

DIPLOMADOLGOZAT

Lados Károly
Agrár-műszaki rendszermérnök
MSc

Gödöllő
2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Agrár-műszaki rendszermérnök

mesterképzési szak

**A VASÚTI ÚTÁTJÁRÓK BIZTONSÁGÁNAK NÖVELÉSE
HAGYOMÁNYOS KÉZI ÉS MEZŐGAZDASÁGI
PERMETEZŐDRÓN TECHNOLOGIA ÖSSZEHASONLÍTÓ
VIZSGÁLATÁVAL**

Belső konzulens: Dr. Korzenszky Péter Emőd
habilitált egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és
Élelmiszeripari Gépek Tanszék

Külső konzulens: Ferencz Roland, vezetőmérnök,
MÁV Pályaműködtetési Zrt.,
Pályavasúti Területi Igazgatóság Szeged,
Pályafenntartási Főnökség Kecskemét

Készítette: **Lados Károly (BFSDQW)**

**Gödöllő
2025**

MŰSZAKI INTÉZET, AGRÁR-MŰSZAKI RENDSZERMÉRNÖK MESTERSZAK

DIPLOMADOLGOZAT

feladatlap

Lados Károly (BFSDQW)

részére

A szakdolgozat címe:

A vasúti útátjárók biztonságának növelése a hagyományos kézi és a mezőgazdasági permetező drón technológia összehasonlító vizsgálatával

Feladatkiírás:

Foglalja össze és értékelje a vasúti pályák gyommentesítésével, valamint a kézi és drónos gyomirtási technológiákkal kapcsolatos hazai és nemzetközi szakirodalmat. Határozza meg a vizsgálatok célját, helyszínét és módszertanát a vasúti útátjárók rálátási háromszögeinek növényzetmentesítése szempontjából. Vizsgálja meg és hasonlítsa össze a kézi gyomirtás és a mezőgazdasági permetező drontechnológia munkaminőségi, hatékonysági és költségmutatóit. Értékelje a két módszer vegyszerfelhasználását, munkaidő- és munkaerőigényét, valamint környezetvédelmi hatásait. A vizsgálati eredmények alapján tegyen javaslatot a drónos gyomirtás vasúti alkalmazásának fejlesztésére.

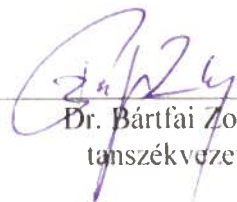
Közreműködő tanszék: Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék


Belső konzulens: Dr. Korzenszky Péter Emőd, habilitált egyetemi docens, MATE, Szent István Campus, Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszéke

Beadási határidő: 2025. 11. 04.

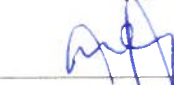
Gödöllő, 2025. október 29.

Jóváhagyom


Dr. Bártfai Zoltán
tanszékvezető


Prof. Dr. Kátai László
szakfelelős

Átvettem


Lados Károly
hallgató

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1 Szakirodalmi áttekintés.....	5
1.1 A vasúti gyomirtás hagyományos módszerei és új tendenciák.....	5
1.2 A drónok típusai és alkalmazási területei a növényvédelemben.....	7
1.3 A permetező drónok.....	9
1.4 Hatékonyság és cseppképzés, sodródás.....	10
1.5 Ortofotó és digitális terepmodell szerepe a precíziós növényzetkezelésben.....	11
1.6 Az előkészítő munkálatok szerepe a vasúti gyomirtásban.....	13
1.7 A drónos kijuttatás környezeti és fenntarthatósági vonatkozásai.....	14
2 Kutatási célkitűzések és módszertan.....	16
2.1 Célkitűzés.....	17
2.2 Módszertan.....	19
2.2.1 A gyomfelvételezés.....	24
2.3 Alkalmazott eszközök.....	29
3 Eredmények.....	31
3.1 Permeteződrónos kezelés.....	31
3.1.1 A vizsgálat menete és a felhasznált eszközök.....	31
3.1.2 A kezelés főbb paraméterei:.....	32
3.1.3 A vizsgálat módszerei.....	36
3.1.4 Kézi kaszálás eredmények.....	42
3.1.5 Költség- és teljesítmény adatok.....	45
3.1.6 Kézi kaszálás és a drónos gyomirtás eredmények összehasonlítása.....	46
4 Következtetések.....	49
4.1 Negatív tapasztalatok.....	50
4.2 Pozitív tapasztalatok.....	50
5 Összefoglalás.....	57
6 Irodalomjegyzék.....	59
7 Köszönetnyilvánítás.....	61

Bevezetés

A vasúti közlekedés biztonságának egyik legfontosabb feltétele, hogy a pályák és azok közvetlen környezete karbantartott, jól belátható és akadálymentes legyen. A vasúti átjárók különösen kiemelt figyelmet igényelnek, hiszen ezek a pontok jelentik a közúti és a vasúti forgalom találkozását, ahol a legnagyobb a balesetek kockázata. Az átjárók biztonságát alapvetően a rálátási háromszög határozza meg, vagyis az a terület, ahonnan a mozdonyvezető és a közúti közlekedő kölcsönösen észlelheti egymást és időben reagálhat a közeledő járműre. Ha ez a látótér bármilyen okból, például a növényzet elburjánzása miatt beszűkül, az azonnal növeli a balesetveszélyt. Magyarországon a vasúti gyomirtási és karbantartási munkák általában éves ütemezés alapján zajlanak, azonban ezek a tevékenységek többnyire a pálya menti sávokra korlátozódnak, és nem mindig terjednek ki az átjárók rálátási háromszögeinek teljes területére. A 145-ös számú vasútvonal, különösen a Kecskemét és Lakitelek közötti szakasz, jól példázza ezt a helyzetet, hiszen ezen a vonalon számos olyan közúti átjáró található, ahol a látási viszonyok évszakonként, a növényzet gyors növekedésével arányosan romlanak. A kézi vagy motoros eszközökkel végzett kaszálás és cserjeirtás rendkívül munka- és időigényes folyamat, amely a rendelkezésre álló szakaszmérnöki létszámmal és gépi kapacitással nem biztosítható folyamatosan, különösen úgy, hogy a pályafenntartó dolgozóknak egyidejűleg számos más feladatot is el kell látniuk, például váltók állapotának vizsgálata, hiányzó vagy megsérült jelzők pótlása, vízelvezetők és szerkezeti elemek karbantartását. Az idegenfeles vállalkozók bevonása időszakosan segíthet, de költséges és nem mindig időzíthető a vegetáció aktuális állapotához, míg a Területi Ingatlankezelési és Zöldterület-karbantartási Osztály feladatai elsősorban a főpálya melletti kezelésekre irányulnak, ezért az átjárók célzott gondozása gyakran kimarad a rendszeres munkaprogramból. Az elhanyagolt területek következményei egyértelműek: csökken a mozdonyvezetők és a járművezetők látótere, romlanak a rálátási viszonyok, és nő a baleseti kockázat. Ez különösen veszélyes olyan helyeken, ahol fény- vagy félsorompó nincs, és a biztonság kizárólag a jó rálátásra épül. Az utóbbi években mind a vasúti, mind a mezőgazdasági gyakorlatban egyre nagyobb szerepet kapnak az innovatív, precíziós technológiák, amelyek közül a drónos permetezés kiemelkedő lehetőséget kínál a nehezen megközelíthető területek hatékony és gyors kezelésére. A dróntechnológia alkalmazása a vasúti gyomirtásban nemcsak munkaerő- és időmegtakarítást jelenthet, hanem jelentősen hozzájárulhat a biztonság növeléséhez is, mivel a kezeléseket pontosan, célzottan és kis mennyiségű vegyszerrel végezhetők el. Jelen dolgozat célja annak bemutatása, hogy a drónos, precíziós gyomirtási technológia miként kínálhat modern, költséghatékony és fenntartható

megoldást a vasúti átjárók rálátási háromszögeinek karbantartására, különös tekintettel a Kecskemét–Lakitelek vasútvonal sajátosságaira, valamint arra, hogy az ilyen beavatkozások miként járulhatnak hozzá a vasúti közlekedés biztonságának növeléséhez és a fenntartási folyamatok hatékonyabb szervezéséhez.

