

SZAKDOLGOZAT

Dezső Luca Virág

2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Mezőgazdasági és Környezettudományi Intézet
Mezőgazdasági mérnöki alapképzési szak

**PRECÍZIÓS GAZDÁLKODÁS MAGYARORSZÁGI HELYZETE –
MŰSZAKI, TECHNOLÓGIAI, ÖKONÓMIAI ELEMZÉS**

Belső konzulens: Dr. Milics Gábor
egyetemi tanár

**Belső konzulens intézete/tanszéke: Növénytermesztési-
Tudományok Intézet**

Készítette: Dezső Luca Virág

Gödöllő

2024

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. Precíziós gazdálkodás fogalma	6
2.2. Mezőgazdasági technológiák fejlődési szakaszai	7
2.3. Precíziós gazdálkodás alappillérei	8
2.4. Döntéshozatal alapja: az adatok, és azok elemzése.....	11
2.5. Precíziós gazdálkodás elterjedtsége	12
2.6. Precíziós gazdálkodás helyzete Magyarországon	13
2.7. Precíziós gazdálkodás bevezetésének felgyorsítása	15
2.8. Precíziós gazdálkodás megtérülése	16
2.9. Precíziós mezőgazdaság költségei	18
2.10. Precíziós mezőgazdaság politikai trendjei	19
2.11. Precíziós mezőgazdaság kihívásai	21
2.12. Precíziós gazdálkodás jövője	22
3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN.....	26
3.1. Kísérleti gazdaság bemutatása	26
3.2. Pályázat.....	27
3.3. Precíziós tápanyag ellátottsági térképek	27
3.4. Mezőgazdasági vontató	29
3.5. Precíziós műtrágyaszóró.....	30
3.6. Döntéstámogató rendszer	31
3.7. Kutatás célja.....	32
3.8. A kutatás hipotézisei.....	32
3.9. Adatfeldolgozás és számítások.....	33
3.9.1. Felhasznált műtrágyamennyiség számítása.....	33
3.9.2. Felhasznált műtrágyaköltség számítása	33
3.9.3. Precíziós műtrágyaszóró megtérülésének számítása	34
3.10. Adatok.....	34
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	36
4.1. Műtrágyafelhasználás	36
4.2. Műtrágyaköltség	37
4.3. A termés hozam összefüggése a műtrágyázással.....	38
4.4. Csapadékmennyiség	39
4.5. Átlaghőmérséklet.....	39
4.6. Precíziós műtrágyaszóró megtérülése	40
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	42
6. ÖSSZEFOGLALÁS	44
7. IRODALOMJEGYZÉK	45
8. ÁBRÁK JEGYZÉKE	49

9. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	50
10. HALLGATÓI NYILATKOZAT	51
11. KONZULENSI NYILATKOZAT	52

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Napjainkban egyre nagyobb kihívást jelent a mezőgazdaság számára a népességnövekedés, a klímaváltozás, és a munkaerőhiány ezért elengedhetetlen a fenntarthatóság. Az agrárágazatban a technológiai fejlődések, mint például a precíziós technológiák lehetőséget nyújtanak a gazdaságok számára, hogy a környezetkárosító hatásokat csökkentsék miközben a termelés hatékonysága megmarad. A digitalizáció egyre nagyobb teret hódít a mezőgazdasági szektorban, ezért egyre több gazdaság szolgáltat adatokat, ezek az adatok képezik az alapját annak, hogy hatékonyabb legyen a termelés, megtudják határozni a növények igényeit és a talajok tulajdonságait, így az optimális hatóanyagok és tápanyagok kerülnek kijuttatásra, ami hosszútávon csökkenti a talaj degradációt és az erózió kockázatát. A modern technológiák lehetővé teszi a gazdák számára, hogy folyamatosan ellenőrizhessék a területeiket, és valós idejű információkat gyűjtsenek, amelyek segítenek a helyes döntéshozatalba. A precíziós eszközök automatizált rendszereket alkalmaznak, így csökkenthető a munkaerőigény. Az önjáró eszközök, automatizált kormányzási technológia elősegíti az emberi hiba kiküszöbölését, ezáltal hatékonyabb a munkavégzés és minimalizálódik a kézi munka igény. A precíziós mezőgazdaság egy olyan lehetőség, amely jelentős előnyöket ad a modern mezőgazdaságban ahhoz, hogy ezt a gazdák ki tudják használni, fontos a megfelelő oktatás, valamint, hogy készek legyen befektetni az új technológiákba.

A cím a precíziós gazdálkodás magyarországi helyzete, de ezt az átfogó témát gyakorlati szempontból próbáltam megvilágítani egy magyarországi mezőgazdasági vállalkozás precíziós beruházásának vizsgálatával. A dolgozat célja, hogy egy precíziós műtrágyaszóró gazdasági hatásait elemezze, a műtrágya felhasználás és a terméshozamok szempontjából. A precíziós technológiák közül a műtrágyaszóró egy meghatározó elem, hiszen a talaj és a növények igényeinek ismerete alapján teszi lehetővé az optimális dózisú műtrágya kijuttatását. A vizsgálat során a hagyományos és a precíziós műtrágyaszóró kerül összehasonlításra az elért eredmények alapján, és elemzi a precíziós műtrágyaszóró megtérülési idejét pályázati támogatással, és pályázati támogatás nélkül. A dolgozat áttekinti, hogy a precíziós technológia bevezetése, milyen hatással van a fenntarthatóságra, környezetre és a gazdaság versenyképességére. A kutatás figyelembe veszi a vizsgálati évek időjárási adatait, így árnyaltabb képet ad az eredményekről.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Precíziós gazdálkodás fogalma

A precíziós mezőgazdaság (precision agriculture, PA) olyan gazdálkodási stratégia, amely időbeli, térbeli és specifikus adatokat gyűjt, dolgoz fel, vizsgál, illetve azokat további információkkal egészíti ki, hogy segítse a táblán belüli változatosságot irányító döntéstámogató folyamatokat, fokozva ezzel a minőséget, az erőforrások felhasználásának hatékonyságát, jövedelmezőséget, a fenntarthatóságot és a teljesítményt a mezőgazdasági termelés során (Vértesy 2023). A precíziós mezőgazdaság (PA) egy viszonylag új gazdálkodási megközelítés, amely minden növényt külön-külön és szükség szerint eltérően kezel. A PA célja a mezőgazdaság hatékonyságának növelése, miközben csökkenti a gazdálkodási ráfordításokat (vagy költségeket), következképpen megoldja a globális élelmezésbiztonsági problémákat. A PA-nak jelentős gazdasági és ökológiai hatása is van, mivel a költséghatékony eljárások javíthatják a mezőgazdasági erőforrások felhasználását (Dusadeerungsikul & Y. Nof 2024).

Precíziós mezőgazdálkodás gyakorlata hazánkban a szántóföldi növénytermesztésben a legintenzívebb, jelenleg azonban a szabadföldi kertészet, illetve az üvegházás kertészet és szőlészet területén is jelentős a fejlődés (Erdeiné 2020). A precíziós technológiák növénytermesztésben való alkalmazása olyan előnyökkel jár, mint az üzemanyag-fogyasztás, a mezőgazdasági ráfordítások, a munkaidő, az emberi hibák és a vezetési fáradtság csökkentése. Az előnyök időbeli és térbeli tényezőktől függően változhatnak, mint például a növénytermesztési rendszer, a gazdaság mérete, az alkalmazott technológia és gépek, a talaj típusa és a helyi időjárás. Az irányító technológiák például csökkentik a gépek pontatlan alkalmazásából eredő átfedéseket, a gépek üzemanyag-fogyasztását, valamint csökken a talaj tömörödése és eróziója a szántóföldi talajművelési ellenállás minimalizálásával (Medel-Jiménez et al., 2024). A precíziós állattartás a fejlett technológiák igénybevételével lehetővé teszi a nagylétszámú telepeken az állatok egyedi gondozását, a problémák idő előtti felismerését és megoldását, amit az állatról, a takarmányokról, és a környezetről gyűjtött rengeteg információ valósít meg (Erdei et al., 2018).

A precíziós mezőgazdaság kifejezést először a Montana State College által 1990-ben szervezett workshop címeként használták. A modern precíziós mezőgazdaság koncepcióját tovább támogatta az információs technológiák technológiai fejlődése. A PA modern korát gyakran hozzák összefüggésbe Ronald Reagan amerikai elnök 1983-as bejelentésével, amely lehetővé teszi a globális helymeghatározó rendszerek (GPS) polgári felhasználását. Az első

GPS-vevőket 1991-ben helyezték üzembe a traktorokban. Az 1990-es évek közepén az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma feloldotta a differenciális GPS (DGPS) szelektív rendelkezésre állását, ami 10 m-ről 5 m-re növelte a helymeghatározási pontosságot, és a pontosság tovább nőtt a 2000-es években. Elektronikus azonosításon (EID) alapuló precíziós állattartási technológiákat fejlesztettek ki, hogy megkönnyítsék az egyes állatok kezelését. A legszélesebb körben használt eszközök a fejőrobotok, amelyek lehetővé teszik a tehenek fejését közvetlen emberi közreműködés nélkül. A 20. század folyamán a távérzékelési technológiák a levegőben lévő emberek vizuális megfigyelésétől a repülőgépekre szerelt kamerákig, nagy felbontású műholdakig és a pilóta nélküli repülőgépeken lévő digitális érzékelőkig fejlődtek. Technológiai fejlődés lehetővé tette a helyileg adaptálható technológia további pontosítását, és a hangsúlyt a területről, mint termelési egységről a belső változékonyságra helyezte át hangsúlyozza, hogy az 1970-es évek közepe és az 1980-as évek eleje óta a gazdálkodók tudatában vannak a termelési nyilvántartások vezetése, valamint a talaj- és növény szükségletek megértésének lehetséges előnyeiről (Petrovic et al.,2024).

2.2. Mezőgazdasági technológiák fejlődési szakaszai

A mezőgazdasági ipar számos jelentős változáson ment keresztül az elmúlt évszázadok során, a bekövetkezett ipari forradalmak hatására. Ezek a változások az őslakos mezőgazdaságtól a gépesített gazdálkodásig és a jelenlegi precíziós mezőgazdaságig fejlődtek (Haloui et al.,2024).

A Mezőgazdaság 1.0 a szokásos gazdálkodási időszakokra utal, elsősorban az emberi munka- és állati erőkre. Az emberi munka aránya magas volt, alacsony termelékenység mellett a gazdálkodók nagymértékben támaszkodtak kézi eszközökre, például kapára, sarlóra és vasvillára. Ez a fajta mezőgazdaság elegendő élelmiszert tudott biztosítani az emberi szükségletekhez, de sok olyan kis gazdaságra volt szükség, ahol a lakosság 1/3-a mezőgazdasági termeléssel foglalkozik (Petrovic et al.,2024).

A mezőgazdaság 2.0 az 1950-es évek végén kezdődött az ásványi műtrágyák bevezetésével, a peszticidek, fajták és hibridek használatával, valamint a rendkívül produktív gépesítés alkalmazásával, amely növelte a hozamot és a nyereséget (Petrovic et al.,2024).

A 20. században a mezőgazdaság 3.0 a gépekkel végzett hatékonyabb és intelligensebb műveletek új korszakát jelentette. A precíziós mezőgazdaság olyan megoldásokat foglal magában, mint a műholdas navigáció, érzékelők és vezérlés, valamint adatkezelés. Az

információs és kommunikációs technológiák bevezetésének köszönhetően az automatizálási folyamatok és a robotika lehetővé teszi a műveletek hatékony elvégzését.

A mezőgazdaság 4.0 párhuzamos az ipari világ hasonló fejleményeivel, amit „Ipar 4.0” néven emlegetnek, és a jövő gyártási elképzelésén alapul. A precíziós mezőgazdaság elveinek átvételével a digitális gazdálkodás jelentős előnyökkel járhat a gazdálkodók számára, különösen azok számára, akik nagy területen gazdálkodnak. A fejlett technológiák, például a légi fényképezés és az adatelemzés alkalmazása segít a növénytermesztés optimalizálásában, javítja a hatékonyságot, csökkenti a költségeket és növeli a hozamot. Új algoritmusokat fejlesztettek ki az adatok hasznos információvá alakítására, a termelés optimalizálására és a kockázat csökkentésére (Petrovic et al.,2024).

Az új korszak a mezőgazdaságban azzal kezdődött, hogy a dolgok internetével (IoT), az önvezető autonóm eszközökkel (robotok és drónok) és a mesterséges intelligencia támogatásával a robotrendszereket tömegesen alkalmazzák a különféle terepi műveletekben. A mezőgazdaság új realitásával, amely a rendelkezésre álló munkaerő gyors csökkenésében tükröződik, az agrotechnikai munkavégzésben idővel kihívások jelentek meg. A mezőgazdaságban már régóta alkalmaznak robotokat, például az állattartó telepeken, ahol a tehenek fejése a robotok segítségével teljesen automatizálható, vagy a gyümölcsök betakarítására szolgáló robotrendszerek (Petrovic et al.,2024).

2.3. Precíziós gazdálkodás alappillérei

A precíziós gazdálkodás bevezetéséhez első sorban gondolkodásmód váltás szükséges, a cégvezetőtől egészen a gépkezelőig. Bevezetésével megváltoznak a munkafolyamatok, az adminisztráció, a tervezési feladatok és a gépek beállításai. Ezáltal a gazdaság célja és hozzáállása jelentősen megváltozik. A paradigmaváltás mellett elengedhetetlen a jól felkészült agrárszakemberek jelenléte, a gépkezelőknek precízitása, és a digitális eszközök használatához való képesség. Fontos, hogy elérjük a kívánt változásokat, szakértelem hiányában szükséges a szaktanácsadás vagy képzés. (Gaál et al.,2020)

Első lépésként egy alapos helyzetfelmérést érdemes végezni arról, hogy a meglévő technológiák kisebb változtatásával előre lépést lehet-e tenni, vagy tényleg ez a helyes út, amelyen a gazdálkodó elakar indulni. Elengedhetetlen egy cél kitűzése, például a hatékonyság vagy a profit növelése, magasabb hozam elérése, vagy talajállapot javítása. (Gaál et al.,2020)

Fontos megemlíteni, hogy a precíziós technológiák alkalmazása nem jelent mindenre megoldást. Jelentős növekedést a precíziós technológiák alkalmazásával sem lehet elérni, ha az

alapvető agronómiai követelményeket a hagyományos műveléshez nem biztosítjuk. A terület adottságaitól is függ érdemes-e helyspecifikus művelést bevezetni. (Gaál et al.,2020)

A precíziós technológiák alkalmazásához eltérő tudás és hozzáállás szükséges a gépkezelő és a gazdálkodó részéről. Két csoportba lehet sorolni a technológiákat egyik a „beágyazott technológiák” (pl.: GPS, sorvezető, automata kormányzás, szakaszvezérlés) alkalmazása nem igényel különleges tudást vagy képzést ahhoz, hogy a gazdálkodók vagy a gépkezelők könnyedén használják (Gaál et al.,2020). A globális helymeghatározó rendszer (GPS) alapkőve a precíziós mezőgazdaságnak. Használata pontos helymeghatározást biztosít a mezőgazdasági gépek és eszközök számára. Lehetővé teszi a gépek mozgását, és a precíziós térképezést, amelyek segítségével a különböző kezelések helyspecifikusan végezhetők el és kombinálható az automata kormányzással (Shaheb et al., 2022). Az automatikus irányítási rendszerek lehetővé teszik a mezőgazdasági gépek számára, hogy kövessék a vezetési vonalakat, csökkentve a munkagépek átfedéseit a szántóföldön. Az automatikus irányítási rendszer segít a gazdálkodóknak csökkenteni az üzemanyagköltségeket, a ráfordítási költségeket, az időt, a munkaerőköltségeket, a talajtömörödést, és növeli a szántóföldek általános hatékonyságát, valamint a kezelő kényelmét és a munka minőségét. Az önvezető rendszerek számos szántóföldi művelethez, például vetéshez, talajműveléshez, ültetéshez, tápanyag utánpótláshoz, gyomszabályozáshoz és betakarításhoz használhatók (Balafoutis et al., 2017).

