. 36: p. 1111-1114. – (20) Magó L. (2008b): Technical-economical Characteristics of Machine Utilization in the Different Branches of Crop Farming considering Plant Size, *Hungarian Agricultural Engineering*, Vol. 21/2008. p. 30-34. – (21) Magó L. (2008c): *Géphasználat műszaki-ökonómiai jellemzői különböző színvonalú gépesítettség esetén az üzemi méret függvényében*, Mezőgazdasági Gépesítési Tanulmányok - MGI, Gödöllő, 39 p. – (22) Magó L. (2012): „Egy új korszak vette kezdetét a FENDT-nél" *Agrárágazat*, Vol. XIII, No 11., p. 24-27. – (23) Magó L. (2015a): „Tavaly is rekord a német traktorpiacon" *Agrárágazat*, Vol. XVI, No 4, p. 126.;128. – HU ISSN 1586 3832 – (24) Magó L. (2015b): „Az európai mezőgéppiac 2014-ben" *Agrofórum*, Vol. XXVI, No 7, p. 106-109. – (25) Mihelczarek M. (2018)*:* Kubota launches autonomous tractors https://autonomicvehicles.eu/2018/09/24/kubota-autonomous-tractors/ 2018.09.24. – (26) Pedersen S. M., Fountas S., Have H., Blackmore S. (2005): Agricultural robots: an economic feasibility study. In: *Precision Agriculture*, p. 589–596. – (27) Pedersen S. M., Fountas S., Have H., Blackmore S. (2006): Agricultural robots – system analysis and economic feasibiltity. In: *Precision Agriculture*, p. 295–308. – (28) Pedersen S. M., Fountas S., Blackmore S. (2007): Economic potential of robots for high value crops and landscape treatment. In: *Precision Agriculture*, p. 457–464. – (29) Pedersen S. M., Fountas S., Blackmore S. (2008): Agricultural Robots – Applications and Economic Perspectives. In: Yoshihiko Takahashi (Hrsg.): *Service Robot Applications*. Rijeka, Shanghai: Intech, p. 369–382. – (30) Pichlmaier B. (2018): Trends and new Technologies for Agricultural Machinery, *28th Club of Bologna Members' Meeting*, Bologna, 10-11 November 2018. 8 p. – (31) Pilarski T., Happold M., Pangels H., Ollis M., Fitzpatrick K., Stentz A. (2002): The Demeter system for automated harvesting. *Autonomous Robots* 13(1): 9-20. – (32) Sárközi J. (2019a): *Kétszer jobban teljesít az elektromos önvezető traktor*, https://magyarmezogazdasag.hu/2019/02/04/ketszer-jobban-teljesit-az-elektromos-onvezeto-traktor - 2019. 02. 04. – (33) Sárközi J. (2019b): *Robottraktor Japánból*, https://magyarmezogazdasag.hu/2019/05/19/robottraktor-japanbol-video - 2019. 05. 19. – (34) Swarmfarm (2019): https://www.swarmfarm.com/applications/ Letöltés: 2019. 08. 28. – (35) Takács I. (2001): Elemzés. Egyetemi jegyzet. SZIE, GTK. Gödöllő. 172. p.– (36) Takács I., Baranyai Zs. (2010): A bizalom és függőség szerepe a családi gazdaságok együttműködésében végzett gépi munkában. *Gazdálkodás*, Vol. 54. No. 7. p. 740. - 749. – (37) Takács I., Baranyai Zs. (2013): A géphasználati együttműködések, avagy a „virtuális üzemek" elmélete és gyakorlata a magyar mezőgazdaságban. *Gazdálkodás*, Vol. 57. No. 3. p. 270. - 281. – (38) Takács I., Hajdú J., Nagy I., Kárpáti A. (1996): Gépkör, egy jó alternatíva. FVM Műszaki intézet. Gödöllő. 101. p. – (39) Varga V. (2019): Robottraktorok, robotizált távirányítású mezőgazdasági gépek, *Agrárágazat*, Vol. XX, No 2., p. 122 - 125. – (40) Wilson J. N. (2000): Guidance of agricultural vehicles - a historical perspective. *Computers and Electronics in Agriculture* 25, 1-9. – (41) de Witte T., Sporleder T. (2016): *Does high-tech farming re-establish small agricultural machinery?* http://www.agribenchmark.org/agri-benchmark/did-you-know/einzelansicht/artikel//does-high-te.html - 11.02.2016

THE INPACT OF THE USAGE OF AUTONOMOUS POWERED TRACTORS ON THE MACHINE OPERATING COSTS

By: Magó, László

Keywords: Autonomous self-driving power machines, machine operating costs, machine utilization, farm size, power machine categories
JEL: C61, O33, Q16

Nowadays robotization is an integral part of the development of agricultural machinery. New machines with autonomous operation appear one after another anticipating the near future, which aims at reducing personal involvement and increasing efficiency in agriculture. Setting aside human labour the production will be less vulnerable to the unfavourable labour market conditions, and under the appropriate technical conditions the improved efficiency and the precision of mechanical work promote the profitability of production in the increasing price competition.

The gradual development of automation has an impact on the trends of mechanization as well. The expansion of robotics is likely to halt the gradual increase in the average size of the machine and tractor power, because in their case the high capacity of the machines is not the primary condition for the effective operation. For the electric powered machines, it is almost unfeasible to work with power tools classified into the category of higher-performance under the current technical conditions. As result of this small robots come to the foreground whose application contains some beneficial elements from the agronomic aspect.

The costs of the use of the autonomous power machines and the tractor fleet should also be taken into account. The cost level of the use of these machines operating in different farm sizes and production technologies is important in terms of farming.

The research examines the impact of the replacement of the power machines of cheap maintenance used on arable farms of different sizes for autonomous ones on the cost level of the operation of power machines in the category of certain tractors and harvesters and

last but not least on the total expenses of the machine use. It is essential to determine the impact of the farm size and the machine utilization on the operational cost level of the autonomous machines.