1 Szakirodalmi áttekintés

A vasúti és közúti közlekedés találkozási pontjai, a szintbeni vasúti átjárók, kiemelt kockázatú helyszínek a közlekedésbiztonság szempontjából. A statisztikák szerint az átjárós balesetek túlnyomó többsége emberi hibára vezethető vissza, de a rossz látási viszonyok gyakran hozzájárulnak a járművezetők hibás döntéseihez. A biztonság érdekében az ún. "rálátási háromszög" területét szabadon kell tartani a növényzettől és egyéb látást akadályozó tereptárgyaktól. Ez a háromszög az út és a vasúti pálya tengelye mentén meghatározott térség, amely biztosítja, hogy a közúti járművezető időben észrevegye a közeledő vonatot (és viszont) még a vasúti átjáró előtt sinekvilaga.hu. A megfelelő rálátás hiánya közvetlen baleseti veszélyt jelent, különösen fénysorompó nélküli (csak táblával jelzett) átjáróknál, hiszen gyakran a terep vagy az épített környezet mellett a túlburjánzott növényzet korlátozza a kilátást. Még működő fényjelző esetén is fokozza a biztonságot, ha a járművezető szabad szemmel is észlelheti a közeledő vonatot, nem csupán a jelzésre hagyatkozva. A magyar előírások hagyományosan igen nagy kiterjedésű rálátási háromszög folyamatos tisztántartását írják elő, amit a karbantartási kapacitások szűkössége miatt gyakorlatban alig lehet maradéktalanul megvalósítani. Ez azt eredményezi, hogy a vasúti átjárók környezetében a növényzet gyakran túlnő a megengedett szinten, rontva a beláthatóságot. A probléma megoldása tudományos megközelítést igényel: kutatások indokoltak annak meghatározására, mekkora terület szükséges ténylegesen gyommentesen tartani a mai forgalmi és műszaki viszonyok mellett, illetve milyen új módszerekkel lehet ezt hatékonyan és fenntarthatóan biztosítani. Jelen irodalmi áttekintés ennek fényében vizsgálja a vasúti pályák növényzetkezelésének hagyományos és modern megoldásait, különös tekintettel a drónos precíziós gyomirtás lehetőségeire.

1.1 A vasúti gyomirtás hagyományos módszerei és új tendenciák

A vasúti pályák mentén a nemkívánatos növényzet (gyomok, cserjék, fák) eltávolítása régóta a pályafenntartás része. Hagyományosan kézi kaszálással, bozótirtással és mechanikus eszközökkel (például vágánymelletti fűnyírókkal, cserjevágókkal) próbálták kordában tartani a növényzetet. Ez azonban rendkívül munka- és időigényes, és gyakran kevésbé hatékony: a tapasztalatok szerint a pusztán mechanikus irtás után a növényzet még erősebben nő vissza. Az Alaszkai Vasút (ARRC) például 1983 és 2009 között főleg kézi és gépi módszerekkel küzdött a gyomok ellen, de a hosszú nyári nappalok miatti intenzív növekedés folyamatosan túlnőtt a kapacitásaikon – lényegében egyre jobban lemaradtak a gyomok elleni harcban. E tapasztalatok

vezettek el a vegyszeres gyomirtás engedélyeztetéséhez és bevezetéséhez: a gyomirtó herbicidek használata fordulópontot jelentett, mert integrált megközelítéssel sokkal hatékonyabbá tette a növényzetkezelést (Deutsche Bahn, 2019).

A vegyszeres gyomirtás lényege, hogy a permetezett herbicid előli a célzott növényeket, meggátolva az újbóli kihajtást. Így tartósabb hatást lehet elérni, mint az ismételt kaszálással, ami inkább serkenti az újra hajtást. Ráadásul a permetezés költséghatékonyabb is: egyes elemzések szerint kezdetben 3–4-szer olcsóbb a vegyszeres kezelés, mint a kizárólag gépi irtás, és hosszú távon a szelektív herbicidek alkalmazása csökkenti a szükséges beavatkozások számát. Emiatt a nagyvasutaknál világszerte elterjedté vált az integrált növényzetkezelés: ahol először a durva bozót- és cserjenövekedést gépi úton eltávolítják, majd évente egyszer herbicides permetezést végeznek a visszanövő lágyszárú gyomok ellen. E “vágás + permetezés” kombináció biztosítja, hogy a pálya menti cserjés-fás vegetáció ne záródjon vissza, a gyomok pedig ne újuljanak ki, hiszen a permetezés megakadályozza a frissen vágott növények újra hajtását. Például a Norfolk Southern vasúttársaság már több éve alkalmaz ilyen vágás utáni éves permetezést, és a CSX is nemrég kezdte el ezt a gyakorlatot a vonalhálózatán. Az USA-ban specializálódott vállalkozók jelentek meg: hi-rail (kétüzemű) járművekkel és permetező vonatokkal járják be a pályákat, szükség szerint szelektív permetezést végezve. A szelektív gyomirtás azt jelenti, hogy csak a problémás növényfajokra és területekre juttatnak ki szert, elkerülve a natív, alacsony növésű növényzet károsítását. Ennek révén az évek során stabil, alacsony növésű növényközösség alakulhat ki a pálya mentén, ami természetes gátat szab a magas gyomok terjedésének, javítva a pálya állapotát és a kilátást. Emellett a vegyszerköltségek optimalizálása is cél: az újabb technológiák (például gépi látás és zónavezérelt permetezés) lehetővé teszik, hogy csak oda és annyit permetezzenek, ahol és amennyit szükséges (Asplundh et al., 2018). Az Asplundh cég által kifejlesztett Chlorovision rendszer például valós időben ismeri fel a gyomokat és 9 külön vezérelhető fűvókázónával csak a gyomfoltokra juttat ki szert, akár 30 mérföld/óra (~48 km/h) sebességű haladás közben is. Ilyen precíziós technológia segítségével akár éjszaka, sötétben is lehet permetezni, mivel a rendszer kamerái és szenzorai önműködően azonosítják a célnövényeket, így a karbantartás kevésbé függ az időjárástól és a napszaktól. Fontos megjegyezni, hogy a látási háromszögek tisztán tartására az amerikai vasutak már külön figyelmet fordítanak: több nagy vasúttársaság is megrendeli a szelektív növényzetirtást a kritikus átjáróknál, kifejezetten a közúti járművezetők kilátásának javítása érdekében (Norfolk Southern, 2022).

Európában – elsősorban környezetvédelmi megfontolások miatt – szintén változóban vannak a gyomirtási stratégiák. Németországban a Deutsche Bahn 2019-ben bejelentette, hogy

fokozatosan kivezeti a glifozát hatóanyagú gyomirtók használatát: addig évente mintegy 63 000 vágánykilométert (a teljes hálózat ~90%-át) kezelték egyszer glifozáttal, mintegy 1 kg vegyszert juttatva ki vágánykilométerenként. A közfelháborodás és az EU várható tiltása miatt 2020-tól felére csökkentik a felhasznált glifozát mennyiségét, és nagyobb arányban térnek át mechanikus gyomirtásra (kézi és gépi kaszálásra) a sínek mentén (Asplundh Environmental Services. 2018). Emellett intenzív kutatás-fejlesztés zajlik alternatív módszerek terén: a DB kísérletezett forró vizes gyomirtással, elektromos áramütéssel, UV-fénnyel, sőt gőzzel, mikrohullámmal és nagyfrekvenciás energiával is a gyomok ellen. E technikák közül több azonban túl lassúnak vagy energiaigényesnek bizonyult nagy területen alkalmazva. A vegyszermentes megoldások keresése mégis prioritás, hiszen 2023-tól a DB teljesen leállította a glifozát használatát. A jövőben várhatóan kombinált stratégiák jönnek: ahol lehetséges, mechanikus és termikus irtás, máshol kevésbé ártalmas herbicidek szelektív kijuttatása – és felmerült a precíziós drónos permetezés lehetősége is (Railscape Ltd. 2023).