Másik nagy csoport az „információ intenzív technológiák” (pl.: hozamtérképezés, differenciált kijuttatás, precíziós talajmintavétel) használata viszont akkor eredményes, ha a gazdálkodó a nagymennyiségű adat feldolgozásához megfelelő ismeretekkel és szoftverekkel rendelkezik, vagy ehhez kapcsolódó szaktanácsadást vagy szolgáltatást vesz igénybe (Gaál et al.,2020). Ezért az analitikai és adatfeldolgozó rendszerek elengedhetetlenek a precíziós mezőgazdaság számára. A rendszerek képesek nagy mennyiségű adat feldolgozására. Az adatok csak akkor lehetnek hasznosak, ha megfelelően értelmezik, és használják a döntéshozatalban. Ezek a szoftverek képesek állapot térképet készíteni a talaj állapotáról, a növények növekedéséről, az időjárási viszonyokról, ami lehetővé teszi a gazdák számára a helyes döntéshozatalt (Shaheb et al., 2022). Az információ intenzív technológiák is beágyazott technológiává válhatnak, az online szenzorok és az automatizálás által. A táblák ismerete és feltérképezése alapkő a precíziós technológiák alkalmazásához. Ezért fontos minden tábláról egy felmérést végezni, amely térinformatikai állományban tárolható (Gaál et al.,2020).

Információ intenzív csoporthoz köthető a távérzékelési technológia, amit űr- vagy légi kamerákról és érzékelőplatformokról történő képadatok gyűjtésére használnak. Ezek a

technológiák számos talajtulajdonság becslésére és számszerűsítésére használhatók a georeferencia terepi adatok (talaj és termés) és a talaj érzékelők által rögzített spektrális tulajdonságainak integrálásával. A távérzékelte képek javíthatják a talajra és a termés hozamra vonatkozó adatok térbeli és időbeli lefedettségét. A légi és földi drónok talaj- és szántóföldi elemzésre, növényültetésre, növényvédő szerek kijuttatására, termésfigyelésre, öntözésre és állapotfelmérésre használhatók. Az érzékelők adatokat gyűjtenek a talajvíz rendelkezésre állásáról, a talaj termékenységéről, a talaj tömörödéséről, a talaj hőmérsékletéről, a termés növekedési üteméről, például a levélfelület-indexről, a levél hőmérsékletéről, a kártevőkről és a betegségekről. A precíziós gazdálkodásban a távérzékelési technológia megkönnyíti a nagy mezők kisebb kezelési zónákra való felosztását. Minden zóna egyesíti a speciális terménygazdálkodási igényeket és a termelési korlátokat (Shaheb et al., 2022).

Az inputanyagok pontosan változó típusú és mennyiségű alkalmazása a különböző földterületeken a jelenlegi állapotnak és igénynek megfelelően a változó ráfordítású technológia (VRT) gyakorlata. A VRT (variable rate technology) és a VRA (variable rate applications) esetében a permetezéshez programozható gépek állnak rendelkezésre, amelyek a gazdaság körülményeitől, például a növény növekedési szakaszától, a növény állapotától és a korábban gyűjtött növény-növekedési adatoktól függően a megfelelő mennyiségű vegyszert juttatják ki. Ez a rész felelős a költségek csökkentéséért és a környezetre gyakorolt káros hatások csökkentéséért a vegyszerek optimális alkalmazásával (Sahu et al., 2019).

A modern betakarítógépeket alapfelszereltségként integrált hozammérővel értékesítik, ami a gabonatermesztés hatékony eszköze. Lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy felmérjék az időjárás, a talajtulajdonságok és a gazdálkodás gabonatermesztésre gyakorolt hatását. Több előnye van, a kezelő gyorsan megtekintheti a termés mennyiségét betakarítás közben, a hozam adatok számítógépre vihetők át, és táblánként vagy teljes gazdaságban összegezhethetők, és ezekre az információkra földrajzilag hivatkozni lehet, így terméstérképeket lehet készíteni egy tábla magas és alacsony hozamú területeinek évről évre történő összehasonlításához. Ezeknek az eszközöknek a pontosságának biztosításához azonban megfelelő telepítés, kalibrálás és üzemeltetés szükséges. A talajmintavétel, majd a laboratóriumi elemzések részletes talaj-egészségügyi információkat nyújtanak, míg a hozamfigyelők segítenek megérteni a termés hozam térbeli változékonyságát (Shaheb et al., 2022).

A robotok alkalmazása a mezőgazdaságban potenciális lehetőségnek tűnik a precíziós mezőgazdaság kontextusában. Jelenleg a gyomok azonosítására, növényvédőszer-kijuttatásra, talajművelésre, öntözésre és egyéb műveletekre használt mezőgazdasági járművek többsége kézi vezérlésű. Tekintettel arra, hogy a környezettel kapcsolatos információk autonóm módon

szerezhetők be, és a robot ennek megfelelően tudja végezni a munkáját, az ilyen robotok autonóm teljesítménye lehetővé tenné a folyamatos terepi irányítást, valamint a jobb termelékenység és hatékonyság. Két kulcsfontosságú irányzat van a mezőgazdasági robotikában, a repülő drónok használata távérzékelésre és bizonyos kisebb terménygazdálkodási feladatokra, valamint földi robotok alkalmazása a teljes körű helyi megfigyeléshez és a többfeladatú specializációhoz (Botta et al., 2022).

2.4. Döntéshozatal alapja: az adatok, és azok elemzése

Az információs és telekommunikációs technológiák közelmúltbeli fejlődése lehetővé teszi a gazdálkodók számára, hogy hatalmas mennyiségű helyspecifikus adatot szerezzenek be a szántóföldjeikről, a végső cél a döntéshozatali bizonytalanság csökkentése. Világossá vált, hogy nem a rendelkezésre álló adatok hiánya akadályozza meg a modern mezőgazdaság fejlődését. A kihívás inkább az, hogy azonosítsuk az összegyűjtött adatok hasznosságát, fontosságát és relevanciáját a gazdaságok hatékonyságának optimalizálása érdekében (Fountas et al., 2006).

A gazdaságban felhasznált precíziós technológiák által generált adatokat, úgy dolgozzák fel, hogy megfelelő stratégiai és operatív döntéseket hozhassanak általuk. Hagyományosan a gazdálkodók a földekre járnak, hogy ellenőrizzék terményeik állapotát, és a felhalmozott tapasztalataik alapján döntsenek. Ez a megközelítés már nem fenntartható, mivel – többek között – egyes területek túl nagyok ahhoz, hogy az elkövetkező éveket meghatározó három kritérium szerint hatékonyan kezeljék őket: hatékonyság, fenntarthatóság és elérhetőség (az emberek számára) (Rubio & Rovira-Más 2020).

Az intelligens döntéshozatal fejlett számítási algoritmusokat, mesterséges intelligenciát és adatelemzést használ fel, hogy olyan betekintést és ajánlásokat generál, amelyek elősegítik a megalapozott döntéshozatalt (Wang et al., 2024). A döntést támogató rendszereket a mezőgazdasági vállalkozások termelési folyamatainak nyilvántartására, ellenőrzésére és tervezésére hozták létre. Az adatok bevitele után kinyerhető információk alkalmasak a családi gazdálkodó, a több ezer hektáros gazdaság vezetője, a nagy területen érdekelt integrátor, vagy a több gazdaság adminisztrációjával foglalkozó szaktanácsadó munkájának segítésére. A szántóföldi növénytermesztéssel foglalkozó gazdálkodók igényei mellett a szőlészet, borászat, kertészet és állattenyésztés területén is jó megoldást nyújt. Használata során többek között rögzíti a földterületekkel kapcsolatos adatokat, a munkaerővel és a készletekkel kapcsolatos ismereteket, a földművelési műveletek tárolását, de közvetlen kapcsolattal a hídmérlegről is

szolgáltat adatokat. A moduláris rendszerből összesített kimutatások és jelentések kérhetők. (Tóth et al., 2022).

Az intelligens döntéshozatalnak számos lehetséges előnye van, sikeres alkalmazása nagymértékben függ a végfelhasználók elfogadásától. A döntések végső végrehajtóiként és haszonélvezőiként a végfelhasználók attitűdjei és preferenciái jelentősen befolyásolják az intelligens döntéshozatal elfogadási arányát és hatékonyságát. Gyakorlati alkalmazása a digitális mezőgazdaságban jelentős megvalósíthatóságot és hasznosságot mutat (Wang et al., 2024).

2.5. Precíziós gazdálkodás elterjedtsége

Az agrár-élelmiszeripari rendszereket a közelmúltban számos kihívás érte, mint például az éghajlatváltozás, az egészségesebb és fenntartható étrend, valamint a körkörös agrár-élelmiszeripari rendszerekre való átállás (Masil et al., 2022). A precíziós mezőgazdaság szerepe különösen lényeges, mivel segít csökkenteni az erőforrás-felhasználást és maximalizálni a betakarítási potenciált. A rendszer emellett érzékelőkre támaszkodik a környezeti paraméterek mérésére és az éghajlati feltételek szabályozására minden egyes növény esetében, így a gazdálkodás rendkívül hatékony (Sanyaol & Sadowski 2024).

A precíziós mezőgazdaság az elmúlt évtizedben soha nem látott növekedésnek volt tanúja, különösen az olyan országokban, mint az Egyesült Államokban, Németországban és más országokban. Míg a világ többi részén viszonylag lassan terjedtek el a precíziós mezőgazdasági gyakorlatok, de a változás közeleg. Ausztráliától Zimbabweig a precíziós mezőgazdaság világszerte egyre nagyobb teret hódít (Khosla 2010).

Az 1980-as évektől az USA a precíziós mezőgazdaság legnagyobb és legkorábbi alkalmazója. Jelenleg az Egyesült Államokban a nagy farmok 15-40%-a használ valamilyen precíziós technológiát, például változó adagolású technológiát vagy irányító rendszereket. Az USA kisk gazdaságai, amelyek az összes gazdaság 85%-át teszik ki, nem alkalmaznak semmilyen precíziós technológiát (Trimble 2022).

A kanadaiak és az ausztrálok 20%-a, akik szintén nagy gazdaságokkal rendelkeznek, a következő legnagyobb arányban alkalmazzák a rendszert. A nyugat-európai országok egy évtizeddel az USA után kezdték el az alkalmazást, és kis gazdaságaik 68%-a szintén használja a technológiát. Jelenleg az Egyesült Királyságban a legnagyobb az alkalmazók aránya, az Egyesült Királyságban Skócia áll az élen 85%-kal, amelyet az ír gazdák 43%-a követ. Dániában a búza- és árpatermesztők 80%-a, az olajos magvak termesztoinek 30-40%-a használja a

technológiát. Németországban a gazdálkodók 30%-a alkalmaz precíziós mezőgazdasági technológiát, Magyarországon csak 9,9% (Trimble 2022).

A globális déli országokban, mint például Argentína, Brazília, Törökország és Dél-Afrika, az elmúlt évtizedben elkezdtek alkalmazni ezt a technológiát a mezőgazdasági üzemek irányításában. Jelenleg az afrikai és ázsiai országokban viszonylag alacsony a technológia alkalmazása, mivel ott a kis- és közepes méretű, egy tulajdonossal rendelkező gazdaságok dominálnak. A precíziós mezőgazdasági technológiákat legnagyobb mértékben a búza esetében alkalmazzák. A rizs szintén jelentős gabonaféle, amelyet világszerte termesztnek, ennek ellenére Kínában, Indiában és Indonéziában kevés precíziós mezőgazdasági technológiát alkalmaznak a rizs termesztésére (Trimble 2022).

2.6. Precíziós gazdálkodás helyzete Magyarországon

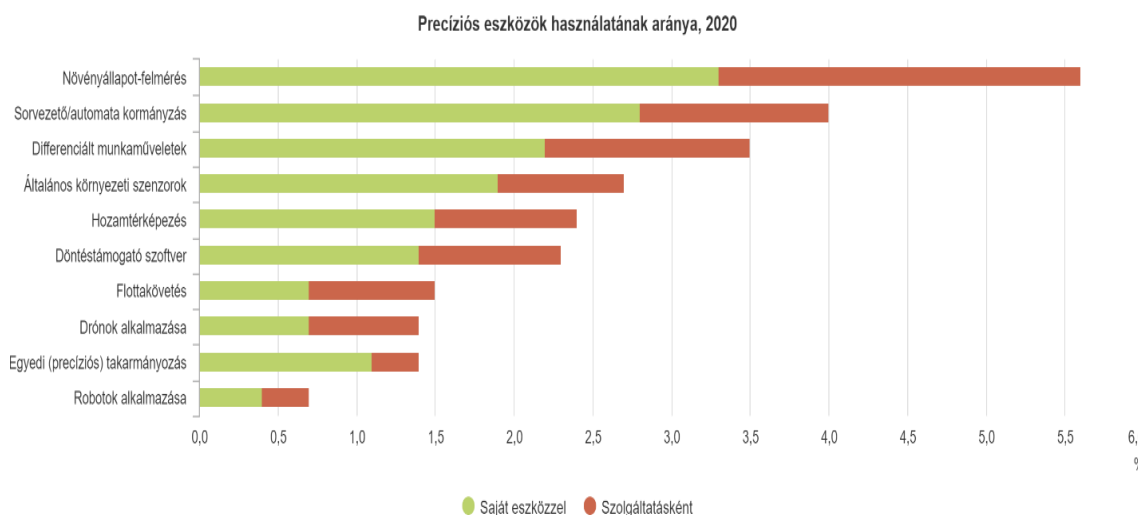
Az agrárdigitalizáció, valamint a precíziós mezőgazdasági technológiák és módszerek alkalmazása Magyarországon még gyerekcipőben jár. Pozitív tendencia azonban a növekvő tudatosság, a kíváncsiság és az alkalmazkodás iránti növekvő igény. Az ország bármely növénytermesztési művelete (a vetéstől a betakarításig) kiválóan alkalmas a precíziós gazdálkodási technológiák és a kapcsolódó mesterséges intelligencia adaptálására, ezért a precíziós gazdálkodás a mezőgazdasági innováció lényeges elemének tekinthető. A PA egy mezőgazdasági forradalomként fogható fel, amelynek három alapvető eleme a gazdasági eredményeket környezetbarát módon, társadalmi előnyök érdekében pozicionálja (Bai et al., 2022).

A digitalizáció potenciális gazdasági és fejlesztési előnyei által 2025-re Magyarország akár 9 milliárd euróval is növelheti bruttó hazai termékét (GDP). Magyarország 10 millió lakosa nagyobb jólétet és globális versenyképességet élvezne ennek eredményeként, és az ország csatlakozhatna Európa technológiaiailag legfejlettebb gazdaságaihoz. Az 1990-es évek óta Magyarország gazdasága jelentősen növekedett. Az egy főre jutó bruttó hazai termék (GDP) 1996 és 2017 között 74%-kal nőtt. A hagyományos iparágak, a dinamikus export, a külföldi beruházások, a munkaerőköltség-előnyök és az uniós források beáramlása voltak a legfontosabb növekedési tényezők ez idő alatt. A többi közép- és kelet-európai országhoz hasonlóan Magyarország a digitalizáció alacsonyabb szintje miatt a digitális gazdaságot használhatja a növekedés következő forrásaként. Magyarországon a közüzemi szolgáltatások, a feldolgozóipar, valamint a pénzügyi és biztosítási iparágak, mind jelentős lemaradással

rendelkezik digitális szempontból. Emellett más uniós nemzetekhez képest az ország mezőgazdasága jelentősen alul digitalizált (Fróna 2024).

A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) „Agrárcenzus 2020” néven teljes körű mezőgazdasági összeírást végzett az Európai Unió (EU) és a hazai jogszabályok felhatalmazása alapján. Az adatok szerint 2020-ban a mezőgazdaság a nemzetgazdaság bruttó hozzáadott értékének 4,1%-át, a beruházások 4,3%-át és a foglalkoztatás 4,6%-át adta. Magyarországon 216 000 mezőgazdasági vállalkozás mintegy 4,9 millió hektáron gazdálkodott 2020-ban. A gazdaságokat a használt mezőgazdasági terület nagysága alapján csoportosítva, az 5 hektárnál kisebb területen gazdálkodók jellemzően saját földet használtak. Ennek következtében a magyarországi mezőgazdasági területeket kettős struktúra jellemzi, mivel sok gazdálkodó a földterület kis részén dolgozik. A kistermelők a kis földhasználatuk és jövedelmezőségük miatt hátrányban vannak a nagyobb gazdaságokkal szemben, így a digitális technológiák segíthetik hatékonyságukat és jövedelmezőségüket (Fróna 2024).

2020-ban Magyarországon a gazdaságok 38%-a használt valamilyen digitális eszközt, elsősorban banki és e-kormányzati szolgáltatások kezelésére. Ami a precíziós gazdálkodást illeti, a gazdaságok 12%-a alkalmazott annak megfelelő technológiát, legszélesebb körben a növényállapot felmérés technológiát használták, összes gazdaság 5,6%-a alkalmazta, a legkisebb százalékban a robotokát alkalmazták (1. ábra) (KSH 2020).