Nemzetközi szinten is megjelentek a drónok a növényvédelemben, de a vasúti alkalmazás még gyerekcipőben jár. Nagy-Britanniában 2023-ban indult az első olyan hivatalos kísérlet, melynek keretében drónnal permeteznek gyomirtót a vasúti infrastruktúra mentén. A brit munkaügyi és biztonsági hatóság (HSE) engedélyezte, hogy egy Railscape Ltd. által fejlesztett drón hidakat, alagutakat, viaduktokat övező meredek rézsűkön és nehezen megközelíthető helyeken permetezzen gyomirtószert. A cél az, hogy a korábban emberi erővel, sokszor veszélyes körülmények között (magasban dolgozva, éjszakai vágányzárak idején) végzett munkát a drón váltsa ki. Az első tapasztalatok szerint a megfelelően alkalmazott drónos permetezés biztonságosabb és gazdaságosabb lehet, mint a hagyományos módszerek – kevesebb emberi kitettséget igényel, és csökkenti a környezeti terhelést is. A drón pontosan azokra a pontokra juttatja el a permetlevet, ahová kell, elkerülve a felesleges szórást. Ezek a fejlemények azt mutatják, hogy a precíziós gyomirtás – kevesebb vegszerrel, célzott beavatkozásokkal – a vasúti növényzetkezelés jövője lehet. Különösen a vasúti átjárók rálátási háromszögeiben merül fel ennek ígérete, hiszen a drónos technológia révén akár vágányzár nélkül, rugalmasan is elvégezhető a gyomirtás a forgalom zavarása nélkül. (Alaska Railroad Corporation, ARRC, 2009.)

1.2 A drónok típusai és alkalmazási területei a növényvédelemben

A pilóta nélküli légi járművek (UAV vagy UAS, köznyelven drónok) számtalan formában és méretben léteznek. A mezőgazdaságban – és tágabban a növényvédelemben – jellemzően két

fő funkció szerint csoportosítjuk őket: vannak felderítő/megfigyelő drónok és permetező drónok. Előbbiek kamerákkal és szenzorokkal felszerelt eszközök, melyek a területek állapotának felmérésére, térképezésére szolgálnak, míg az utóbbiak speciális szóróberendezéssel ellátott, folyadék kijuttatására alkalmas drónok (Asplundh Environmental Services, 2018.).

Technikai felépítésük szerint a drónok lehetnek multirotoros (forgószárnyas, pl. quadkopter, hexakopter), merevszárnyú (repülőgépszerű) vagy hibrid kialakításúak. A multirotoros drónok (kopterek) kiválóan manőverezhetők kisebb területeken: képesek helyből fel- és leszállni, egyhelyben lebegni, így pontos “szemlézésre” és célzott permetezésre is alkalmasak. Hátrányuk a korlátozott repülési idő (jellemzően 15–30 perc egy töltéssel), mivel a rotorok folyamatos energiát igényelnek a lebegéshez. A merevszárnyú drónok ezzel szemben repülőgépként siklanak, ezáltal lényegesen hosszabb ideig képesek a levegőben maradni (akár 1-2 órát is) és nagy területeket lefedni, viszont leszálláshoz kifutót vagy speciális eljárást igényelnek, és nem tudnak egy pontra koncentrálni hosszasan. A precíziós mezőgazdaságban mindkét típust alkalmazzák: a felderítő drónok között vannak kis méretű quadkopterek és nagy hatótávolságú fix szárnyú drónok is, attól függően, mekkora területet kell felmérni. A permetező drónok szinte kizárólag multirotor platformra épülnek, hiszen a permetezéshez szükséges a stabil lebegés és a kis sebességű, kontrollált mozgás (Railscape Ltd., 2023.).

Felderítő drónok (megfigyelő drónok): Ezek a drónok elsődleges feladata az adagyűjtés – szemükként szolgálnak a gazdálkodóknak vagy pályafenntartóknak. Nagy felbontású kameráik segítségével ortofotókat (ortorekifikált térképhelyes légifelvételeket) készítenek, videófelvételekkel dokumentálják a terület állapotát, vagy speciális szenzorokkal (multispektrális, hőkamera stb.) információt gyűjtenek a növényzetről. A mezőgazdaságban egy tipikus felderítő drónnal NDVI (Normalizált Differenciált Vegetációs Index) vagy más vegetációs index térképeket is lehet készíteni, amelyek megmutatják a növényzet egészségi állapotát, gyomborítottságát. Ezen információk alapján pontos kezelési tervek dolgozhatók ki – például foltszerű gyomirtás, differenciált tápanyag-utánpótlás, vagy éppen a vasúti átjáróknál a gyomirtandó foltok kijelölése. A felderítő drónok jellemzően kis vagy közepes méretű eszközök. Például a DJI Mavic 3 Enterprise (M3E) egy kompakt quadkopter, amely kifejezetten ipari felhasználásra (térképezésre, felügyeletre) készült. A Mavic 3E 4/3 colos CMOS kamerával rendelkezik mechanikus zárral (ez fontos a térképezésnél, mert kiküszöböli a gördülő zár miatti torzítást), emellett 56×-os hibrid zoom kamerával is el van látva a részletek megfigyelésére. Továbbá opcionális RTK modult kínál, amellyel centiméter pontosságú helymeghatározás érhető el a drón számára – vagyis a készített ortofotók és térképek is

centiméteres pontossággal illeszthetők a koordinátarendszerbe. Repülési ideje egy feltöltéssel elérheti a 40-45 percet is ideális körülmények között, ami az akkumulátor-technológia fejlődésének köszönhetően kimagasló egy ekkora drón esetében. Mindezen tulajdonságai révén a Mavic 3 Enterprise és társai rendkívül hasznosak a vasút menti precíziós felmérésekben: gyorsan áttekinthető “madártávlatból” a terület, a kapott ortofotókon centiméteres pontossággal azonosíthatók a gyommal benőtt foltok, az akadályok (pl. belógó faágak), vagy akár a pályát veszélyeztető elhajló fák is. A drónnal készített felvételek időbélyeggel és GPS-koordinátával ellátva eltárolhatók, így a kezelések előtt és után összehasonlítható a terület állapota (dokumentálható a beavatkozás hatása). Összességében a felderítő drónok növelik a beavatkozások hatékonyságát, mert pontos információt szolgáltatnak arról, hova kell valóban beavatkozni, és lehetővé teszik a beavatkozások eredményének objektív kiértékelését is. (Asplundh Environmental Services, 2018.)

1.3 A permetező drónok

A permetező drónok kifejezetten növényvédelmi szerek és egyéb folyékony készítmények kijuttatására tervezett eszközök. Több rotoros felépítésük stabil repülést tesz lehetővé, akár jelentős tömegű hasznos teherrel is. A korszerű mezőgazdasági permetező drónok 10–30 liter közötti tartálykapacitással bírnak. Például a DJI Agras T30 típusa (1. ábra) – amit a vasúti gyomirtási kísérletekben is alkalmaztam – 30 liter permetlével repül, 16 szórófejjel és RTK alapú önvezető képességgel rendelkezik (DJI Agriculture, 2024.).



1. ábra DJI AGRAS T30 permetező drón, forrás: dron.hrp.hu

Bár egy 30 literes tartály eltöprel egy hagyományos traktorvontatású permetezőgépe akár 2000–3000 literes tartályához képest, a drónok esetében ez nem hátrány, mivel sokkal precízebben és kevesebb veszendőbe menő permetszerrel dolgoznak. Egyrészt a legújabb

technológiák – mint a szabályozott cseppméretű permetezés (CDA) – révén a kijuttatott permetszer nagyobb hányada tapad meg a célfelületen, kevesebb jut a levegőbe vagy a talajra feleslegesen. A drónok speciális fűvókái és szivattyúrendszere biztosítja, hogy egyenletes, optimalizált méretű cseppek keletkezzenek, amelyek kevésbé sodródnak el szélben, és hatékonyabban borítják a gyomnövények levelét. Másrészt a permetező drónok szenzorokkal “látják” a növényzetet, és csak ott nyitják meg a szórófejeket, ahol ténylegesen kezelendő növény van – így kihagyják az üres foltokat vagy a nem célnövényzetet, minimalizálva a vegyszerpazarlást és a környezeti terhelést. Mivel a drón előre betáplált útvonalterv mentén, automatikusan repül, a kezelési sávokat centiméter pontossággal képes követni és minden egyes négyzetméteren az előírt dózist juttatja ki. Ennek fontos következménye, hogy a korábbi túladagolások vagy kezeletlen foltok kiküszöbölhetők. A permetező drónok további előnye a rugalmasságuk: gyorsan áttelepíthetők egyik helyszínről a másikra. Egy DJI Agras permetező drón munka közben – rotorjai segítségével lebegve juttatja ki a gyomirtó permetlevet a célterületre. A drónok összezsukható vázzal rendelkeznek, személyautóval vagy kisteherautóval is szállíthatók, és a helyszínen néhány percen belül üzemkész állapotba hozhatók. Nincs szükség hosszadalmas beállításokra: az akkumulátorok cseréje, a tartály töltése és az előre elkészített repülési terv betöltése után a drón egy gombnyomásra elindul és elvégzi a munkát. Egyetlen kezelő több drónt is felügyelhet, így munkaerő-igényük alacsony, összevetve a kézi vagy gépi gyomirtással. Mivel a drón a levegőből dolgozik, nincs talajtaposási kár (nem sérül a pálya menti talaj a nehézgépektől), és nem jelent gondot a felázott talaj vagy a meredek domboldal sem. A drón elér olyan területeket is (akár a sínek közötti sávot vagy a meredek töltésoldalt), amit a hagyományos gépekkel nem lehet megközelíteni – ráadásul mindezt anélkül, hogy a vasúti pályát le kellene zárni. A permetező drón független a vasúti járművektől, a pályán kívülről felszállva is képes a vágány mentén repülni, így forgalomszünet sem feltétlenül kell a használatához. Ez óriási előny a vasúti üzem szempontjából: a gyomirtás beilleszthető a menetrendbe, például két vonat között elvégezhető egy-egy átjáró kezelése, amikor épp nincs a közelben szerelvény. A drónos technológia alkalmazásával tehát elkerülhető a vágányzár miatti kiesés és a bonyolult engedélyeztetés, ami eddig minden vegyszeres permetezést kísért (Fazekas, I., és Harsányi, G., 2021.).

1.4 Hatékonyság és cseppképzés, sodródás

A permetező drónok hatásfoka nagyban múlik a megfelelő cseppméret és repülési paraméterek beállításán. A drónok cseppképzése szabályozható: a fűvókák olyan apró cseppeket hoznak

létre, amelyek optimális kompromisszumot jelentenek a fedettség és a sodródási hajlam között. A túl nagy cseppek leperereghetnek a levelekről, a túl kicsik viszont elsodródhatnak a szélben. A CDA technológia lényege, hogy egységes, ideális méretű cseppeket állít elő, így a permetfelhő jobban “beleül” a célzott növényzetbe, kevesebb jut belőle mellé. A sodródás minimalizálása kulcsfontosságú nemcsak a hatékonyság, hanem a környezet védelme miatt is. A nemzetközi szabványok (pl. ISO 22866:2005) külön eljárásrendet adnak a szabadföldi permetlé-sodródás mérésére és csökkentésére. A drónos permetezés során ennek megfelelően szigorú korlátozások érvényesek: általában legfeljebb 3 m magasan repül a drón permetezés közben, és csak kedvező időjárási körülmények között (például 5 m/s alatti szélben) dolgozik, így a keletkező permetfelhő nem juthat messzire. A rotorok lefele irányuló légárama is segíti a cseppek lesodrását a célfelületre. A megfelelő cseppméret és alacsony repülési magasság kombinációjával a drón permetezési vesztesége minimálisra csökkenthető. Kutatások kimutatták, hogy a talajt takaró mulcs vagy növényi törmelék hasonlóan fontos: a visszahagyott növényi maradványok mulcsként megakadályozzák sok gyommag kicsírázását azáltal, hogy nem engedik a napfényt a talajfelszínre, és segítenek megőrizni a talaj nedvességét is. Tehát a drónos technológia akkor a leghatékonyabb, ha jó előzetes mechanikai előkészítéssel párosul – azaz a kezelendő területen előbb a nagyobb bokrokat, fásszárúakat eltávolítják (szükség esetén mulcsozzák), és a drón már egy viszonylag alacsony, lágyszárú gyomfelületre tudja kijuttatni a vegyszert. Ilyenkor érhető el, hogy a permet szinte minden gyomnövényre rátapadjon, és teljes pusztulást eredményezzen. Ha elmarad az előkészítés, a túl magas vagy sűrű növényzet “felfoghatja” a permet egy részét – a sűrű lombkorona alatt árnyékszónák alakulhatnak ki, ahol a gyomok életben maradnak (ezt saját kísérletek is alátámasztják, és ismételt beavatkozást tehetnek szükségessé). Összefoglalva: a drónok cseppképzési technológiája és precíz vezérlése lehetővé teszi a gyomirtó szerek célzott, minimális veszteségű kijuttatását, de a maximális hatás érdekében fontos a terület megfelelő előkészítése és a kezelések szakszerű időzítése (DJI Agriculture, 2024.).

1.5 Ortofotó és digitális terepmodell szerepe a precíziós növényzetkezelésben

A precíziós gyomirtás alapját a pontos térképi adatok adják. Az ortofotó olyan légifénykép, amely mértani pontosságú, tehát térképészeti célra közvetlenül használható. Készítése során a nyers légi felvételekből szoftveresen eltávolítják a perspektivikus torzulásokat és a domborzat miatti elcsúszásokat, így az ortofotón minden objektum felülnézetben, torzulásmentesen

látszik. Ez azt jelenti, hogy az ortofotón akár távolságokat, területeket is lehet mérni, ugyanúgy, mint egy térképen – lényegében fénykép és térkép egyben. Az ortofotók készülhetnek hagyományos repülőgépről vagy drónról; utóbbi előnye, hogy rendkívül nagy felbontás érhető el (néhány centiméteres pixelméret), és tetszőlegesen frissíthető az adat, akár naponta is egy területről. A vasúti gyomirtásnál az ortofotó óriási segítség: egy drónnal gyorsan lefotózható az átjáró környéke, és az ortofotón pontosan kirajzolódik, hol találhatók gyomborítású foltok, milyen kiterjedésű a kezelendő terület. A precíziós mezőgazdaság forradalma is nagyrészt az ortofotók elérhetőségének köszönhető – a drónokkal vagy repülőkkel készített nagyfelbontású ortofotók lehetővé teszik a táblák, területek gyors és precíz elemzését, amire korábban nem volt mód. Az ortofotók alapján ún. shapefile térképi rétegek állíthatók elő, amelyek megadják például a gyommal borított foltok körvonalait. Ezeket a digitális térképi fájlokat aztán be lehet tölteni a permetező drón útvonaltervező szoftverébe, így a drón automatikusan csak a kijelölt zónákat permetezi le. Ezzel elkerülhető az, hogy feleslegesen nagy terület legyen kezelve – a drón az ortofotó alapján készített “kezelési térképet” követi. Az ortofotó emellett dokumentációs célra is kiváló: a kezelés előtt és után készített ortofotók összevetésével ellenőrizhető a beavatkozás eredménye, és akár jogi vagy elszámolási esetekben is bizonyító erejű lehet (pl. igazolja, hogy a kezelést elvégezték a szerződés szerinti területen). Összességében az ortofotó a precíziós növényzetkezelés alapadatát adja – nélküle a drónos gyomirtás nem lenne ennyire pontosan tervezhető és nyomon követhető. (Tóth, D., és Székely, Á., 2022.).