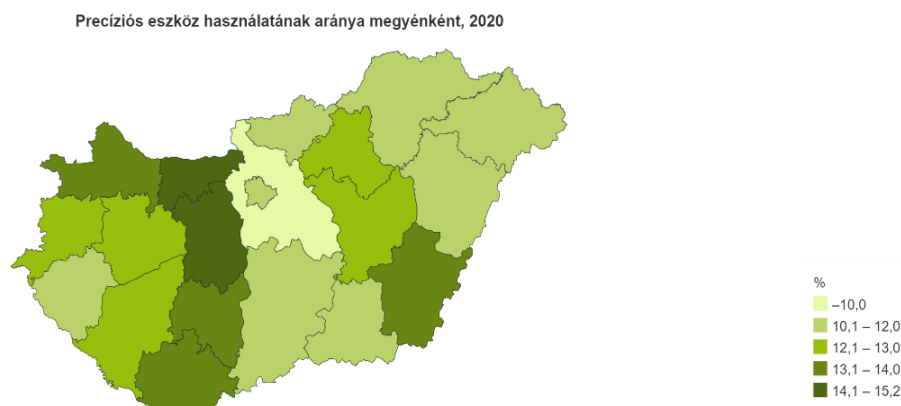


1. Ábra: Precíziós eszközök aránya 2020

(KSH 2020)

Precíziós eszközök használatának aránya vármegyenként eltérő adatokat mutat. Legalacsonyabb érték Nógrád és Bács-Kiskun vármegyére jellemző 10,6%. Fejér

vármegyében 15,2%-kal a legmagasabb, de 14%-os adattal Komárom-Esztergom, Győr-Moson-Sopron és Baranya vármegyében is magas (2. ábra) (KSH 2020).



2. Ábra: Precíziós eszközök aránya vármegyénként

(KSH 2020)

A gazdálkodók átlagéletkora növekszik, a 40 év alatti döntéshozók 10% alatti aránya nem jelent előnyt a hazai precíziós alkalmazkodás szempontjából. A vezetők mindössze 6%-a (nők) és 10%-a (férfiak) rendelkezik felsőfokú végzettséggel (KSH, 2021). A személyi feltételek mellett a gépgyártók nem segítik elő a precíziós technológiákra való átállást, mivel a különböző cégek technológiái, fejlesztései nem kompatibilisek egymással, ezért nem alkalmasak az adatbázis egységes kezelésére, a hazai gazdálkodók pedig jellemzően többféle gépmárkát alkalmaznak (Cziberel et al., 2023).

A precíziós technológiákat leggyakrabban az őszi búzánál használták hazánkban, ezt követte a kukorica, a napraforgó, az olajrepcse és az őszi árpa. Az „előtte-utána” elemzés alapján a gazdák a növények 80 százalékánál átlagosan 16,5 százalékos hozamnövekedést tudtak elérni. A technológiaváltás az őszi búza esetében 7-17 százalékos, a kukorica esetében 2-9 százalékos, a napraforgó esetében pedig 6-10 százalékos hozamnövekedést eredményezett (Takácsné et al., 2018).

2.7. Precíziós gazdálkodás bevezetésének felgyorsítása

A precíziós mezőgazdaság új készségek elsajátítását igényli: technológiai, környezetvédelmi és menedzseri készségek. Az innovációk elterjedésében egy másik fontos tényező a tömegkommunikációs csatornák szerepe, mivel a potenciális alkalmazók elsősorban ezeken a csatornákon keresztül tájékozódhatnak egy innováció jelenlétéről és részleteiről. A kezdeti fázis után azonban megnő a személyközi kommunikációs csatornák

szerepe (pl. szakértők közötti beszélgetések), mivel az egyének döntéseiket elsősorban az ezeken a csatornákon keresztül érkező információkra alapozzák. A gazdák további ismeretszerzésének és az új technológia kipróbálásának kulcskérdése a szaktanácsadás, a szélesebb körű elterjedés érdekében számos szakkiállításra, tudományos kiállításra és találkozóra van szükség. Fontos az újdonság gazdasági és egyéb előnyeinek kommunikálása a gazdálkodók felé a precíziós technológia elterjesztésében (Issaka 2018).

Kapcsolat van a tudás, a technológia és a termelésnövekedés között. A jobb tudás és technológia potenciálisan növelheti a terméshozamokat, míg a kutatásba és fejlesztésbe való beruházás kritikus fontosságú ahhoz, hogy több élelmiszert termelhessünk környezeti szempontból fenntartható módon. Az új beruházásokat ösztönözheti a más ágazatokból, például az informatikából vagy a robotikából származó technológiák átvételét (Issaka 2018).

A precíziós gazdálkodási technológiák átvétele és értékkinyerése a gazdálkodók és szolgáltatóik, tanácsadóik technológiai ismereteitől, szakképzett és hozzáértő támogatásától függ. Az egyetemek és a közösségi főiskolák küzdenek azért, hogy biztosítsák a szükséges oktatási struktúrát. A precíziós gazdálkodási technológiák gyors változáson mennek keresztül, az egyik technológia átvétele függhet mások átvételétől, vagy alapvető változásokat idézhet elő egy mezőgazdasági vállalkozás működésében, ezért fontos a megfelelő oktatási rendszer a precíziós technológiák ismertetésére (Erickson et al., 2018).

A kormányzati politikák és programok fontos szerepet játszanak a precíziós technológiák bevezetésének felgyorsításában. Az állam által nyújtott segítség és az új rendszer kidolgozása ösztönzi a precíziós felhasználási technológiákat. A kutatási intézményekkel és technológiai fejlesztőkkel való együttműködés forradalmasítja a mezőgazdaságot. A kutatás és fejlesztés támogatása elengedhetetlen, mivel a precíziós technológiák gyors ütemű fejlődést mutatnak (Alka et al., 2024).

2.8. Precíziós gazdálkodás megtérülése

A precíziós gazdálkodás (PA) területén a pontosabb és precízebb mérésekre képes digitális eszközök hosszú ideig általában magasabb beruházási költségekkel jártak. Ez a gazdasági korlát kezdetben a PA korlátozott elterjedését okozta. Ma már azonban számos különböző, alacsony költségű eszköz áll rendelkezésre a piacon, amelyek lehetővé teszik a mérési pontossági követelmények teljesítését. Továbbá a nemzeti és európai szintű politikai döntéshozók számos intézkedést és kezdeményezést hoztak létre a digitális technológiák - köztük a PA eszközök beszerzésének és használatának ösztönzésére és megkönnyítésére az

agrár-élelmiszeripari ellátási láncban. Egy nemrégiben készült felmérés szerint jelenleg a piacon elérhető technológiák közül a termesztési fázist támogató technológiák (79 %), majd a vetési/ültetési fázis (37 %) és a betakarítás (33 %) következnek. A piacon a legelterjedtebb technológiák a talajtérképezéshez (29 %), a gépvezérléshez (27 %) és a precíziós beavatkozásokhoz (21 %) kapcsolódnak, mint például az ültetés, a trágyázás és a növényvédő szerek kijuttatása. Ezek a technológiák a gazdaság- és növénygazdálkodásra, valamint a monitoringra vonatkoznak (Buccil et al., 2020).

A precíziós gazdálkodás mezőgazdasági termelésre gyakorolt hatása két területen, a mezőgazdasági termelők jövedelmezőségében, és az ökológiai és környezeti előnyökben várható. Azonban mind a jövedelmezőséget, mind a PA környezeti előnyeit továbbra is nehéz megjósolni, értékelni és mérni. A PA jövedelmezősége különböző szempontoktól függ, többek között a gazdaság méretétől, a terménytípustól, az alkalmazott technológiától, a talajjellemzők (pl. talajtípusok, termékenység és szerves anyag) területi változékonyságának mértékétől és a termés hozamra adott válaszoktól. A precíziós gazdálkodást alkalmazók többsége, nagyobb mezőgazdasági területet művelnek, és ezt követően magasabb jövedelmet termelnek. Ez azt jelzi, hogy az újabb és nagyobb technológiákba való beruházás során képesek némi kockázatot vállalni. A magas jövedelmű növényekre, például szőlő és gyümölcsültetvényekre szakosodott gazdaságok nagyobb valószínűséggel alkalmaznak precíziós eszközöket (Buccil et al., 2020).

A PA-gazdálkodás fő előnyei a termés hozam növekedéséből és a ráfordítások csökkentéséből, valamint a hatékonyabb gazdaságirányításból, a jobb kommunikációs lehetőségekből és a gépi vezérlésű rendszerek által biztosított jobb minőségű munkából származnak. A precíziós gazdálkodási koncepciók megvalósítása csökkentheti a termelési kockázatokat, mivel a ráfordításokat csak ott alkalmazzák, ahol szükség van rájuk. Bár a kockázatcsökkentés a precíziós gazdálkodással intuitív, a precíziós gazdálkodás megvalósítása általában jelentős beruházásokat igényel, ami növelheti a pénzügyi kockázatot (Buccil et al., 2020).

A precíziós mezőgazdaság megtérülése nem egyetlen technológiában található meg, hanem egy rendszerben. A vetőgépeken, talajművelő berendezéseken, permetezőgépeken és betakarító gépeken az RTK automatikus irányítása átlagosan 5%-os (2-7%-os) megtakarítást eredményez a ráfordítási költségeken. Az automatikus rendterelő technológia egy másik népszerű és jövedelmező technológia a kereskedők és termelők körében. Dr. John Fulton, az Auburn Egyetemen végzett tanulmánya kimutatta, hogy átlagosan 4,3%-os megtakarítás figyelhető meg az inputköltségek terén egy körülbelül két év megtérülésű gazdaságban. Ha a

GPS útmutatásból adódó megtakarításokat is beleszámítanánk, a teljes költségmegtakarítás 20-30%-os tartományba eshetne. A precíziós mezőgazdasági rendszer iránti elkötelezettség is elengedhetetlen, ez magában foglalja az adatgyűjtést, adatelemzést, döntéshozatalt, technológiai bevezetést és nyilvántartást. Egy jövedelmező precíziós mezőgazdasági programnak szilárd agronómiai tudományon kell alapulnia (Snyder 2014).

2.9. Precíziós mezőgazdaság költségei

A precíziós befektetések magukban foglalják a berendezések vásárlását, a telepítési költségeket, valamint a technológiák használatának és karbantartásának megtanulására fordított időt és erőfeszítést. Ezek a költségek általában nem téríthetők meg, ha a használatot abbahagyják. Még a precíziós berendezések eltávolítása vagy használatának megszüntetése is költségekkel járhat és a precíziós berendezések leszerelésének vagy használatuk megszüntetésének költségei is felmerülhetnek. Ezek a tényezők növelik a precíziós technológiák bevezetésének pénzügyi kockázatait. E költségek ellensúlyozására a mezőgazdasági termelőknek magasabb várható megtérülésre van szükségük a PA-technológia bevezetéséhez (Schimmelpfenning 2016).

A beruházási költségek mértékét több tényező befolyásolhatja. Beruházási költség összegét befolyásolhatja a teljes gépparkcsere, vagy már meglévő gépek fejlesztése precíziós eszközökkel, vagy csak szerkezeti elemeket, vagy szoftvereket kell beszereznie az üzemnek. A mezőgazdasági üzemek számára – függetlenül attól, hogy 1000 hektárnál kisebb vagy nagyobb területtel rendelkeznek – a szerkezeti elemekkel és szoftverekkel való felszerelés, illetve a precíziós eszközök bevezetése hosszú távon kifizetődő lehet, mivel ezek beruházási költségei a technológia által előállított többletbevétel révén megtérülnek. (Gaál et al., 2017). Egy szolgáltatás (pl. talajmintavétel, változó adagolású műtrágyázás) vagy berendezés (pl. termésmonitor, számítógépes szoftver) költségének vizsgálatánál, a hosszú távú befektetést kell szem előtt tartania. Egy adott modell beruházásakor, meg kell határozni annak hasznos élettartamát. A gazdálkodó hosszú távon kevesebbet fizethet, ha a következő öt-tíz évben csak egy, nem pedig két vagy több berendezést kell vásárolni. Bár a számítástechnika meglehetősen gyorsan elavulhat, a „frissíthető” berendezések megvásárlásával némi pénzt lehet megtakarítani (Michael & Withers 1998).

Minden új technológia bevezetése több szakképzett munkaerőt és képzést igényel. A berendezéseken kívül az idő és a munkaerő is fontos költséget jelent. Lényegesen több idő szükséges a különböző mezőgazdasági műveletek (például permetezés és betakarítás)

előkészítésére, ugyanakkor körülbelül ugyanannyi időt töltenek a műveletek tényleges elvégzésével. Előre ki kell dolgozni egy térképet a változó adagolású alkalmazásokhoz. Betakarításkor kalibrálni kell a termésmonitort minden egyes szántóföldön, és folyamatosan figyelni kell a monitort, hogy biztosítva legyen a megfelelő működése. Mivel a döntések csak annyira jók, mint az adatok, amelyeken alapulnak, a pontos adatok összegyűjtése rendkívül fontos. Ez azt jelenti, hogy a felvett munkaerőt úgy kell kiképezni, hogy olyan lelkiismeretesek és precízek legyenek, amennyire csak szükséges a szükséges adatok megszerzéséhez. Fontos a megfelelő oktatás, hogyan dolgozzanak az új berendezésekkel, és hogyan kezeljék a felmerülő problémákat (Michael & Withers 1998).

2.10. Precíziós mezőgazdaság politikai trendjei

A Közös Agrárpolitika (KAP) az 1960-as években történt létrehozása óta állandó reformfolyamatban van. Politikai gazdaságtani szempontból a KAP jelentős változásokon ment keresztül a szakpolitikai célok és eszközök tekintetében olyan külső és belső nyomások miatt, mint a nemzetközi kereskedelem, a hazai költségvetési viták és a növekvő környezeti és társadalmi aggályok. Az 1990-es évek óta az egymást követő KAP-reformok folyamatosan csökkentették a piac- és árpolitikai támogatás szerepét, a KAP piacorientáltsága pedig a termeléstől függő és a termeléstől független kifizetések végrehajtásával nőtt. Ezzel a változással az intézkedések egyre összetettebbé váltak, és különféle kihívásokkal kezdtek foglalkozni, mint például a környezeti kérdések, a vidékfejlesztés, az élelmiszerek minősége és biztonsága, a piac volatilitása és kockázatai. A jelenlegi politikaváltás indítékait a környezet és az éghajlat iránti aggodalom jellemzi (a mezőgazdaság az EU teljes üvegházhatásúgáz-kibocsátásának 10%-ához járult hozzá, és szerepet játszik a talajerózióban, a vízhiányban és -szennyezésben, valamint a vadon élő állatokra és a biológiai sokféleségre nehezedő terhelésben) (Kranjac et al., 2021).

A precíziós mezőgazdaság hozzájárul az EU közös agrárpolitikájának megvalósításához azáltal, hogy Európa-szerte nagymértékben integrál egy csoportot a fejlett technológiák egy olyan csoportját, amelyek növelik az erőforrás-felhasználás hatékonyságát (N-trágya), miközben növelik a gabona minőségét és a termés hozamot. A precíziós gazdálkodás potenciálisan a mezőgazdasági üzemek jövedelmének javulását eredményezi, amellett, hogy javítja a mezőgazdaság versenyképességét. A már létező PA-technológiák integrálásával a PA az innováció révén elősegítheti a zöld növekedést, kiemelve a mezőgazdaság szerepét a természeti erőforrások megőrzésében és a globális környezeti

kihívások megoldásához való hozzájárulásban, valamint a helyi természetes élőhelyek és környezeti javak megőrzésében (Rawat et al., 2024).

Precíziós mezőgazdaság közvetlenül érinti a főbb uniós szakpolitikákat, például a vízügyi keretirányelvet, a nitrátokról szóló irányelvet, a felszín alatti vizekről szóló irányelvet és a közös agrárpolitikát. A precíziós mezőgazdaság a legfejlettebb formájában olyan döntéshozatali rendszerré válik, amely integrálja a termés állapotára vonatkozó valós idejű információkat, a szántóföldi előzményeken alapuló adatokat, az időjárási és gazdasági előrejelzéseket, valamint egy webalapú agronómiai döntéstámogató rendszert. Mindezen változók integrálása a mezőgazdasági üzemek vezetőinek jobb és jobb döntéshozatali képességét fogja eredményezni (Balafoutis et al., 2017).

A mezőgazdasági támogatások befolyásolják a gazdálkodók gazdasági teljesítményét azáltal, hogy befolyásolják termelékenységüket és műszaki hatékonyságukat egyaránt. A termelékenységet tekintve a támogatások torzíthatják a gazdálkodók beruházási döntéseit a relatíve kevésbé termelékeny, támogatásokkal támogatott tevékenységek irányába, vagy túlzottan befektetni a támogatott inputokba. Ezenkívül a támogatások csökkenthetik a gazdálkodók hajlandóságát a költségoptimalizáló stratégiák elfogadására. Sok esetben azonban a támogatások szerepet játszhatnak a termelékenység növekedésének ösztönzésében, a vidéki piac esetén, mivel növelik a gazdálkodó pénzügyi forrásait, és javítják a hitelhez való hozzáférést, vagy ha a gazdaságok tökéletlen biztosítási piacokon működnek, a kockázatok mérséklésével és bizonyos kockázatos tevékenységekbe történő befektetések beindításával (Bermini & Galli 2024).