A digitális terepmodell (DTM) a másik fontos adattermék, amelyet a drónos felmérések nyújtani tudnak. A digitális terepmodell a földfelszín csupasz (növényzet és épületek nélküli) domborzatát írja le matematikailag, rendszerint rácspontok vagy háromszögháló (TIN) formájában. A DTM tulajdonképpen egy “virtuális földfelszín”, amely minden pontban megadja a magasságot tengerszint felett – ez elengedhetetlen például az ortofotók előállításához is, hiszen a domborzati torzítást e modell alapján korrigálja a szoftver. A vasúti alkalmazás szempontjából a DTM önmagában is értékes: megmutatja a pálya menti töltések, bevágások geometriáját, a vízelvezető árkok esésviszonyait stb. A mezőgazdaságban a DTM-et sokrétűen használják, például: lejtés- és kitettség elemzésre (milyen meredek és mely égtáj felé néz egy domboldal – ez alapján eldönthető, alkalmas-e mondjuk szőlőművelésre), vízgyűjtő területek és pangó vizes foltok azonosítására (hol gyűlik össze az esővíz, hol kell esetleg dréncsövezni vagy más vízrendezést megoldani), vagy akár precíziós öntözőrendszerek tervezésére. Egy vasúti átjárónál a DTM segítségével modellezni lehet, hogy a közút lejtése és a vasút töltése milyen látási viszonyokat eredményez – például domborzati okból adódhatnak vakfoltok,

amiket esetleg még intenzívebben kell gyéríteni. Továbbá a permetező drón repülési magasságát is a terepmodell alapján lehet dinamikusan állítani: a drón követheti a töltés vagy bevágás profilját, így mindig optimális magasságban marad a növényzet felett, garantálva az egyenletes kijuttatást. A DTM 1 m alatti függőleges pontossággal is előállítható megfelelő módszerrel (például RTK drónfelméréssel vagy LiDAR-ral), ami bőven elegendő a növényvédelmi tervezéshez. Összességében a digitális terepmodell a precíziós beavatkozások háttér-infrastruktúrája: támogatja a döntéshozatalt (hol van szükség beavatkozásra a domborzat miatt), és pontosbbá teszi a drón működését is (magasságtartás, permetlé mennyiség számítás a lejtés függvényében stb.) (Szabó, B., 2020.).

1.6 Az előkészítő munkálatok szerepe a vasúti gyomirtásban

A drónos, precíziós gyomirtás hatásfoka döntően azon múlik, mennyire gondos az előkészítés a kezelések előtt. A vasúti átjárók környezetében a rálátási háromszögekben gyakran mozaikos szerkezetű a vegetáció: lágyszárú gyomok mellett sarjdzó cserjék és belógó faágak is jelen vannak, amelyek egyrészt fizikai árnyékolást okoznak, másrészt a felső lombkoronaszintben megtörik a permetfelhőt. Az ilyen árnyékszónákban a permetlé lerakódása és a hatóanyag növénybe jutása egyenetlenné válhat, ami foltos visszamaradást, a kezelések után néhány héttel pedig visszahajtást eredményez. Emiatt a beavatkozás első lépése jellemzően a durva, fás-sarjas vagy túlfejlett lágyszárú biomassza mechanikai visszavágása, amely egységes, alacsonyabb, kezelhető állapotot teremt a célzott kémiai gyérítéshez. A vágott növényi maradványok visszaterítése mulcshatást biztosíthat: csökkenti a talajfelszín felmelegedését, mérsékli a párolgást és több gyomfaj csírázását is gátolja azáltal, hogy a fényhez jutást korlátozza. Az előkészítés során a vízelvezető árkok, átereszek és peremrézsűk megtisztítása szintén kulcsfontosságú, mert a pangó vizes foltok egyrészt a pályaszerkezet állékonyságát rontják, másrészt a sűrű, nitrofil gyomközösségek megtelepedésének kedveznek. Az előkészítő fázishoz tartozik a kezelési térképek digitális frissítése is: a felderítő drónnal készített ortofotók és terepmodell alapján pontosítjuk a kezelési zónák kontúrjait, ezzel elkerülve a felesleges vagy duplikált kijuttatást. A meteorológiai ablak megválasztása az előkészítés integráns eleme, hiszen a drónos kijuttatás csak stabil, mérsékelt szélviszonyok mellett és megfelelő – jellemzően kora délelőtti – hőmérsékleti tartományban biztosít optimális csepplerakódást. A terepi operáció biztonsági protokollja – figyelőőr, vágányzári egyeztetés szükség szerinti alkalmazása, rádiós kapcsolattartás a forgalomirányítással – szintén az előkészítés részének tekinthető, mert a kezelések rugalmassága csak akkor párosulhat üzembiztonsággal, ha a

vasútüzemi kockázatokat előre feltártuk és kezelési tervbe illesztettük. Összességében az előkészítő munkálatok teszik lehetővé, hogy a drónos gyomirtás ne ad hoc beavatkozás, hanem egy finoman hangolt, rövid ciklusokban megismételhető, ellenőrizhető technológiai lánc része legyen. (Kószegi, L., 2019.).

1.7 A drónos kijuttatás környezeti és fenntarthatósági vonatkozásai

A vasúti gyomirtás fenntarthatósága három, egymással összefüggő dimenzióban értelmezhető: a vegyszerhasználat optimalizálása, a nem célszervezetek és élőhelyek védelme, valamint a kezelések ökológiai lábnyomának csökkentése. A precíziós drónos technológia mindhárom területen kézzelfogható előnyt biztosít. A szelektív, térképalapú kijuttatás révén a kezelt felület a tényleges gyomborítottsághoz igazodik, így a hagyományosan „túlfúj” perem- és átmeneti zónák elkerülhetők. A repülés közbeni automatikus szakaszolás és a pályakövetés centiméteres pontossága csökkenti a felesleges átfedéseket, miközben a cseppképzési paraméterek beállítása – a középfinom tartományban tartott cseppátmérő és az alacsony repülési magasság kombinációja – mérsékli az elsodródás kockázatát. A célfelülethez idomított kijuttatás egyben a környező nem célnövényzeti foltok és az élőhelyi mikrostruktúrák kíméletét is eredményezi: a digitálisan kijelölt, rálátást biztosító sávok kezelésre kerülnek, míg a közvetlen érintettség kívüli mozaikok érintetlenek maradnak, ami hosszabb távon heterogénebb, ökológiailag stabilabb sávvegetáció kialakulásának kedvez. A kisebb vízigényű permetlé mennyiség és a célzott dóziskontroll a kezelések anyag- és energiafelhasználását is csökkenti, különösen akkor, ha a kezelési ciklusok a gyomfenológia kritikus pontjaihoz időzítve, rövid, hatásos megismétlésekkel történnek a szezonban. A fenntarthatóság ugyanakkor nem kizárólag vegyszer- és területgazdálkodási kérdés: a munkavédelmi kitettség csökkenése – vagyis az, hogy a kezelőszemélyzet a forgalmi zónától fizikailag távolabb dolgozik, és közvetlen permetszer-expozíciója alacsonyabb – társadalmi szempontból is előnyös. Végül a dokumentált, visszakövethető digitális naplózás – repülési útvonal, időbélyeg, területazonosító és kijuttatási paraméterek – a jogszabályi megfelelés és a környezetvédelmi auditálhatóság fontos pillére: a kezelések hatása az ortofotós ismételt felmérések alapján mennyiségileg is igazolható, az esetleges nemkívánatos hatások pedig célzottan azonosíthatók és korrigálhatók. A drónos technológia értéke messze túlmutat a pillanatnyi gyomirtáson: a felderítő repülésekből származó, térben és időben szervezett adatok a vasúti pályafenntartás digitális gerincét adják. A nagyfelbontású ortofotók ismételt előállítására olyan idősorokat eredményez, amelyekből a növényzeti mintázatok szezonális és évenkénti dinamikája kiolvasható, és a rálátási

háromszögek állapota objektíven nyomon követhető. A digitális terepmodellek bevonásával a gyomosodás térbeli mintázata a domborzati és vízelvezetési viszonyokkal összekapcsolva is elemezhető, ami előfeltétele a beavatkozási prioritások hatékony meghatározásának. A kezelési térképek és a repülési naplók egységes, GIS-alapú tárolása lehetővé teszi, hogy a gyomosodási gócpontok azonosítása és prognózisa statisztikai alapokra helyeződjön, ezzel a karbantartás a reaktív szemlélet helyett fokozatosan prediktív üzemmódba váltsón. A vasúti környezet sajátossága, hogy a gyommentesítésen túl számos, biztonság szempontjából kritikus jelenség észlelhető a légifelvételeken: a belógó faágak és a dőlésveszélyes egyedke korai felismerése, az illegális hulladéklerakások feltérképezése, az árok eliszapolódás és a rézsűkárók beazonosítása mind olyan kiegészítő hozadék, amely a drónos rendszert komplex monitoringeszközzé emeli. A dokumentáltság bizonyító ereje – időbélyeg, GPS-koordináta, repülési metaadat – a vasúti üzemeltetés átláthatóságát növeli, és a beavatkozások minőségbiztosítását kézzelfoghatóvá teszi. Mindez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a rálátási háromszögek kezelése egy digitális visszacsatolási kör részeként működik: a felderítés pontosítja a kezelést, a kezelés után pedig a megismételt felderítés visszaigazolja az eredményt, amelyet a következő ciklus tervezésekor már figyelembe veszünk. Az így felépülő, többéves adatrendszer a fenntartható vasúti növényzetgazdálkodás alapja, mert a döntések nem eseti megfigyelésekre, hanem mérhető, térben-időben konzisztens információkra támaszkodnak, és ez a minőség a későbbi technológiai bővítések – például gépi tanulás alapú gyomfelismerés vagy automatikus dózisszabályozás – bevezetésének is kedvez (Kőszegi, L., 2019.).

2 Kutatási célkitűzések és módszertan

A kutatás célja, hogy feltárja, a drónos gyomirtási technológia milyen mértékben képes kiváltani a hagyományosan végzett kézi vagy motoros kaszálást a vasúti átjárók rálátási területeinek karbantartásában, különös tekintettel a kezelések hatékonyságára, gyorsaságára, költségvonzataira és környezetvédelmi hatásaira. A vizsgálat alapját a Kecskemét–Lakitelek 145-ös vasútvonal több átjárójában végzett gyakorlati tapasztalatok adják, ahol a különböző karbantartási módszerek összehasonlítható módon kerültek alkalmazásra. A cél az volt, hogy megállapítható legyen, a modern, precíziós növényvédelmi drónok mennyiben alkalmasak a gyomos, elbokrosodott területek kezelésére úgy, hogy közben csökkentik a humán munkaerő-szükségletet, a kezelési időt és a vegyszerfelhasználást. A kutatás során három fő irányelv mentén történik az összehasonlítás. Az első a rálátási területek általános gyommentesítése, ahol a cél a drónos technológia alkalmazhatóságának vizsgálata a kaszálás kiváltására. A második irányelv a kivágott és lezúzott cserjék sarjhajtásainak drónos kezelése, amelynek célja annak megállapítása, hogy a drónos permetezés képes-e hatékonyan megakadályozni a visszánövekedést, ezzel csökkentve a karbantartási ciklusok számát. A harmadik irányelv a vasúti töltésen visszaterített mulcsréteg szerepének vizsgálata, amely a talaj takarásával és nedvességmegtartó hatásával hozzájárulhat az újrasarjadás megelőzéséhez, miközben csökkenti a gyomirtó szerek szükséges mennyiségét és a környezetterhelést. A módszertan ennek megfelelően kísérleti és megfigyeléses elemeket is tartalmaz. A terepi vizsgálatok során több átjáróban párhuzamosan történt a hagyományos kaszálás és a drónos gyomirtás, majd a kezelések hatékonyságát vizuálisan és vegetációs borítottsági szint alapján mértük. Ezen túlmenően dokumentálásra került a kezelések idő- és munkaerőigénye, a kijuttatott vegyszer mennyisége, valamint a kezelések után vissza növő növényzet típusa és intenzitása. A kapott eredmények értékelése lehetőséget ad arra, hogy a drónos növényvédelem gazdasági, technológiai és környezeti szempontból is összevethető legyen a jelenleg alkalmazott kézi kaszálási gyakorlattal. A vizsgálat során kiemelt figyelmet kap a környezetkímélő megoldások alkalmazása, a szelektív gyomirtó szerek pontos kijuttatása és az élővilág védelme, mivel a cél nem csupán a gyommentesség elérése, hanem a fenntartható és biztonságos pályakörnyezet megőrzése is.

A gyommentesítés hagyományos, kézi erővel történő elvégzése átjárónként többórás, alapos előkészítést, logisztikai szervezést és eszközkézeltést igénylő feladat, amelyet az éves munkatervben nehéz előre pontosan ütemezni. A Kecskeméti Pályafenntartási Főnökség a rendelkezésre álló élőerős kapacitások mellett ugyan idegenfeles vállalkozókat is bevon a

munkába, ezeknek a megbízásoknak azonban magas a költsége, és csak időszakosan biztosítható a rendelkezésre állásuk. Ezzel szemben a drónos gyomirtás új lehetőséget kínál a rálátási háromszögek gyors, pontos és minimális emberi közreműködéssel történő kezelésére. A kísérlet során a gyomirtás nem egyetlen ponton, hanem a Kecskemét és Lakitelek közötti teljes vonalszakaszon több átjáróban valósult meg, ami lehetőséget adott különböző elhelyezkedésű, forgalmú és vegetációs viszonyú helyszínek összehasonlítására. A drónos gyomirtási technológia kipróbálása a MÁV Zrt. 145. számú vasútvonalán zajlott, azzal a céllal, hogy felmérjük, mennyire alkalmas ez a modern módszer a vasúti átjárók rálátási területeinek célzott és költséghatékony gyommentesítésére, miközben csökken az emberi erőforrás-igény és az infrastrukturális terhelés. A vizsgálat kiterjedt továbbá a kivágott és lezúzott cserjék sarjhajtásainak drónos kezelésére és a mulcsozási technológia tesztelésére is, amelyek jelenleg is folyamatban vannak, és 2025 őszén, illetve 2026 tavaszán kerülnek folytatásra. E kísérletek célja, hogy hosszabb távon bizonyítsák: a precíziós drónos növényvédelem nemcsak a gyommentesítésben, hanem a visszanövekedés megakadályozásában és a környezetkímélő fenntartási gyakorlat kialakításában is hatékony alternatívát kínálhat a hagyományos kézi kaszálás mellett, illetve annak helyett.

2.1 Célkitűzés

A kutatás három fő irányvonalra épült.

- Az első célkitűzés a rálátási területek gyommentesítésére fókuszált, vagyis annak meghatározására, hogy a drónos gyomirtási technológia milyen hatékonysággal képes kiváltani a hagyományos kaszálást.
- A második a kivágott és lezúzott cserjék sarjhajtásainak szelektív, drónos kezelésére irányult, amely a visszanövekedés megakadályozásával hosszabb távon csökkentheti a fenntartási ciklusok számát.
- A harmadik irányvonal a mulcsozás gyomelnyomó hatását vizsgálja.