Ami a hatékonyságot illeti, a támogatások csökkenthetik a gazdálkodók motivációját a hatékony munkavégzésre, torzíthatják a gazdaságok termelési szerkezetét, és puha költségvetési korlátokat generálhatnak, amelyek az erőforrások nem hatékony felhasználásához vezetnek. Másrészt hitelforrásként is működhetnek, és lehetővé teszik a gazdálkodók számára az innovációt a megnövekedett hitelhez jutásnak, a csökkent kockázatkerülésnek és a magasabb produktív beruházásoknak köszönhetően. Az agrártámogatások és a gazdasági hatékonyság közötti kapcsolatot elemezve az empirikus bizonyítékok elsősorban a KAP-támogatások és a gazdaságok hatékonysági szintje közötti negatív összefüggésre mutattak rá. Kimutatták, hogy az agrár-környezetvédelmi és állattartási támogatásban részesülő gazdálkodók eredménytelenebbek voltak, mint azok, akik nem kaptak támogatást. A támogatások egy egységnyi (azaz 10 000 eurós) emelése a gazdaságok technikai hatékonyságának 2%-os csökkenéséhez vezet (Bermini & Galli 2024).

A KAP-támogatások a gazdasági eredmények (azaz a termelékenység és a műszaki hatékonyság) mellett a gazdálkodók környezeti teljesítményét is befolyásolják. Számos kritika érte a KAP-ot a környezetre, a tájra és a biológiai sokféleségre gyakorolt lehetséges negatív hatásai miatt. Valójában az élelmiszerek, takarmányok és bioenergia iránti növekvő igény az EU-ban jelentős környezeti károkat okozhat, ami a földhasználat megváltozásához, a biológiai sokféleség csökkenéséhez és a környezet leromlásához vezethet. A támogatásoknak a gazdálkodók környezeti teljesítményére gyakorolt hatására vonatkozó tudományos bizonyítékok azt mutatják, hogy a KAP-kifizetések egyes országokban növelték a megújuló energia felhasználását, hozzájárult az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentéséhez, növelték az ökológiai területeket és ösztönzőleg hatnak a gazdálkodók környezetbarát magatartására (Bermini & Galli 2024).

2.11. Precíziós mezőgazdaság kihívásai

A precíziós technológiák ismertségét és átvételi arányát számos összetevő befolyásolja, és az alkalmazkodás mértéke országonként eltérő Európában és a világban. Az új technológiák kisajátítása összefügg az üzemeltető jellemzőivel, a működés jellemzőivel, a működés jövedelmezőségével, az előnyök bizonytalanságával. A PA elfogadása Földrajzilag, a növények és a termesztési rendszerek között, valamint a gazdálkodó olyan jellemzőitől függően változik, mint az életkor, az iskolai végzettség és a jövedelem. Megállapított, hogy a PA-technológiák alkalmazásának aránya a művelet méretétől és a szolgáltatók életkorától függ (Petrovic et al., 2024).

PA-technológiák alkalmazásának elsődleges akadályai a magas kezdeti költségek, a meghosszabbított megtérülési idők és a gazdasági előnyök bizonytalansága, ami különösen megnehezíti az alacsonyabb jövedelmű gazdálkodók számára a berendezések finanszírozását. Ezenkívül a gazdaság mérete alapvető akadály a PA-technológiák alkalmazásának. A nagyobb gazdaságok nagyobb valószínűséggel használnak PA-t a méretgazdaságosság, a nagyobb termelési potenciál és a jobb erőforrás-ellenőrzés (pl. munkaerő és földterület) miatt. Ezen túlmenően a nagyobb gazdaságokban általában nagyobb a variabilitás a szántóföldi jellemzők tekintetében, ami jelentősebbé teszi a PA átvételének gazdasági előnyeit a kisebb tábla heterogenitású gazdaságokhoz képest. Fontos megjegyezni azt is, hogy sok területen nincs elegendő digitális infrastruktúra, mint például az elektromosság, az internet stb., amelyek elengedhetetlenek a technológia sikeréhez. Még ha rendelkezésre állnának is, előfordulhat, hogy egyes gazdálkodóknak nincs pénzük a szükséges felszerelés beszerzésére.

Számos PA alkalmazáshoz internetkapcsolattal rendelkező okostelefonra van szükség, de nem minden gazdálkodó rendelkezik a megfelelő pénzügyi forrásokkal (Sanyaol & Sadowski 2024).

Az innovációnak számos mozgatórugója és akadálya van, és ezek két kategóriába sorolhatók. A külső tényezők a piaci környezet (pl. fogyasztók, versenytársak, beszállítók és értékláncok); politikák és szabályozások (pl. adózás, infrastruktúra, állami támogatás); és a társadalmi környezet (a fogyasztók innovációra való reagálása vagy a gazdasági szereplők közötti bizalom szintje). A belső tényezők számosak, mint például a pénzügyi források hiánya, a képzett munkaerő hiánya vagy az eszközök hiánya, amelyek elriasztják a magasan képzett munkavállalókat. A precíziós mezőgazdaság alkalmazása szakképzett munkaerőt igényel, míg a vidéki munkanélküliek általában alacsony képzettségűek, azaz ennek a technológiának az alkalmazása nem járható út. Magyarországon a mezőgazdasági dolgozók képzettségi szintje lényegesen alacsonyabb a gazdaság más ágazatainál és az EU-átlagnál, az agrárgazdaságban pedig komoly probléma lehet a szakképzett munkaerő hiánya. A PA sikere nemcsak a gazdálkodó felkészültségétől, hanem a naprakész információk elérhetőségétől is függ (Balogh et al., 2021). A precíziós gazdálkodók erős szervezeti elszigeteltsége megakadályozza az innovatív tudás és a precíziós mezőgazdaság elterjedését a mezőgazdasági közösségben. Magyarországon alacsony a gazdálkodók hajlandósága tudásuk bővítésére. A magyar gazdálkodók motivációi nagyon eltérnek a nyugat-európai gazdálkodók attitűdjétől, akiknek a precíziós mezőgazdasággal kapcsolatos döntései alapvetően racionális megfontolásokon alapulnak (Petrovic et al., 2024).

Szoros összefüggés van a gazdálkodó életkora és a PA technológiák alkalmazása között. Az idősebb korosztály rövidebb időhorizontban gondolkodik, és nem fordít szellemi és pénzügyi tőkét a hosszú távon megtérülő befektetésekre (Balogh et al., 2021).

2.12. Precíziós gazdálkodás jövője

A következő 20 évben a világ élelmiszertermelésének 50%-kal kell növekednie, hogy a következő 20 évben a Föld 2050-re prognosztizált 9,2 milliárdos népességének élelmezése érdekében (FAO 2009). A világ élelmiszertermelésének akár 80%-a ennek a növekedésnek a termelés intenzívebbé tételéből kell származnia (Balafoutis et al., 2017). Nem csak az emberek táplálásáról van szó, rendkívül tápláló élelmiszerrel kell ellátnunk őket a környezet károsítása nélkül. Mivel a termőföld mennyisége nem növekszik, a talajvíz szintje csökken, a talaj minősége nem javul, ezért felelősen kell növelnünk a mezőgazdasági termelést (Bhat &

Huang 2020). A precíziós mezőgazdaság az egyik lehetőség a növekvő élelmiszerigény kielégítésére (Balafoutis et al., 2017).

A klímaváltozás rendkívüli fenyegetést jelent bolygónkra, és jelentős hatást gyakorol a mezőgazdaságra. Kihívások elé állítja globális élelmiszerrendszerünk különböző aspektusait, beleértve az élelmiszertermelést, az élelmezésbiztonságot és a vidéki közösségek megélhetését. Az egyik legfontosabb kihívás a hőmérséklet és a csapadék változása, amely hatással lehet a növények növekedésére és hozamára (Rawat et al., 2024). Az antropogén hatás következtében az átlaghőmérséklet 0,99 °C-kal emelkedett a század első két évtizedében (2001–2020). Emellett az előrejelzések alapján a hőmérséklet emelkedése 2050-re várhatóan eléri vagy meghaladja a 1,5 °C-ot. Az aszály hatása a társadalmi, gazdasági és környezeti rendszerek működésében érződik. Emellett jelentősen befolyásolja az antropogén termelési területek hatékonyságát, beleértve a mezőgazdasági, erdészeti és vízgazdálkodási szektort, miközben olyan területeket is érint, mint az energiatermelés és az egészségügy. Közvetlen hatásként a szárazság csökkenti a növénytermesztési eredményeket, így közvetetten befolyásolja az élelmiszerárakat. Ebből következően az agrárszektorban extrém áringadozások tapasztalhatók. Más közép-európai országokhoz hasonlóan Magyarországot is érintik a klímaváltozás és az aszály hatásai, átlagosan kétevente mérsékelt, háromévente súlyos szárazság sújtja. Az előrejelzések szerint ez a tendencia az évszázadon át folytatódni fog (Nagy et al., 2024). A változások a kártevők és betegségek elterjedésének és súlyosságának eltolódásához is vezethetnek, ami befolyásolja a terméshozamot és a minőséget. A hőmérséklet és a csapadék változása a növényi betegségek, például a búza csíkos rozsdá előfordulásának és súlyosságának fokozódásához vezethet (Rawat et al., 2024).

Jelenleg egy új mezőgazdasági forradalom korai szakaszában vagyunk, amely adatintenzív megközelítéseket alkalmaz, amelyek a mezőgazdaság minden egyes lépésénél gépeket alkalmaznak, nevezetesen a diagnosztikában, a döntéshozatalban és a végrehajtásban. Az emberi erő csak az ellenőrzésben és a karbantartásban vesz részt. A mezőgazdasági gyakorlatoknak a három korábbi ipari forradalom által történő fokozatos módosítása mellett a jelenleg zajló negyedik ipari forradalom alakítja a mezőgazdaság jelenlegi helyzetét. Ezt az új tudományágat az adatvezérelt irányítás, az új eszközalapú termelés, a fenntarthatóság, a professzionalizáció, és a mezőgazdaság környezeti lábnyomának csökkentése jellemzi a modern intelligens technológiák segítségével, mint például a robottechnológia (beleértve a drónokat), a big data, a mesterséges intelligencia, a számítógépes látás, az 5G, a felhőalapú számítástechnika, a dolgok internete és a blokklánc technológia (Karunathilake et al., 2023).

Napjainkban a mesterséges intelligencia és a gépi tanulás szerepe a precíziós gazdálkodási technológiai rendszerekben elkerülhetetlen. Ezek a technológiai trendek segítenek annak megítélésében, hogy az érzékelők, a drónok és a GPS adatok megfelelőek-e. Megnyitja az ajtót a prediktív modellezés és a döntéshozatal előtt a jelenleg lehetségeseken túl. A mesterséges intelligencia segíti a gazdákat és a vállalkozókat, hogy proaktívabbak legyenek. Főleg a terméshozam előrejelzésében, a betegségek kitörésének előrejelzésében és az erőforrások optimális felhasználásában segít. A következő jövőbeli trend a folyamatban lévő autonóm mezőgazdasági berendezések, mint például a kifinomult autonóm traktorok, betakarítógépek és drónok, amelyek kis emberi közreműködést igényelnek. Ez javítja a működési teljesítményt azáltal, hogy a kétkezi munkások szerepét stratégiai döntéshozókká változtatja, miközben megoldja a mezőgazdasági munkaerőhiányt. A blokklánc technológia nagy hatással van a jövő precíziós gazdálkodási technológiájára. A vállalkozók és a gazdálkodók átlátható és ellenőrizhető ellátási láncokat hozhatnak létre elsősorban annak érdekében, hogy átfogó tájékoztatást nyújtsanak a fogyasztóknak, például a termény eredetéről, termelési módszereiről és minőségéről. Ez javuláshoz vezet az élelmiszerágazatban (Alka et al., 2024).

Az elmúlt években jelentős számú tanulmányt végeztek a mobil robotok olyan mezőgazdasági tevékenységekben való alkalmazásáról, mint például ültetés, ellenőrzés, permetezés és betakarítás. A PA-ban az automatizálás és a robotika olyan fő keretrendszerre vált, amely a környezeti hatások minimalizálására és a mezőgazdasági termékek maximalizálására összpontosít. A „drónok” vagy pilóta nélküli repülőgépek a robotika legújabb, fejlett eszközei. A drónokat jellemzően a katonai, ipari és egyéb fejlett műveletekkel hozzák összefüggésbe, azonban az érzékelő- és információtechnológia utóbbi két évtizedben bekövetkezett fejlődésével a drónok alkalmazása a mezőgazdasági alkalmazásokra is kiterjedt. A drónok átfogó előnyöket nyújtanak, amelyek segítenek az élelmiszer-növények, különösen a nagyméretű mezőgazdasági növények pontos megfigyelésében. A drónok rendszeres időközönként elvégezhetik a termények légi megfigyelését, hogy azonosítsák állapotukat (Shaihra et al., 2024).

A pilóta nélküli mezőgazdasági traktorok fejlesztésének és népszerűsítésének előmozdítása kulcsfontosságú a földhasználat hatékonyságának javítása és az élelmiszerbiztonság szavatolása szempontjából. A pilóta nélküli mezőgazdasági traktor (UAT) intelligens, szabványosított és információ alapú műveleteket tesz lehetővé. Munkát takarít meg, és elkerüli a munkavégzés minőségének változását, amelyet a kezelői képességek különbségei okoznak. Az UAT-okban használt autonóm navigációs technológiák jelentősen javítják a terepi

műveletek minőségét és hatékonyságát, miközben csökkentik a vezetési nehézségeket és a kezelő munkaterhét. Ezért elengedhetetlen az UAT-okban használt autonóm navigációs technológiák tanulmányozása (Qu et al., 2024). Az autonóm erőgépek jelentősen átalakulhatnak, és széles körű hatást gyakorolhatnak a mezőgazdaság jövőjére. A kifinomult érzékelőkkel, mesterséges intelligenciával és robotokkal felszerelt járművek utat nyitnak egy olyan jövő felé, amelyben a gazdálkodás pontosabb, hatékonyabb és környezetbarát. A rendelkezésre álló erőforrások megfelelő hasznosításával, a veszteség csökkentésével és az adatvezérelt döntéshozatal megkönnyítésével az eszközök nagymértékben javíthatják a mezőgazdasági tevékenységet, és kisebb környezetterhelés mellett magasabb hozamot és nagyobb jövedelmezőséget eredményezhetnek. Kulcsfontosságú eszközök az mezőgazdasági iparral kapcsolatos globális kihívások kezelésében, a különböző gazdálkodási tájakhoz való alkalmazkodóképességük és a különféle terménytípusok közötti méretezhető alkalmazások miatt. Az autonóm erőgépek beépítése jelentős előrelépést jelent a technológiailag fejlett, hatékony és fenntartható mezőgazdasági jövő felé (Padhiary et al., 2024).

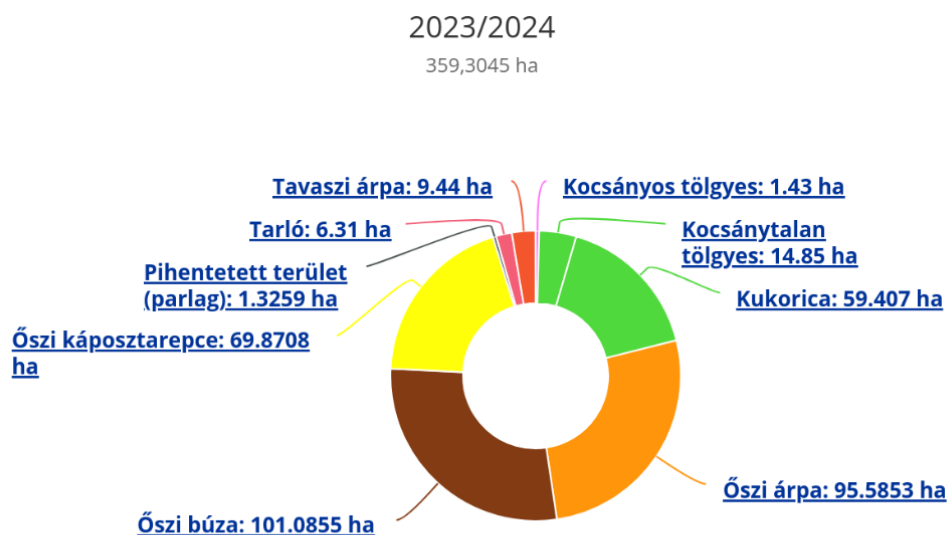
A jövőben egyre nagyobb aggodalomra adnak okot azok a potenciális kockázatok, amelyekkel a mezőgazdaságnak szembe kell néznie a technológiai fejlesztésekre való nagymértékű támaszkodása miatt. E kockázatok közé tartoznak a műszaki problémák, a rendszer meghibásodásai és a külső zavarok. A gazdálkodóknak fontolóra kell venniük tartalék tervek kidolgozását és támogatási rendszerek létrehozását a technológiára való erős támaszkodással járó kockázatok csökkentése érdekében. Redundáns intézkedések és tartalék megoldások kialakításával a mezőgazdasági rendszerek tartóssága jelentősen növelhető (Haloui et al., 2024).

3. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

3.1. Kísérleti gazdaság bemutatása

A vizsgált gazdaság Észak-Nyugat Magyarországon található. Az ország ezen részén metnet.hu 2023 adatait tekintve évi csapadékösszeg 831,5 mm, ami az éves 767,1 mm országos csapadékösszeghez képest több, ezek alapján elmondható, hogy csapadékban gazdag terület. A térség 2023-as évi középhőmérsékleti adatát vizsgálva, nincs számottevő különbség az országoshoz képest, ami 12,23 °C.

2023-2024 es évben 359,3045 hektáron gazdálkodtak, amiből 59,407 hektár kukorica, 95,5853 hektár őszi árpa, 101,0855 hektár őszi búza, 69,8708 hektár őszi káposztarepce, 9,44 hektár tavaszi árpa, 1,43 hektár kocsányos tölgyes, 14,85 kocsánytalan tölgyes, 6,31 hektár tarló (tar10) és 1,3259 hektár pihentetett terület (3. ábra).



3. Ábra: Vetésszerkezet

(AgroVir)

A vállalkozás már megkezdte a precíziós gazdálkodáshoz szükséges géppark kiépítését önerőből, ami tükrözi a modern mezőgazdasági technológiák iránti elkötelezettségét. A vizsgált gazdaság precíziós technológia első lépéseként az automata kormányzást alkalmazta. Következő technológiai újítása egy John Deere S670 betakarítógép volt, amely automata kormányzással és hozamtérképezéssel rendelkezik, lehetővé téve a betakarítás során a precíziós adatgyűjtést. A vállalat rendelkezik továbbá egy John Deere 8270 R típusú mezőgazdasági vontatóval, amely automata kormányzással és GreenStar

antennával van felszerelve, biztosítva ezzel a precíziós munkavégzést. Emellett egy másik John Deere 6140 R mezőgazdasági vontató is áll rendelkezésre, szintén automata kormányzással és GreenStar antennával. A géppark része egy Horsch Leeb 4 LT GPS rendszerrel ellátott permetezőgép pedig automata szakaszolással működik, amely optimalizálja a növényvédelmi munkákat, csökkentve a vegyszerek felhasználását és javítva a hatékonyságot.

3.2. Pályázat

A gazdaság 2021-ben pályázatot nyert a Mezőgazdaság digitális átállása nevű támogatásra. A projekt keretében a szántóföldi növénytermesztő tevékenység fejlesztése valósult meg, a precíziós gazdálkodáshoz kapcsolódó erő és munkagép fejlesztéssel és szolgáltatások igénybevételével, az alábbiak szerint egy 130 LE John Deere 6130 R mezőgazdasági vontató és egy Rauch Axis-H 30.2 W műtrágyaszóró, egy Dell Latitude 5520 notebook. Beta Kutatóintézet Nonprofit Kft által készített georeferált talajmintavétel és szaktanácsadás és az AgroVir Kft által nyújtott döntéstámogató rendszer, ahhoz kapcsolódó tanácsadási szolgáltatások igénybevétele.

3.3. Precíziós tápanyag ellátottsági térképek

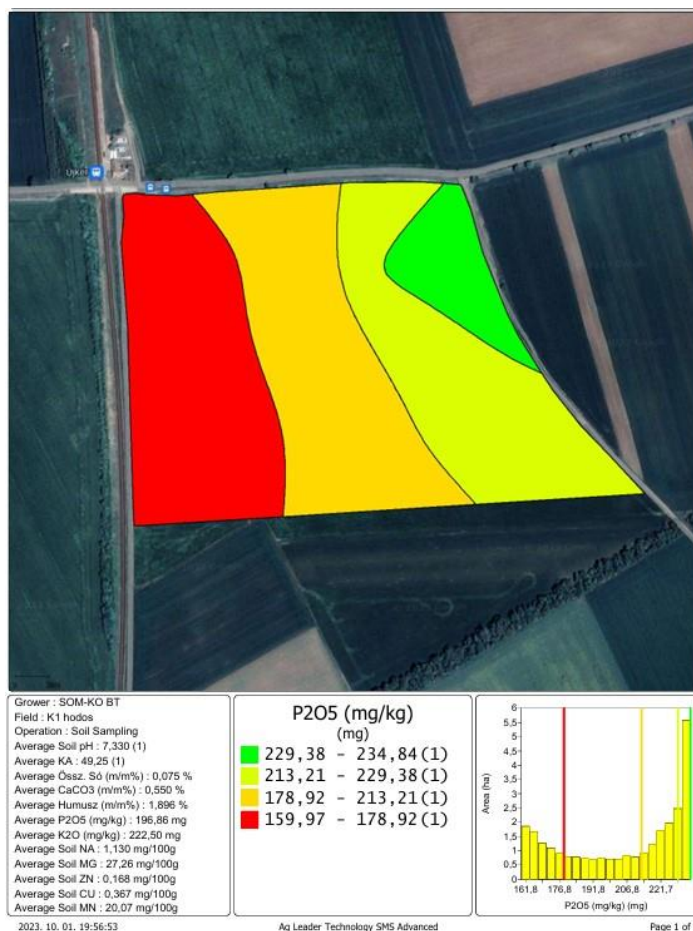
A kutatást során az együttműködést a Beta Kutatóintézet biztosította, amely a talajvizsgálatokra és a precíziós mezőgazdaság számára szükséges georeferált talajtérképezésre szakosodott. A kutatóintézet fejlett technológiával és módszerekkel támogatja a talaj elemzését.

A talajmintavételt és a térképeket 2023. szeptember-október hónapjában végezte és készítette a szaktanácsadó cég. Azonos mélységből vették az azonos mennyiségű mintákat, ezek a minták kerültek kiértékelésre. GPS adatokkal kapcsolt talajmintavétel lehetővé teszi a gyors, pontos és ellenőrizhető szántóföldi talajmintavételt. Az összegyűjtött talajmintákat laboratóriumi elemzéseknek vetették alá, ahol meghatározták a talaj tápanyagtartalmát (nitrogén, foszfor, kálium, mikroelemek), pH-értékét, szervesanyagtartalmát és egyéb fontos jellemzőit. A talajvizsgálatokat követően elkészítették a georeferált talajtérképet (4. ábra), amely a műtrágya kijuttatásának alapját adja. A térképeket digitális módon töltötték fel a notebook készülékre, így a minták pontosan visszakövethetőek. A műtrágyaszóró típusához adaptált kijuttatás vezérlő fájlokat (Shape file) hoztak létre. A Shape file raszter alapon lett képezve, ami azt jelenti, hogy a területet 2x2 méteres zónákra osztja, minden négyzet

rendelkezik koordinátával és kijuttatandó mennyiséggel, ezek az attribútum táblázatban szerepelnek. Az adatokat RX formátumba rendelték ki, amit My John Deere alkalmazás segítségével küldtek át a traktor monitorjára, így a vezérlő monitoron jeleníthető meg.

A My John Deere a John Deere cég saját fejlesztésű flottakövető és monitorozást segítő szoftvere, ahol nem csak a gépek helyzetét lehet lekövetni, hanem a táblákat a táblák elhelyezkedését is. A szoftver segítségével bármilyen adatot, ami az erőgép monitorján megjelenik, leolvasható, valamint napi, heti vagy más intervallumokban összegezhető, így pontos adat kapható, akár az egyes munkaműveletek költségeiről. A gépekre munkaműveletek írható ki, így a kezelőket pontos utasításokkal segítheti.

A georeferált talajmintavétel a táblák tápanyag ellátottságáról pontos képet ad, és az eszközök alkalmazásával (traktor, vásárolt műtrágyaszóró) célzottan, változó dózisban juttatható ki a szükséges tápanyag pl. műtrágya, mész, talajkondicionálók. Ezáltal a környezet terhelése csökken.



4. Ábra: Búza tábla georeferált térkép

(saját kép)

3.4. Mezőgazdasági vontató

A műtrágyaszóró vontatására John Deere 6130 R típusú traktor került felhasználásra (5.ábra). A gép számos modern mezőgazdasági technológiával rendelkezik, amely lehetővé teszi a pontos nagy hatékonyságú és precíz munkavégzést. A munkagép Auto Quad 24/24 váltóval van felszerelve. Az ECO shift funkciónak köszönhetően az üzemanyag felhasználás hatékonysága növekszik, mivel a traktor alacsonyabb fordulatszámon is optimális teljesítményt nyújt. A négykerék meghajtás menetstabilitást és tapadást biztosít. A traktor 4,5 literes PowerTech PVS Commonrail rendszerű, 4 hengeres dízelmotor, amelynek teljesítménye 130 LE, maximálisan 145 LE lehet. Az AdBlue és koromégető rendszer biztosítja az emissziócsökkentést, megfelelve a környezeti előírásoknak, amely elengedhetetlen a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok során. A traktor gyárilag beépített automata kormányzási rendszert tartalmaz. A rendszer 4. generációs Command Center vezérlőegységen alapul, amelyhez egy 4600-as és 26,4 cm-es kijelző tartozik. A gép 155 liter/perc hidraulika teljesítménnyel rendelkezik, amit PFC rendszer (Pressure Flow Compensated) támogat. Ez a hidraulika rendszer optimalizálja a terhelésfüggő hidraulika teljesítményt, amely fontos a nehéz vagy komplex munkagépek (műtrágyaszóró) használatánál.



5. Ábra: Alkalmazott mezőgazdasági vontató

(saját kép)

3.5. Precíziós műtrágyaszóró

A Rauch Axis-H 30.2 W műtrágyaszórót alkalmazta a cég (6. ábra). Az eszköz technikai jellemzői és vezérlési rendszerei jelentősen hozzájárultak az elemzés pontosságához. A műtrágyaszóró kapacitása 1400 liter, amely lehetővé teszi a nagyobb területek folyamatos kezelését kevés újra töltés szükséglettel. A gép 18-28 méteres szórásszélességgel rendelkezik a gazdaság 24 méter széles művelőútrendszer alkalmaz, ami a széles munkafelületet biztosítja, így hatékonyan alkalmazható különböző méretű mezőgazdasági területeken. A szórásszélesség beállítása támogatja a műtrágya egyenletes eloszlását, ezzel elkerülve a túl vagy alul adagolást. Az eszköz elektromos anyagáram-szabályozási rendszerrel rendelkezik (EMC), a rendszer valós idejű visszajelzéseket nyújt a műtrágyaszórás során, automatikusan szabályozza az anyag áramlását a műtrágya típusa, a kijuttatási mennyiség és a talaj körülményei tulajdonságai alapján. A műtrágyaszóró teljesen kompatibilis az ISOBUS rendszerrel, ami lehetővé teszi a gép integrálását különböző mezőgazdasági vezérlőrendszerekkel. A gép az ISOBUS kapcsolat segítségével könnyen kapcsolható traktorhoz és más mezőgazdasági gépekhez, biztosítva a zökkenőmentes adatátvitelt és gépvezérlést. A gép GPS vezérlést is támogat, amely lehetővé teszi a szórási mintázatok automatikus szabályozását a termőföld alapján. A mérőcellás technológia folyamatosan figyeli a szórási mintát, ezzel biztosítva az egyenletes kijuttatást.

A műtrágyaszóró átvételekor a gazdaságban lévő gépkezelők számára célzott oktatási szolgáltatás is biztosítva lett a gép helytelen üzemeltetésének elkerülése érdekében. Elméleti tájékoztató keretében a szakemberek ismertették a műtrágyaszóró alapvető működési elveit, beállítási lehetőségeit és a hatékony műtrágya-felhasználás irányelveit. A gyakorlati bemutató során egy helyszíni bemutatót vettek részt, ahol megismerték a különböző terepviszonyokhoz igazodó beállításokat. Az oktatás hozzájárult a vizsgált gép megfelelő alkalmazásának biztosításához, lehetővé téve a géphasználat eredményeinek pontosabb mérését.



6. Ábra: Precíziós műtrágyaszóró

(saját kép)

3.6. Döntéstámogató rendszer

A termesztési folyamat során az AgroVir adatkezelő és elemző szoftvert használták. Ez a komplex gazdaságirányítási platform lehetővé teszi a különböző mezőgazdasági műveletek részletes nyomon követését és elemzését, beleértve a precíziós trágyázást is. Emellett lehetővé teszi a gazdaságban zajló összes folyamat digitális rögzítését, a talajmunkától kezdve a trágyázáson át a termés hozamig. A rendszer összegyűjti és tárolja a gazdaság műveleteire vonatkozó adatokat, amelyekből elemzéseket készít, például a költségekről, hozamokról és műtrágya-felhasználásról, ezzel segítve a döntéshozatalt. Ezenkívül GPS-alapú nyomon követésen alapuló térképi megjelenítéseket készít, amelyek a térképen pontosan ábrázolják a precíziós műtrágyaszóróval lefedett területeket és a kijuttatott mennyiségek eloszlását. A szoftver kompatibilis más precíziós eszközökkel, például ISOBUS, GPS - vezérlés, My John Deere és precíziós műtrágyaszóró rendszerekkel, így zökkenőmentesen integrálható a szántóföldi eszközökkel.

3.7. Kutatás célja

Kutatásom középpontjában az áll, hogy megvizsgáljam a precíziós gazdálkodás bevezetésének gazdasági és termelési előnyeit egy konkrét mezőgazdasági üzemben. A tanulmány a precíziós műtrágyakijuttatás költséghatékonyságát vizsgálja a hagyományos módszerekhez képest, és megállapítja, hogy a műtrágya felhasználásának optimalizálása magasabb terméshozamot eredményezhet -e. Emellett megvizsgálja a termelési technikák változásainak a terméshozamra gyakorolt hatását, és megállapítja, hogy a precíziós műtrágyakezelés pozitívan befolyásolja -e az általános termelési szintet.

A tanulmány a precíziós műtrágyaszórókba történő beruházás megtérülési idejének átfogó elemzésére is törekszik, különös tekintettel annak vizsgálatára, hogy a támogatások hogyan befolyásolják a megtérülési idő hosszát a pályázat nélküli beruházásokhoz képest. A pénzügyi megtérülés mellett, a termelési folyamatok fenntarthatósága és a környezeti hatások csökkentésének kérdése is fontos, mivel a precíziós technológia jelentős szerepet játszhat a mezőgazdasági termelés hosszú távú fenntarthatóságának biztosításában.

3.8. A kutatás hipotézisei

A precíziós műtrágyakijuttatás segítségével úgy tudjuk csökkenteni a műtrágyafelhasználást, hogy az ne legyen káros hatással a terméshozamra. A precíziós technológia lehetővé teszi a tápanyagok célzott és pontos kijuttatását, azáltal, hogy talaj sajátosságai és igényei alapján történik a műtrágya kijuttatás, megelőzve a túltrágyázást és csökkentve a mezőgazdasági költségeket. Emellett minimalizálja a környezeti hatásokat, mivel jelentősen csökkenti a tápanyagok kimosódását, a talajszennyezést, valamint a felszíni és felszín alatti vizek foszfor- és nitráatterhelését.

A precíziós műtrágyakijuttatás környezetvédelmi előnyökkel is jár, a precíziós talajminták segítségével és azoknak integrálásával, a tápanyagokat csak oda juttatják ki, ahol szükség van rájuk, így elkerülhető a felesleges műtrágya felhasználás, ez elengedhetetlen a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatok szempontjából, mivel segít megőrizni a talaj hosszú távú egészségét és megóvjá a természetes ökoszisztémákat.

Költséghatékonysági szempontból a technológia jelentős megtakarításokat eredményez a felhasznált műtrágya mennyiségének csökkentésével, ami a termelési költségeket csökkenti.

3.9. Adatfeldolgozás és számítások

A pályázat különböző berendezéseket tartalmaz, de a megtérülési elemzés középpontjában kizárólag a műtrágyaszóró áll, mert a mezőgazdasági vontató a műtrágyaszórón túl több célt is szolgált, így nem volt alkalmas a gazdasági elemzésre, ezért a kutatás elsősorban a műtrágyaszóróra helyezi a hangsúlyt.