A sarjhajtásos és mulcsozási kísérletek jelenleg előkészítési fázisban vannak, terepi folytatásuk 2025 őszén és 2026 tavaszán várható. A vizsgálatok a MÁV Zrt. 145. számú, Kecskemét–Lakitelek közötti vasútvonal több közúti átjárójában zajlottak. A területeket a forgalom, a növényzet sűrűsége és a töltés adottságai alapján választottuk ki.

A kézi kaszálásos kontrollterületeken motoros fűkaszát alkalmaztunk, két fős kezelőszeméllyel, átlagosan három–négy órás munkaidővel átjárónként. A drónos kezelés

átlagos ideje 10–15 perc volt, amely a teljes rálátási háromszög lefedését biztosította. A kezelések hatékonyságát vizuális megfigyeléssel és fotódokumentációval értékeltük, a vegetáció borítottságát 1×1 méteres mintanégyzetekben becsültük. A kezelések időigényét, a kijuttatott hatóanyag mennyiségét és a munkaerő-szükségletet minden esetben naplóztuk. A kutatás módszertanának része volt a környezeti feltételek rögzítése és az elsodródás minimalizálása. A repülésekhez előzetes meteorológiai méréseket végeztünk (szélirány, hőmérséklet, páratartalom), mivel ezek közvetlenül befolyásolják a permetcsepp viselkedését. A vizsgálat során alkalmazott permetezési paraméterek megfeleltek a Nébih által közzétett drónos növényvédelmi útmutató előírásainak, amelyek 2023-tól határozzák meg a technológia alkalmazási feltételeit. A kísérletek engedélyezése és végrehajtása során figyelembe vettük az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) által kiadott, az UAS-eszközökre vonatkozó 2019/947-es rendeletet és annak 2025-ös frissített „Specific Category” útmutatóját (EASA, 2025). A vizsgálatokhoz kapcsolódóan részletes költség- és időfelvétel is készült. A drónos kezelések esetében a fajlagos költség számítása tartalmazta a pilóta munkaidejét, a növényvédelmi szakirányító közreműködését, a permetlé- és akkumulátorköltséget, valamint a drón amortizációját. A kézi kaszálás esetében a költségszámítás a munkaerő-ráfordításon túl a gépek üzem- és karbantartási költségeit is magába foglalta. A mérések célja annak igazolása volt, hogy a drónos technológia hosszú távon csökkenti az emberi munkaterhelést, miközben pontosabb, környezetkímélőbb és költséghatékonyabb fenntartást tesz lehetővé. A vizsgálat során a növényborítottság változását és a gyom visszánövés ütemét is rögzítettük. A drónos kezeléseket követően 14 és 28 nappal végeztünk utómérést, majd a 2025–2026-os ciklusban további szezonzáró felméréseket tervezünk. A statisztikai feldolgozás a két módszer (kaszálás és drónos gyomirtás) közötti különbségeket leíró statisztikai eszközökkel, valamint t-próbával és variancia-analízissel vizsgálja. A jövőbeli cél az idősoros adatok elemzése, amellyel a drónos beavatkozások hosszú távú hatékonysága számszerűen is értékelhető lesz.

2025. április 12-én valósult meg az első, demonstrációs célú drónos gyomirtási beavatkozás a MÁV 145. számú vasútvonalán, a 140+61-es szelvényzámnál található közúti átjáróban, a Nyárlőrinci vasútállomás térségében. A rálátási háromszögek gyommentesítése során a drón a beprogramozott repülési útvonalat követve egyenletes fedettséget biztosított, így a permetezés vágányzár vagy forgalomkorlátozás nélkül is biztonságosan végrehajtható volt. A technológia demonstrációja során egyértelműen bebizonyosodott, hogy a drón a vasúti környezetben is képes precíz, gyors és környezetkímélő beavatkozásra, miközben jelentősen csökkenti az emberi jelenlét szükségességét a pályaközeli munkavégzés során. A terepi gyomirtási kezelések megkezdése előtt részletes helyszíni felmérést végeztünk, amelyhez egy DJI Mavic 3 Enterprise

típusú felderítő drónt alkalmaztunk. A drón nagyfelbontású, többirányú érzékelőkkel ellátott kamerarendszere és légi térképezési képességei lehetővé tették a rálátási háromszögek pontos azonosítását, valamint a terepviszonyok, a felsővezetékek, a belógó ágak és egyéb fizikai akadályok precíz feltérképezését. A felmérés során készült ortofotók és digitális terepmodell segítségével meghatározhatók voltak a kezelendő zónák határai, a repülési útvonalak és a biztonsági távolságok. Ez az előkészítő lépés a kutatás szempontjából kulcsfontosságúnak bizonyult, mivel megalapozta a drónos növényvédelmi beavatkozások biztonságos és hatékony kivitelezését, valamint biztosította a kísérleti kezelések pontos és reprodukálható végrehajtását a vasúti környezet sajátos feltételei mellett.

2.2 Módszertan

A terepi kezeléseket 2025 júniusában három külön napon végeztem el (június 12., 15. és 21.), melyek során összesen 26 közúti vasúti átjáró rálátási háromszögének célzott gyomirtását hajtottam végre a MÁV 145. számú vasútvonal Kecskemét–Lakitelek szakaszán. A vizsgálatok célja a drónos növényvédelmi technológia alkalmazhatóságának, hatékonyságának és operatív feltételeinek értékelése volt valós üzemi körülmények között. Az első napon (június 12-én) a terepi tapasztalatgyűjtésre helyeztem a hangsúlyt, mivel ilyen típusú drónos gyomirtási beavatkozás korábban még nem történt a vasúti közúti átjárók rálátási területein. Ekkor újra kezeltem a 140+61-es szelvényszámú átjárót is, ahol az áprilisi kijuttatást követően a nyári időszakban intenzív gyom visszánövés volt megfigyelhető. A kezeléseket során folyamatosan rögzítettem a drón repülési paramétereit, sávkövetésének pontosságát, a szélérzékenységet és a kijuttatás fedettségi arányát, hogy a későbbi értékeléshez megbízható műveleti adatok álljanak rendelkezésre.

A második napon (június 15-én) a kezeléseket száma a légtérhasználati korlátozások miatt csökkent. Az érintett szakasz a Kecskeméti Katonai Repülőtér felügyelete alá tartozó légtérter érintette, így az engedélykérelmet a hatályos légiközlekedési előírások szerint kellett benyújtanom és megvárnom az érvényes engedély kiadását. Az adminisztratív folyamat időigényessége miatt ezen a napon négy átjáró kezelésére nyílt lehetőség.

A harmadik napon (június 21-én) a kezeléseket a megszerzett tapasztalatok és engedélyek birtokában gördülékenyen, előzetes ütemterv szerint hajtottam végre. Ekkorra a technológiai paraméterek finomhangolása — mint például a repülési magasság, sebesség és kijuttatási mennyiség — már egységesen, optimalizált beállításokkal történt. A beavatkozások minden esetben kizárólag a vasúti átjárók rálátási háromszögeire korlátozódtak, kizárólag MÁV-

kezelésű területeken belül. A kezelési sávokat a TopoRail rendszer adatai és a helyszíni ortofotós felmérés alapján jelöltem ki, a közlekedésbiztonsági követelmények és a terepviszonyok figyelembevételével. A repüléseket a hazai UAS (pilóta nélküli légi járműrendszerek) műveletekre vonatkozó szabályozás, valamint az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA) iránymutatásai szerint hajtottam végre, minden esetben érvényes légtérhasználati és műveleti engedély birtokában. A kezelések nem igényeltek sem vágányzárat, sem közúti forgalomkorlátozást, és minden egyes repülésről részletes repülési naplót, fotódokumentációt és permetezési adatlapot készítettem a későbbi értékeléshez.