A precíziós műtrágyaszórót először 2023 márciusában állították üzembe és 2023 őszén használták először, előző években Bredal K105 járókerék hajtású mechanikus adagolású műtrágyaszórót használtak. A Beta Kutatóintézet által készített georeferált talajmintákat a Rauch Axis-H 30.2 W műtrágyaszóró használatának elősegítése érdekében integrálták. A talajminták részletes elemzése lehetővé tette a különböző talajtípusok és tápanyagtartalmak pontos feltérképezését, amely alapján a műtrágyaszóró beállításait optimalizálták. A legnagyobb mennyiségben nitrogén műtrágyát (karbamid) és diammonium-foszfátot (DAP) használtak fel.

3.9.1. Felhasznált műtrágyamennyiség számítása

A vizsgálat során a műtrágyafelhasználás mennyiségét a precíziós műtrágyaszóró által kijuttatott mennyiséggel és az előző négy év hagyományos műtrágyaszóróval felhasznált mennyiségével hasonlítottam össze. Először az elmúlt négy év műtrágya-felhasználási mennyiségét hektáronkénti adatokra átszámoltam. Az így kapott hektáronkénti felhasználási mennyiségek átlagát kiszámítottam, majd ezt az átlagot összevetettem a 2023/2024-es termesztési év során a precíziós műtrágyaszóróval kijuttatott mennyiséggel. Az elemzés célja a precíziós gazdálkodás hatékonyságának és költségmegtakarításának vizsgálata volt

3.9.2. Felhasznált műtrágyaköltség számítása

A költségszámításhoz az elmúlt négy év műtrágya-költségeit hektáronkénti értékre átszámoltam. Az egyes évek költségeit összegyűjtöttem és a megfelelő hektáronkénti értékre konvertáltam, figyelembe véve a területek nagyságát. Ezt követően az így kapott hektáronkénti költségek átlagát kiszámítottam. A 2023/2024-es termesztési év adatainak összehasonlításához a precíziós műtrágyaszóróval végzett műtrágyázás költségeit hasonlítottam az átlagos költségekkel, így meghatározva a költségmegtakarítást és a precíziós gazdálkodás hatékonyságát.

3.9.3. Precíziós műtrágyaszóró megtérülésének számítása

A műtrágyaszóró pályázattal és pályázat nélkül történő megtérülési idejének vizsgálata során a műtrágya mennyiség megtakarításából indultam ki. Először megállapítottam, hogy a precíziós műtrágyaszóró használatával mekkora mennyiségű műtrágya takarítható meg, majd ezt az adatot pénzben is kifejeztem, figyelembe véve az előző négy évben felhasznált műtrágya átlag árát.

3.10. Adatok

1. Táblázat: Műtrágya felhasználás 2019-2024

Termesztési év	ha	össz. Mennyiség műtrágya kg	Értéke (Ft)	Hektáronkénti műtrágya (kg)	Hektáronkénti értke (Ft)
2019/2020	216	127 596,40	14 035 570	590,72	64 979
2020/2021	233,88	120 863,50	15 739 617	516,78	67 298
2021/2022	220,02	125 857,19	24 095 428	572,03	109 515
2022/2023	245,68	125 134,80	27 054 993	509,34	110 123
2023/2024	266,54	134 690,87	23 759 335	505,33	89 139

(saját szerkesztés)

2. Táblázat: Terméshozam 2019-2024

Termesztési év	Terméshozam t/ha	
2019/2020	árpa	8,569
	búza	6,525
	repce	3,241
2020/2021	árpa	6,699
	búza	7,373
	repce	3,496
2021/2022	árpa	7,734
	búza	8,191
	repce	3,145
2022/2023	árpa	8,43
	búza	8,503
	repce	3,703
2023/2024	árpa	8,2
	búza	8,13
	repce	3,084

(saját szerkesztés)

3. Táblázat: Időjárási adatok 2019-2024 Sopronhorpács

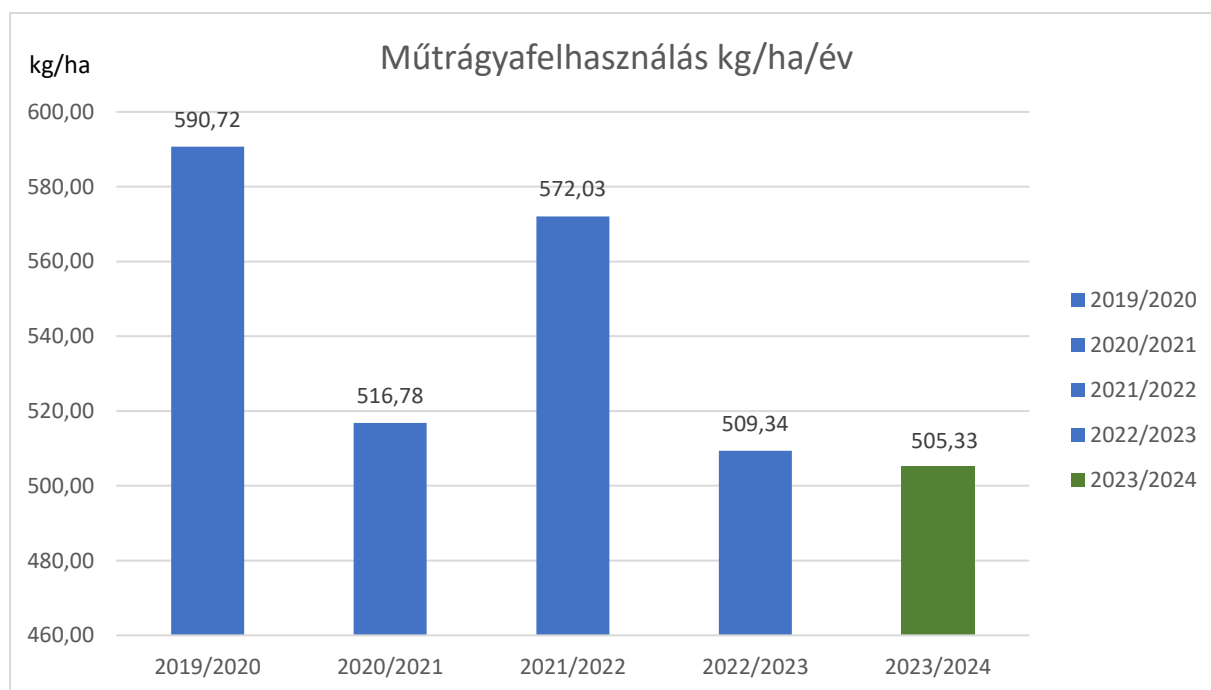
Termesztési év	Mérési adatok	szept	okt	nov	dec	jan	febr	márc	ápr	máj	jún	júl	aug
2019/2020	össz. csapadék (mm)	99	34,5	88,9	54,9	15,6	12,2	19,2	7,4	38,5	102,7	68,4	52,9
	átlag hőmérséklet (°C)	16,4	11,9	7,6	3,5	0,3	6,2	6,6	11,5	14	19	21	22,5
2020/2021	össz. csapadék (mm)	52,9	107,5	9,3	51,2	40,2	20,7	3,2	21,8	69,5	11,4	70,9	65,4
	átlag hőmérséklet (°C)	16,9	10,9	5,5	2,4	1,3	2,8	7,8	8,3	13,3	21,6	22,6	20
2021/2022	össz. csapadék (mm)	25,7	34,9	39	35,1	16,4	18,3	15,7	31,5	48,6	16,5	42,3	41,5
	átlag hőmérséklet (°C)	17,2	11	5,6	2,5	2,4	5,2	5,2	9,2	17,1	21,5	21,9	22,6
2022/2023	össz. csapadék (mm)	41,9	9	13,6	36,6	37,8	12,2	17	107,2	85,5	81,4	109,6	88,2
	átlag hőmérséklet (°C)	16	13,2	8,4	2,2	3,7	3,8	7,8	9,1	14,6	19,5	22,5	21,3
2023/2024	össz. csapadék (mm)	51,5	66,6	69,7	104,8	32,5	22,6	59,8	44,7	71,1	118,4	13,9	21,5
	átlag hőmérséklet (°C)	19,8	15,1	6,8	2,4	1,5	8,5	9,5	12,8	16,5	20,8	23,9	24,7

(metnet.hu, met.hu)

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Műtrágyafelhasználás

Az adatokat tekintve a gazdaság a növények igényeihez képest közepes szintű műtrágyafelhasználást alkalmazott a vizsgált években. A legmagasabb műtrágyafelhasználás a 2019/2020 és 2021/2022 évben tapasztalható, a kedvező műtrágyaárak, illetve terményárak miatt. Az első három év magasabb műtrágyafelhasználását 2022. őszén bekövetkezett műtrágya áremelkedés megtörte, ez tapasztalható a 2022/2023 év adataiban. Az új precíziós műtrágyaszóró bevezetése lehetővé tette az alacsonyabb műtrágya dózisok kijuttatását, (amelyet nem a gazdasági kényszer generált) ez kimutatható a 2023/2024 termesztési év adataiban, amelyek közel 11%-kal csökkentek a 2021/2022 év adataihoz képest. Az előző négy év adatainak átlagát tekintve a 2023/2024 évben a műtrágya mennyiség megtakarítása 7,5 % (7. ábra).

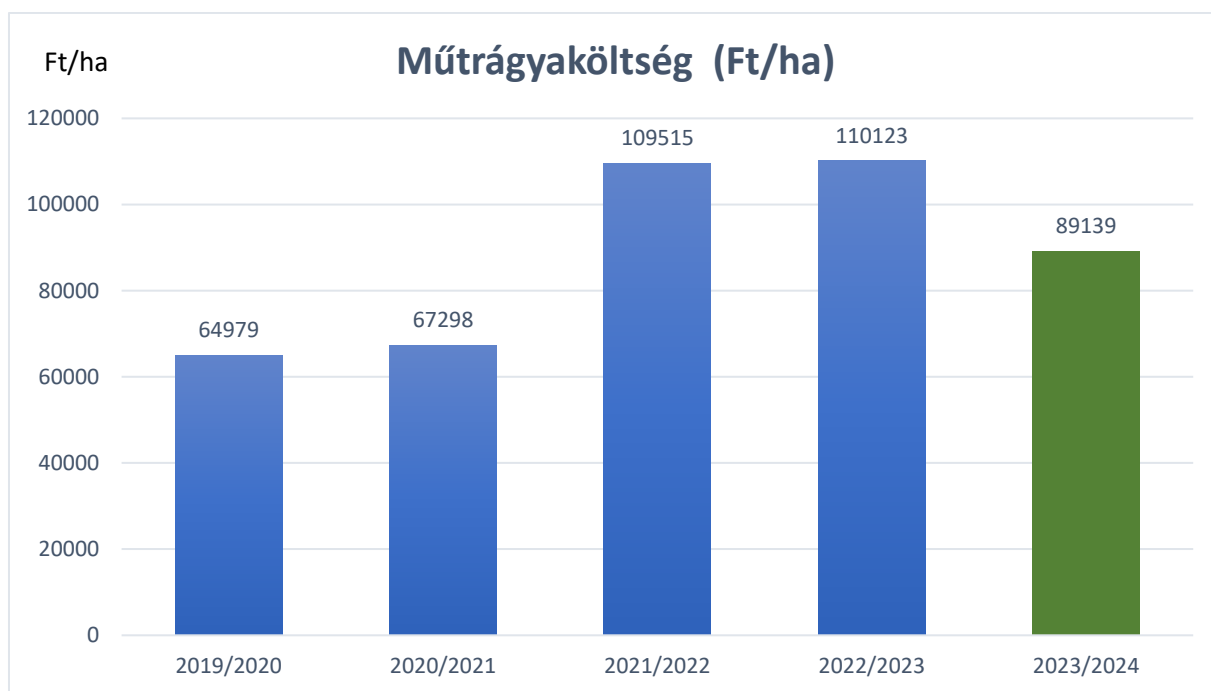


7. Ábra: Műtrágyafelhasználás kg/ha 2019-2024

(saját szerkesztés)

4.2. Műtrágyaköltség

A legmagasabb költséget 2021/2022 és 2022/2023 termesztési évében soha nem tapasztalt műtrágya árrobbanás okozta, ezeket az adatokat torzította a piaci anomália, ezért a fenti évek adatait nehéz egy átlagos évvel összehasonlítani. 2023/2024-es termesztési évben a műtrágyaköltségek csökkentek, azonban a költségcsökkenés nem tükrözte a felhasznált mennyiség csökkenését. A 2023/2024-es termesztési évben a műtrágyaköltségek 19%-kal alacsonyabbak voltak a 2021/2022-es évhez képest, ami jelentős megtakarítást eredményezett a gazdaság számára, azonban ezt a megtakarítást jelentősen befolyásolják az évről-évre változó műtrágya árak. Az előző négy év adatainak átlagát tekintve a 2023/2024 évben a műtrágya költsége 1 %-kal növekedett (8.ábra).

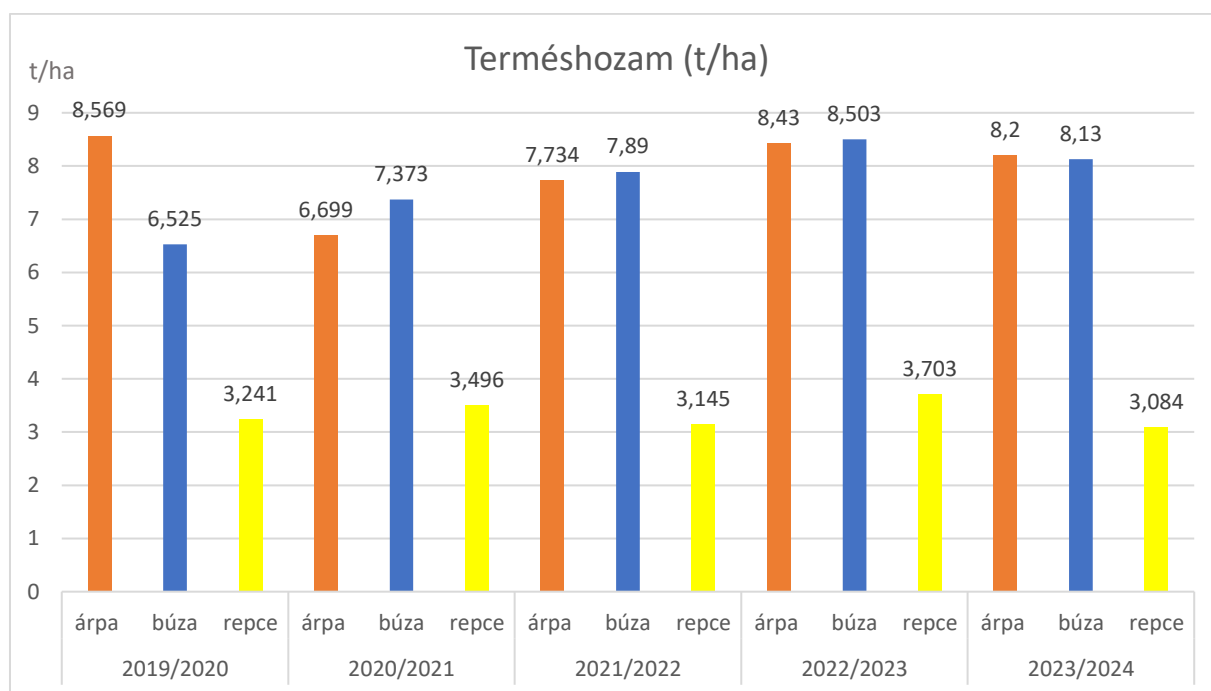


8. Ábra: Hektáronkénti műtrágyafelhasználás 2019-2024

(saját szerkesztés)

4.3. A termés hozam összefüggése a műtrágyázással

A 2023/2024-es termesztési évben a műtrágya-felhasználás 7,5%-kal csökkent, azonban a termés hozam közel azonos maradt az előző év adataihoz képest, az árpa 0,23-mal, a búza 0,373-mal, a repce pedig 0,619 tonnával csökkent hektáronként, ami minimális eltérés ezért a hatékonyság növekedése ellensúlyozta a kevesebb műtrágya alkalmazását (9. ábra).



9. Ábra: Termés hozamok 2019-2024

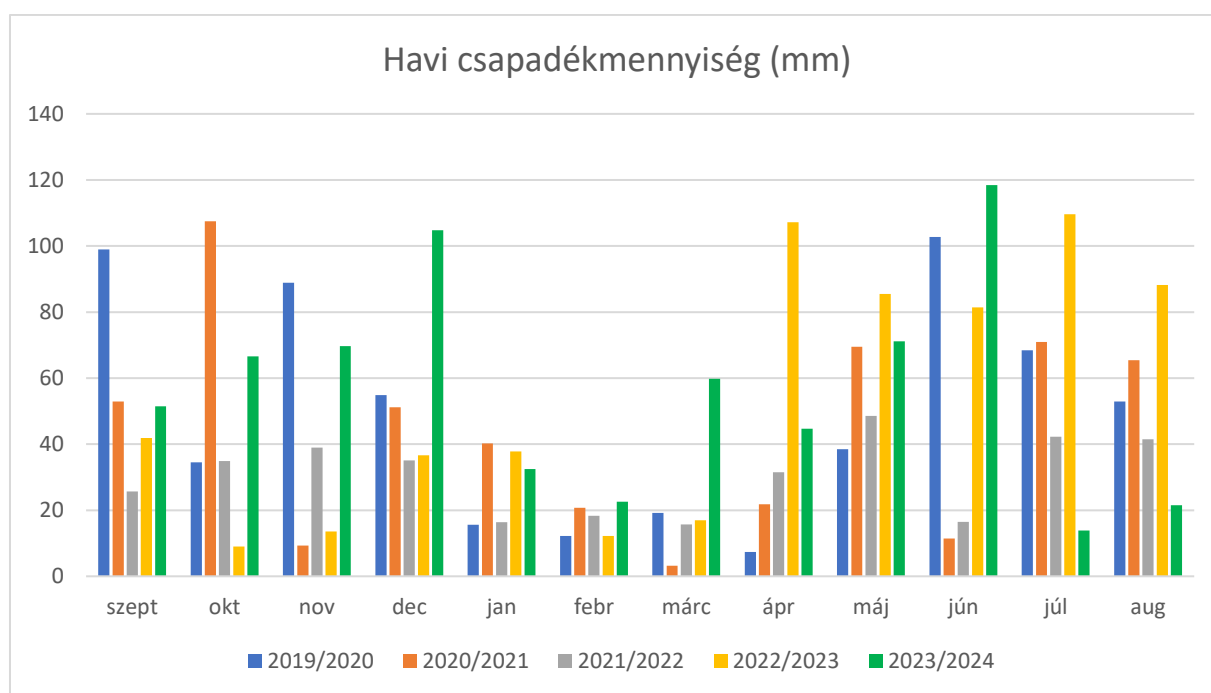
(saját szerkesztés)

Az adatok kiértékelését és a műtrágyaszórás hatékonyságának meghatározását nehezíti, az elmúlt években tapasztalt szélsőséges időjárás. Az eredményeket nagyobb mértékben befolyásolja az időjárás, mint a talajművelés, tápanyagutánpótlás, növényvédelem.

- a csapadékhiány és a hőség megnehezíti a nyári talajművelési eljárások megfelelő minőségben történő elvégzését
- a csapadékhiány miatt a kijutatott műtrágya jelentős része a párolgás miatt nem hasznosul
- a növényvédelmi munkák elvégzését akadályozza az extrém meleg időjárás és az erős légmozgások
- kártevők és korokozók felszaporodásának kedvez a hőmérséklet emelkedés (igazi telek hiánya)

4.4. Csapadékmennyiség

A 2023/2024-es termesztési évben az őszi és tavaszi csapadékmennyiség kedvező volt a műtrágya hasznosulás szempontjából, az előző évi csapadékmennyiséghez képest elmondható, hogy a jobb termésátlag elérését elősegítette. A 2021/2022 csapadékmennyiséget tekintve látható, hogy átlagon aluli értékeket mutat, ami megnehezítette a termelést, ez tükröződik a 2021/2022-es terméshezamban. A szélsőséges csapadékeloszlás az aszályos és csapadékos hónapok kiszámíthatatlan váltakozása problémát jelent, ez megfigyelhető a diagrammokon is, 2023/2024-es termesztési évben a júniusi csapadékmennyiség majdnem meghaladta a 120 millimétert, míg a júliusi hónapban 13 milliméter csapadék hullott (10. ábra).



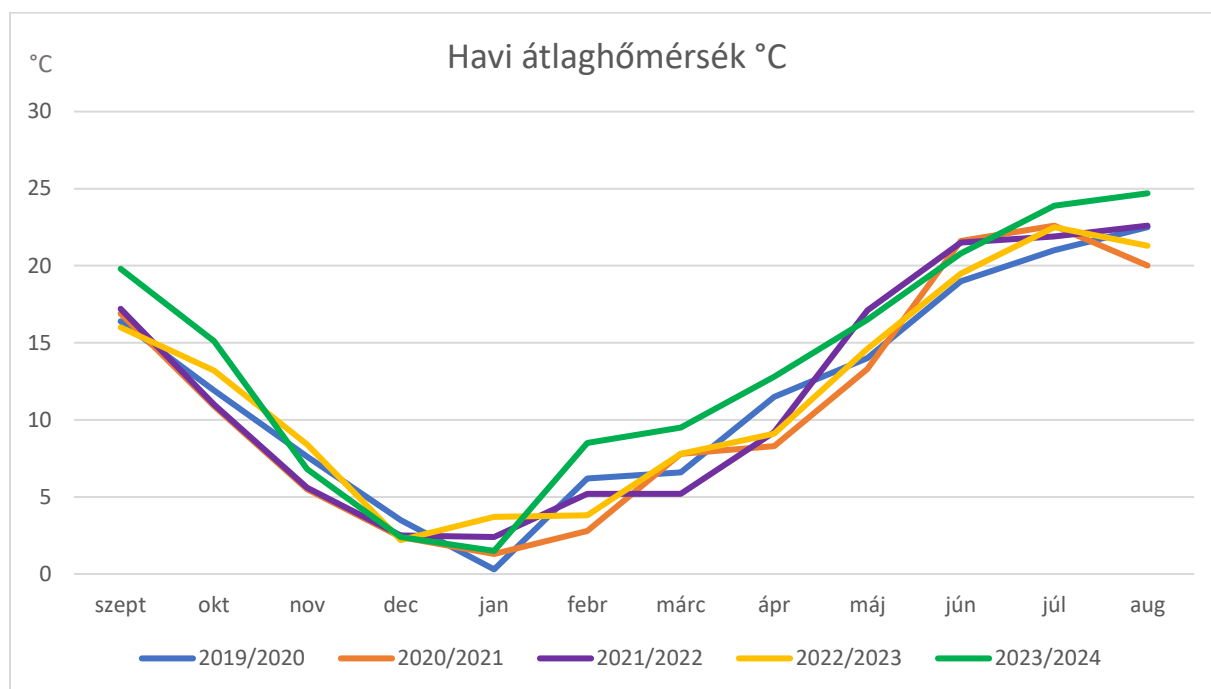
10. Ábra: Havi csapadékmennyiség 2019-2024

(saját szerkesztés)

4.5. Átlaghőmérséklet

A hőmérsékleti adatokat elemezve jól látszik, hogy a 2023/2024-es termesztési év a legmelegebb az elmúlt évekhez képest, az előző négy éves átlaghőmérsékleti adatok közel azonos értékeket mutatnak. A legmagasabb átlag hőmérséklet 2023/2024-es termesztési évben nyáron főleg július és augusztusban látható, augusztusban közel 25 °C volt az átlaghőmérséklet, de az előző évekhez képest a februári hónap 8,5 fokkal is kiugróan magas.

Ezek a kedvezőtlen időjárási jelenség a 2023/2024-es termesztési év terméshozamaiban nem mutatkozik (11. ábra).



11. Ábra: Havi átlaghőmérsékelt 2019-2024

(saját szerkesztés)

4.6. Precíziós műtrágyaszóró megtérülése

A 4. táblázat a pályázatban szereplő gépek és szolgáltatások költségeinek átfogó adatait tartalmazza. A táblázat részletes információkat tartalmaz a megvásárolni kívánt műtrágyaszóróról, a hozzá tartozó precíziós berendezésekről, valamint a pályázatban szereplő különböző szolgáltatásokról, például a telepítésről, a képzésről és a karbantartási szerződésekről.

Az adatok alapos elemzéséből kiderül, hogy a pályázat támogathatósági aránya 37,5 %. Ez jelentős pénzügyi hozzájárulást jelent a beruházáshoz, ami azt jelenti, hogy a projekt teljes költségének 37,5%-át támogatásokból fedezik, a fennmaradó 62,5%-ot pedig saját forrásokból kell finanszírozni.

A táblázatban bemutatott részletek nemcsak a beruházás teljes költségét vázolják fel, hanem rávilágítanak a rendelkezésre álló támogatás összegére és a saját forrásból kifizetendő részre is. Az ilyen információk felbecsülhetetlen értékűek a pénzügyi tervezéshez és a

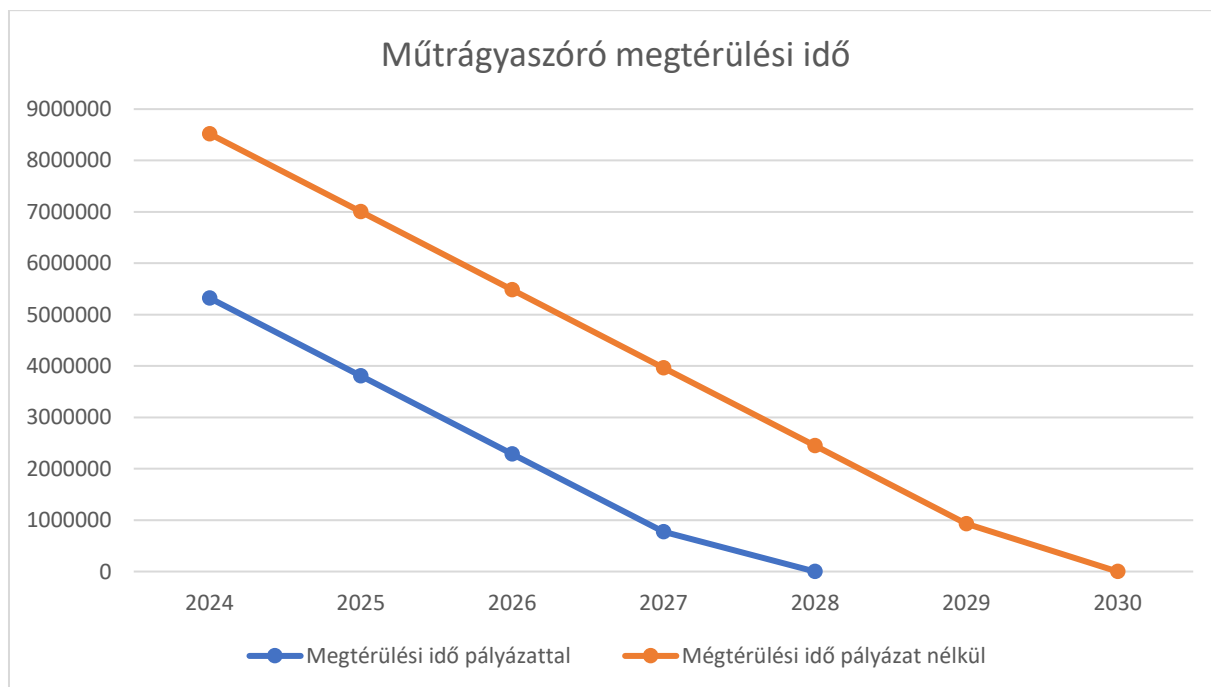
beruházások megtérülésének meghatározásához, és ezáltal kulcsfontosságú szerepet játszanak a gazdaság hosszú távú fenntarthatóságának biztosításában.

4. Táblázat: Pályázat és pályázat nélküli beruházásköltségek

Eszközök	Támogatott ár (Ft)	Teljes ár (Ft)
John Deere 6130 R	26 100 543	41 760 869
Rauch Axis-H 30.2 W	5 324 756	8 519 610
Precíziós térképek	1 265 000	2 024 000
Pályázatírás	488 865	782 184
Dell Latitude 5520 notebook	248 750	398 000
Eszközök összesen	33 427 914	53 484 663
Pályázatra kapott támogatás összesen	20 049 366	

(saját szerkesztés)

A precíziós műtrágyaszórókba való beruházás a pályázati támogatással 3,5 év alatt térül meg. A támogatás nélkül a megtérülési idő 5,6 év lenne, azaz közel kétszer annyi idő (12.ábra). Ez rávilágít a támogatások jelentőségére, amelyek nemcsak a kezdeti pénzügyi terhek enyhítésében segítenek, hanem a precíziós gazdálkodás előnyeinek gyorsabb kihasználásában is szerepet játszanak, ez pedig növeli a gazdaság versenyképességét és fenntarthatóságát.



12. Ábra: Műtrágyaszóró megtérülési ideje

(saját szerkesztés)

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az alacsony költségű műtrágyaszórók használata a magasabb költségű műtrágyák kijuttatásával együtt felgyorsítja a gazdaság beruházásának megtérülését. A berendezések megfizethetősége a műtrágyák hatékony alkalmazásával kombinálva lehetővé teszi a gazdaság költséghatékony működését, ezáltal javítja a mezőgazdasági gyakorlatok jövedelmezőségét és fenntarthatóságát.

A műtrágyaárak ingadozása miatt nehézséget jelenthet a megtérülési idő pontos meghatározása, ami viszont hatással van a gazdálkodók döntéshozatali folyamataira, mivel nehezen tudják előre jelezni a jövőbeli kiadásokat és nyereséget. Az árak kiszámíthatatlansága felerősíti a beruházási kockázatot is, ami arra készteti a gazdálkodókat, hogy szorosan nyomon kövessék a piaci trendeket és erős gazdálkodási stratégiákat dolgozzanak ki.

A szükséges pénzügyi támogatás nélkül a drága gépekbe való beruházás nem biztos, hogy belátható időn belül megtérül, ami azt jelenti, hogy a gazdáknak súlyos pénzügyi terhet kell viselniük, ez különösen igaz a precíziós gazdálkodásba történő beruházásokra, amelyek kezdeti költségei magasak lehetnek. A pályázatok enyhíthetik ezt a terhet, lehetővé téve a gazdálkodók számára a modern technológiák gyorsabb bevezetését, és végső soron a termelés hatékonyságának és versenyképességének javítását. Fontos figyelemmel kísérni a pályázati felhívásokat, hiszen lehetőséget biztosít további precíziós eszközök és technológiák beruházására.

A műtrágyázás csak az egyik agronómiai eljárása a mezőgazdaságnak, és a terméshozamot számos más tényező is befolyásolja. Ezek a tényezők magukban foglalják a talajminőséget, az időjárási viszonyokat, a kártevők elleni védekezési módszereket és a termesztési gyakorlatot. Ezért a terméshozamok jelentős növeléséhez nem elegendő kizárólag a műtrágyázás optimalizálására összpontosítani. A gazdálkodóknak átfogó megközelítést kell alkalmazniuk, és a fenntartható és sikeres termeléshez a gazdaságuk minden szempontját figyelembe kell venniük.

A vizsgált gazdaság kis mérete miatt, a megtérülés hosszú időt ölel fel, a beruházások végrehajtása alaposabb elemzést igényel, egy nagyobb gazdaságban, a precíziós beruházások gyorsabban térülnek meg. A megtérülést még az is hátráltatja, hogy a területek tápanyagellátottsága homogén, ezért a precíziós kijuttatás kisebb jelentőséggel bír.

Minél hosszabb ideig van monitorozva egy területet különböző módszerekkel például talajmintavételezéssel, NDVI térképekkel, vegetációs indexel, talajszkenneléssel,

hozamtérképezéssel, annál pontosabb menedzsment zónákat lehet kialakítani és így pontosabb tápanyagutánpótlás folytatható. A dolgozat a precíziós műtrágyaszóró egy éves adatait vizsgálta, pontosabb képet adhat a megtérüléséről és környezetkímélő hatásáról, ha hosszabb időintervallum alatt mért adatokat vizsgál.

A precíziós műtrágyaszóró a precíziós technológia egyik eleme, így a gazdaságnak számos lehetősége van fejleszteni a precíziós gépparkot. További technológiai előrelépést jelenthet a precíziós vetőgép, a nitrogén szenzor, precíziós permetezőgép (gyomfelismerő rendszer). A precíziós technológia egy komplex rendszert képez, egyes elemek önálló alkalmazásával nem lehet teljesen kihasználni előnyeit. A gazdaság versenyképességének és fenntarthatóságának növelése érdekében célszerű több technológiai elemet használni, amelyek egymást kiegészítve működnek.

A precíziós technológiák gyors ütemű fejlődésen mennek keresztül, évről-évre újabb technikákat és szolgáltatásokat vezetnek be. Elengedhetetlen a gazdák számára ezen ismeretek készség szintű tudása. A képzések és oktatások lehetőséget adnak a legújabb technológiai elemek megértésére és napi alkalmazására. A rendeltetés szerinti alkalmazás esélyt ad a precíziós technológiák előnyeinek kihasználására.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a precíziós műtrágyaszóró gazdasági hatásait elemezte, a műtrágya felhasználás és a terméshozamok szempontjából. A precíziós technológiák közül a műtrágyaszóró egy meghatározó elem, hiszen a talaj és a növények igényeinek ismerete alapján teszi lehetővé az optimális dózisu műtrágya kijuttatását.

A vizsgálat során a hagyományos és a precíziós műtrágyaszóró került összehasonlításra az elért eredmények alapján, és elemezte a precíziós műtrágyaszóró megtérülési idejét pályázati támogatás és pályázati támogatás nélkül. A dolgozat áttekintette, hogy a precíziós technológia bevezetése, milyen hatással van a fenntarthatóságra, környezetre és a gazdaság versenyképességére. A kutatás figyelembe vette a vizsgálati évek időjárási adatait, így árnyaltabb képet ad az eredményekről. Az eredmények azt mutatják, hogy a precíziós műtrágyaszóró alkalmazása 7,5 %-kal csökkentette a műtrágyafelhasználást az előző négy év adataihoz képest, miközben a terméshozam stabil maradt, ami a technológia hatékonyságát jelzi. Az adatok kiértékelését és a műtrágyaszórás hatékonyságának meghatározását nehezítette az elmúlt években tapasztalt szélsőséges időjárás. A terméshozam eredményeket nagyobb mértékben befolyásolja az időjárás, mint a talajművelés, tápanyagutánpótlás, növényvédelem.

A kapott eredmény alapján a precíziós műtrágyaszóró megtérülési ideje pályázati támogatás segítségével rövidebb idő alatt térül meg, mint a pályázati támogatás nélkül. A gyors megtérülési időt felgyorsította a műtrágyaszóró alacsony ára és a magasabb költségű műtrágyák. Az eredmény rávilágít a pályázatok fontosságára, hiszen lehetővé teszik a gazdák számára a modern technológiák bevezetését. A megtérülési idő pontos meghatározását, azonban megnehezíti a műtrágyaárak gyors és kiszámíthatatlan ingadozása.

Az agrárgazdaságban a technológiai fejlődések, mint például a precíziós műtrágyaszóró lehetőséget nyújt a gazdaságok számára, hogy a környezetkárosító hatásokat csökkentsék miközben a termelés hatékonysága megmarad. Bár precíziós műtrágyaszóró jelentős szerepet játszik a mezőgazdasági hatékonyság növelésében, annak csupán csak egy eleme. A precíziós technológiák széles körben való használata, számos egyéb beruházás például precíziós vetőgép, tovább növelheti a gazdaság versenyképességét. A precíziós mezőgazdaság egy olyan potenciál, amely jelentős előnyöket ad a modern mezőgazdaságban ahhoz, hogy ezt a gazdák ki tudják használni, fontos a megfelelő oktatás, hogy készek legyen befektetni az új technológiákba.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. BHAT S. A.; HUANG N. (2020): Big Data and AI Revolution in Precision Agriculture: Survey and Challenges, *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9505674> 2024.01.07.
2. BAI A., KOVÁCH I., CZIBERE I., MEGYESI B. AND BALOGH P. (2022): Examining the Adoption of Drones and Categorisation of Precision Elements among Hungarian Precision Farmers Using a Trans-Theoretical Model, *Drones* 2022 <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/8/200> 2024.01.16.
3. BALAFOUTIS A. T., BECK B., FOUNTAS S., TSIROPOULOS Z., VANGEYTE J., T. VAN DER WAL, I. SOTO-EMBODAS, GÓMEZ-BARBERO M, AND PEDERSEN M. S., (2017): Smart Farming Technologies – Description, Taxonomy and Economic Impact, *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives, Progress in Precision Agriculture*
4. BALOGH P., BAI A., CZIBERE I., KOVÁCH I., FODOR L., BUJDOS Á., SULYOK D., GABNAI Z. AND BIRKNER Z. (2021): Economic and Social Barriers of Precision Farming in Hungary, *Agronomy* <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1112#B24-agronomy-11-01112> 2024.02.12.
5. BERNINI C., GALLI F. (2024): Economic and Environmental Efficiency, Subsidies and Spatio-Temporal Effects in Agriculture, *Ecological Economics* 04.2024.
6. BOTTA A., CAVALLONE P., BAGLIERI L., COLUCCI G., TAGLIAVINI L. AND QUAGLIA G. (2022): A Review of Robots, Perception, and Tasks in Precision Agriculture, *Appl. Mech.* 2022, <https://www.mdpi.com/2673-3161/3/3/49> 2024.03.12.
7. BUCCI G., BENTIVOGLIO D., BELLETTI M., FINCO A. (2020): Measuring a farm's profitability after adopting precision agriculture technologies: A case study from Italy, *Article in ACTA IMEKO*
8. CZIBERE I., KOVÁCH I., LONCSÁK N. (2023): Hungarian farmers and the adoption of precision farming, *European Countryside*
9. E. M. B. M. KARUNATHILAKE, TUAN LE A., HEO S., SUK CHUNG Y., MANSOOR A. (2023): The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture, *Agriculture* 2023.09. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593> 2024.02.13.
10. ERDEI E., OLÁH J., POPP J. (2018): A precíziós gazdálkodás kilátásai Magyarországon-Outlook of precision farming in Hungary, *International Journal of Engineering and Management Sciences*
11. ERDEINÉ KÉSMÁRKI-GALLÍ SZ. (2020): A precíziós gazdálkodás jelentősége a mezőgazdaság versenyképességében, Kiadja: Budapesti Gazdasági Egyetem, Kereskedelmi, Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar, Közgazdasági és Üzleti Tudományok Tanszék, Forrás: http://real.mtak.hu/109025/1/Erdeine_Kesmarki_Gally_Szilvia.pdf 2024.01.16.
12. ERICKSON B., FAUSTI S., CLAY D., CLAY S. (2018): Knowledge, Skills, and Abilities in the Precision Agriculture Workforce: An Industry Survey, *Natural Sciences Education* 2018.09., <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.4195/nse2018.04.0010> 2024.03.12.
13. FOUNTAS S., WULFSOHN D., BLACKMORE B. S., JACOBSEN H. L., PEDERSEN S. M. (2006): A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture, *Agricultural System* 2006.02.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X05000259>
2024.01.24.

14. FRÓNA D. (2024): The state of agricultural digitalisation in Hungary, *Agricultural Engineering* <https://rae.agriculturejournals.cz/pdfs/rae/2024/01/01.pdf> 2024.02.12.
15. GAÁL M., PÉTER K., TAKÁCSNÉ GYÖRGY K., ILLÉLS I., KISS A., SULYOK D., DOMÁN CS., KEMÉNYNÉ HORVÁTH ZS. (2017): Precíziós szántóföldi növénytermesztés összehasonlító vizsgálata, Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest
16. GAÁL M., HUMENYIK N., ILLÉS I., KISS A. (2020): A precíziós szántóföldi növénytermesztés helyzete és ökonómiai vizsgálata, NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Budapest Forrás: http://repo.aki.gov.hu/3655/1/2020_01_T_Precizios%20kiadvany_web_pass2.pdf 2024.03.25.
17. HALOUI D., OUFASKA K., OUDANI M., AND YASSINI K. E. (2024): Bridging Industry 5.0 and Agriculture 5.0: Historical Perspectives, Opportunities, and Future Perspectives, *Ecological Economics* 2024.04. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/9/3507> 2024.08.18.
18. ISSAKA A. C. (2018): An assessment of the impact of precision farming on economic efficiency, environmental sustainability and food security, In partial fulfilment of the requirements for the award of b.sc. (hons.) Natural resources management
19. KHOSLA R. (2010): Precision agriculture: challenges and opportunities in a flat world, *Department of Soil & Crop Sciences*
20. KRANJAC D., ZMAIĆ K., SUDARIĆ T., RAVLIĆ M., ZRAKIĆ SUŠAC M., GRGIĆ I., RAC I., ERJAVEC A. (2021): Production and Trade Impacts of CAP Post 2022 Reform on Main Croatian Crop and Livestock Markets—Partial Equilibrium Modelling Approach, *Agronomy* 2021 <https://doi.org/10.3390/agronomy11122518> 2024.06.23.
21. KSH (2020): Agrárcenzus eredmények – Agrárdigitalizáció, Központi Statisztikai Hivatal <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/ac2020/agrardigitalizacio/index.html> 2024.06.13.
22. MASI M., MARCELLO DE ROSA M., VECCHIO Y., BARTOLI L. AND ADINOLF F. (2022): The long way to innovation adoption: insights from precision agriculture, *Agricultural and Food Economics* 2022.10. Forrás: <https://agrifoodecon.springeropen.com/articles/10.1186/s40100-022-00236-5#ref-CR53> 2024.01.16
23. MEDEL-JIMÉNEZ F., KREXNER T., GRONAUER A., KRAL I. (2024): Life cycle assessment of four different precision agriculture technologies and comparison with a conventional scheme, *Journal of Cleaner Production* 2024.01. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623043561> 2024.05.13.
24. MICHAEL K. AND WITHERS R. (1998): Adopting Precision Agriculture: A Decision Making Process, Department of Agricultural Economics and Rural Sociology University of Idaho
25. NAGY J., ZALAI M., ILLÉS Á. AND MONOKI SZ. (2024): The Impact of Crop Year and Crop Density on the Production of Sunflower in Site-Specific Precision Farming in Hungary, *Agriculture* 2024.09. <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/9/1515> 2024.10.01.
26. OAK DUSADEERUNGSIKUL P., SHIMON Y. N. (2024): Precision agriculture with AI-based responsive monitoring algorithm, *International Journal of Production Economics* 2024.05. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527324000616> 2024.07.13.

27. PADHIARY M., KUMAR R., SETHI L. N. (2024): Navigating the Future of Agriculture: A Comprehensive Review of Automatic All-Terrain Vehicles in Precision Farming, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A* 2024.06. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40030-024-00816-2> 2024.09.23.
28. PETROVIĆ B., BUMBÁLEK R., ZOUBEK T., KUNEŠ R., SMUTNÝ L., BARTOŠ P. (2024): Application of precision agriculture technologies in Central Europe-review, *Journal of Agriculture and Food Research* 2024.03. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324000851> 2024.06.21.
29. QU J., ZHANG Z., QIN Z., GUO K. AND LI D. (2024): Applications of Autonomous Navigation Technologies for Unmanned Agricultural Tractors: A Review, *Machines* 2024.05. <https://www.mdpi.com/2075-1702/12/4/218> 2024.07.12.
30. RAWAT A.; KUMAR D.; KHATI B. S. (2024): A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach *Journal of Water and Climate Change* 2024.01. 15 (1): 104–126. <https://iwaponline.com/jwcc/article/15/1/104/98490> 2024.07.23.
31. SHAHEB R., SARKER A. AND A. SHEARER S. (2022): Precision Agriculture for Sustainable Soil and Crop Management, *Soil Science - Emerging Technologies, Global Perspectives and Applications* <https://www.intechopen.com/chapters/82490> 2024.07.21.
32. SAHU B., CHATTERJEE S., MUKHERJEE S. AND SHARMA C. (2019): Tools of precision agriculture precision agriculture, *International Journal of Chemical Studies* 2019.10. https://www.researchgate.net/profile/Siddhartha-Mukherjee-13/publication/338502162_Tools_of_precision_agriculture_A_review/links/5e183be14585159aa4c314ec/Tools-of-precision-agriculture-A-review.pdf
33. SANYAOL M. AND SADOWSKI A. (2024): The Role of Precision Agriculture Technologies in Enhancing Sustainable Agriculture, *Sustainability* 2024.09. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/15/6668> 2024.10.03.
34. SCHIMMELPFENNIG D. (2016): Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture, United States Department of Agriculture, Economic Research Report, <https://ageconsearch.umn.edu/record/249773/?v=pdf> 2024.09.12.
35. SHAARI S. A., MOHAMED RADZI N. A., SHAAYA S. A., MOHD AZMI K. H., AZHAR N. A., SHAHRUDDIN S. A. (2024): Recent Trends in Precision Agriculture: Applications & Challenges in Precision, *International Transaction Journal of Engineering Management, & Applied Sciences & Technologies* 2024.03.
36. SNYDER C. (2014): Precision Agriculture: Finding The Payback, *CropLife* 2014.09. https://www.croplife.com/precision-tech/finding-the-payback/?_gl=1*1fese6o*_up*MQ..*_ga*NTIxNTA4NjAyLjE3MjcwODQ4NjA.*_ga_JK7SNCW2Z3*MTcyNzA4NDg2MC4xLjAuMTcyNzA4NDg2MC4wLjAuMA.*_ga_HT20F78PG9*MTcyNzA4NDg2MC4xLjAuMTcyNzA4NDg2MC4wLjAuMA 2024.09.25.
37. T.A. ALKA T.A., SREENIVASAN A., SURESH M. (2024): Seeds of Change: Mapping the Landscape of precision farming technology adoption among agricultural entrepreneurs, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 2024.09. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X24000833> 2024.10.08.
38. TAKÁCSNÉ GYÖRGY K., LÁMFALUSI I., MOLNÁR A., SÜLYÖK D., GAÁL M., KEMÉNYNÉ HORVÁTH Zs., DOMÁN Cs., ILLÉS I., KISS A., PÉTER K. AND KEMÉNY G. (2018): Precision agriculture in Hungary: assessment of perceptions and accounting records of FADN arable farms, *Studies in Agricultural Economics* 120 (2018) 47-54 <https://ageconsearch.umn.edu/record/273117/?v=pdf> 2024.10.04.

39. TÓTH K., PINTÉR ZS., NAGY M. Z. (2022): Information systems in agri-food, Management of agri-food chains. Gödöllő: MATE Press, 2022. pp. 150–163 <https://press.mate.uni-mate.hu/216/1/ch10.pdf> 2024.10.11.
40. TRIMBLE S. (2022): Precision Agriculture Policy & Adoption Outlook 2023, CID *Bio-Science Weekly article series* Forrás: <https://cid-inc.com/blog/precision-agriculture-policy-adoption-outlook-2023/> 2024.09.12.
41. VERÓNICA SAIZ-RUBIO AND FRANCISCO ROVIRA-MÁS (2020): From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management, *Agronomy* 2020.02. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/207>
42. VÉRTESY L. (2023): Precíziós mezőgazdaság: helyzetkép és gazdasági megfontolások, Műhelytanulmány, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Gödöllő Forrás: <https://korforgas.uni-mate.hu/documents/3045980/0/MATE-KGEK+-+2023-02+VL+Prec%C3%ADzi%C3%B3s+MG.pdf/73c8a9ae-ae89-1612-c29c-b2d2e331e666?t=1682348604228> 2024.01.16.
43. YI-JIA WANG Y-J., WANG N., LI M., LI H., HUANG G. Q. (2024): End-users' acceptance of intelligent decision-making: A case study in digital agriculture, *Advanced Engineering Informatics* 2024.03. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034624000351> 2024.07.22.

8. ÁBRÁK JEGYZÉKE

Sorszám	Cím	Oldal
1.	Precíziós eszközök aránya 2020	13.
2.	Precíziós eszközök aránya vármegyénként	14.
3.	Vetésszerkezet	26.
4.	Búza tábla georeferált térkép	28.
5.	Alkalmazott mezőgazdasági vontató	29.
6.	Precíziós műtrágyaszóró	31.
7.	Műtrágyafelhasználás kg/ha 2019-2024	36.
8.	Hektáronkénti műtrágyafelhasználás 2019-2024	37.
9.	Terméshozamok	38.
10.	Havi csapadékmennyiség 2019-2024	39.
11.	Havi átlaghőmérséklet 2019-2024	40.
12.	Műtrágyaszóró megtérülési ideje	41.

9. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

Sorszám	Cím	Oldal
1.	Műtrágya felhasználás 2019-2024	34.
2.	Terméshozam 2019-2024	35.
3.	Időjárási adatok 2019-2024	35.
4.	Pályázat és pályázat nélküli beruházási költségek	41.

10. HALLGATÓI NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Dezső Luca Virág
A Hallgató Neptun kódja: JASWZZ
A dolgozat címe: Precíziós gazdálkodás magyarországi helyzete - műszaki, technológiai, ökonómiai elemzés
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Növénytermesztési Tudományok Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Agronómiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Gödöllő, 2024.10.31.


Hallgató aláírása

11. KONZULENSI NYILATKOZAT

NYILATKOZAT

Dezso Luca Virág (név) (hallgató Neptun azonosítója: JASW22)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő 2024 év 11 hó 05 nap


belső konzulens