Az 1. táblázatban bemutatott adatok összesítik a Kecskemét és Lakitelek közötti 145. számú vasútvonal azon közúti átjáróit, ahol a drónos növényvédelmi kezeléseket 2025 júniusában elvégeztem. Összesen 26 átjáró került be a vizsgálati mintába, amelyek közül 10 helyszínen történt elsődleges kezelés, 4 helyszínen részleges ismétlés és további 12 átjáró esetében kiegészítő beavatkozás. A táblázat adatai jól szemléltetik a kísérleti beavatkozások területi kiterjedését, valamint a kezelések számát és jellegét.

1. táblázat Vasúti átjárók felsorolása Kecskemét és Lakitelek között, amelyben a drónos növényvédelem megtörtént.

	Bemutató nap	1. nap	2. nap	3. nap
	2025. április 12.	2025. június 12.	2025. június 15.	2025. június 21.
1.	140+61	118+44	94+44	28+89
2.	Csak bemutatás volt a cél kezelés a 06. hónapban ismétlésre került.	125+62	97+32	43+20
3.		131+16	98+60	55+47
4.		140+61	105+46	66+30
5.		148+89		73+82
6.		177+87		81+98
7.		191+88		84+14
8.		195+25		86+41
9.		239+12		87+77
10.		250+42		88+72
11.				90+75
12.				92+21
		Összesen	10	4

A vizsgálat célja nem egyedi kezelések értékelése volt, hanem annak rendszerszintű elemzése, hogy a drónos növényvédelmi technológia miként alkalmazható a teljes vasútvonal mentén és hosszabb távon milyen módon integrálható a MÁV országos közúti átjáró-hálózatának fenntartási és gyomirtási rendszerébe. A kezelések során szerzett adatok – beleértve a repülési paramétereket, a kijuttatott permetlé mennyiségét és a gyom visszánövés mértékét – megerősítették, hogy a technológia a vasúti környezetben biztonságosan és hatékonyan alkalmazható. Az 1. táblázatban szereplő vasúti átjárókban a kezelések átlagosan 60–70%-kal rövidebb idő alatt voltak elvégezhetőek, mint a kézi vagy motoros kaszálással végzett gyomirtások, miközben az emberi jelenlét a pálya közvetlen zónában minimálisra csökkent. A vizsgálatok rámutattak, hogy a drónos technológia alkalmazása nem igényel vágányzárat vagy közúti forgalomkorlátozást, így jelentős szervezési előnyt biztosít a pályafenntartásban.

2. táblázat A vizsgált területeken azonosított főbb gyomnövényfajok (T1–T3, G1–G3)

Magyar név	Tudományos név (latin)	Életforma	Megjegyzés
Pásztortáska	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	T1	Ősszel csírázó, korán virágzó egyéves
Tyúkhúr	<i>Stellaria media</i>	T1	Áttelelő, korai fejlődésű kétszikű
Veronika fajok	<i>Veronica hederifolia</i> , <i>V. persica</i>	T1–T2	Télálló kétszikűek, gyakori vasúti zónákban
Mezei árvácska	<i>Viola arvensis</i>	T2	Hűvös időben fejlődő, áttelelő gyom
Sebforrasztó zombor	<i>Descurainia sophia</i>	T2	Ősszel csírázó, tavasszal virágzó
Pipacs	<i>Papaver rhoeas</i>	T2	Tavasszal virágzó, rövid életű kétszikű
Ragados galaj	<i>Galium aparine</i>	T2	Kúszó szárú, árnyékkedvelő gyomfaj
Nagy széltippan	<i>Apera spica-venti</i>	T2	Ősszel csírázó egyszikű, gyakori szántóföldi gyom
Hélazab	<i>Avena fatua</i>	T3	Tavasszal csírázó egyszikű
Vadrepce	<i>Sinapis arvensis</i>	T3	Tavaszi egyéves, gyors fejlődésű faj
Aprószulák	<i>Convolvulus arvensis</i>	G3	Évelő, kúszó habitusú, nehezen irtható
Mezei aszat	<i>Cirsium arvense</i>	G3	Évelő kétszikű, gyöktörzsről újul
Tarackbúza	<i>Elymus repens</i>	G1	Évelő egyszikű, rizómás szaporodású
Csillagpázsit	<i>Cynodon dactylon</i>	G1	Évelő pázsitfű, sűrű gyepalkotó faj
Mezei zsurló	<i>Equisetum arvense</i>	G1	Évelő, spórás szárú faj
Hamvas szeder	<i>Rubus caesius</i>	G3	Évelő cserje, sarjhajtásról újul
Selyemkóró	<i>Asclepias syriaca</i>	G3	Évelő, invazív, mély gyökerű faj
Közönséges aggófű	<i>Senecio vulgaris</i>	T1–T2	Kora tavasszal csírázó, gyors fejlődésű kétszikű

T1, T2, T3 – ősszel vagy tavasszal csírázó; G1–G3 – évelő

A 26 vizsgált vasúti átjáró területén 2025. március 24-én és április 5-én végeztem el az előzetes növényzet analízist. A felmérés célja a rálátási háromszögek gyomflórájának pontos feltérképezése volt a drónos gyomirtási kezelések előkészítéséhez. A téli időszak enyhe, de

csapadékmentes volt, ami visszafogta a korai gyomfajok csírázását. Emiatt a vegetáció ekkor még mozaikos elrendezésű és alacsony borítottságú volt. A felmérés során a domináns fajok döntő többsége ősszel vagy tavasszal csírázó (T1–T3), illetve évelő (G1–G3) életformába tartozott (lásd 2. táblázat). A kétszikű fajok közül legnagyobb borítottságot a pásztortáska, a tyúkhúr, a pipacs és a mezei aszat mutatták. Az egyszikűek közül gyakori volt a nagy széltippan, a hélazab és a tarackbúza. Az évelő fajok — mint az aprószulák, a csillagpázsit és a hamvas szeder — a töltések szélein és a vízelvezető árkok mentén jelentek meg, ahol a humuszosabb talaj és a jobb vízellátottság kedvez a sarjhajtások fejlődésének. A 2. ábra a kezelés előtti próbarepülést mutatja be.



2. ábra Kezelés előtti próbarepülés, Lados K. Nyárlőrinc, 2025.

A 2025 tavaszán végzett növényzetanalízis alapján a vasúti átjárók gyomflórája zavarástűrő, pionír jellegű, nitrofil fajokból áll, amelyek jól alkalmazkodnak a vasúti zúzottkő és a rendszeres emberi beavatkozás által meghatározott környezethez. Az összesített fajösszetétel alapján a vegetáció középső szukcessziós állapotban volt, ahol a gyomközösségek stabilizálódása még nem teljes, így a drónos növényvédelmi beavatkozások hatása jól nyomon követhető. A 2. táblázatban bemutatott adatok alapján a vizsgált vasúti átjárók gyomflóráját döntően az ősszel és kora tavasszal csírázó, egyéves kétszikű fajok (T1–T3) alkotják. Ezek a fajok a csapadékmentes, de enyhe tél után gyorsan kihasználták a tavaszi felmelegedést, így a

felmérés idején már jellemzően 4–6 leveles állapotban voltak. A vegetáció mintegy 60–65%-át ez a csoport tette ki, amelynek fő képviselői a pásztortáska, a tyúkhúr, a veronika fajok és a pipacs voltak. A fajösszetétel alapján a rálátási háromszögekben tipikusan áttelelő, rövid életciklusú, zavarástűrő fajok uralkodtak, amelyek jelenléte közvetlenül összefügg a terület bolygatottságával és a vasúti pályák mentén jellemző, nitrogénben gazdag talajjal. Az egyszikű fajok aránya az összesített borítottságban 20–25% körül alakult. Közülük a nagy széltippan és a hélazab voltak a leggyakoribbak, míg a vadrepce kisebb, lokális foltokban jelent meg. Ezek a fajok elsősorban a homokosabb, szárazabb talajrészekben és a zúzottkő ágyazat szélein fordultak elő, ahol a mechanikai beavatkozások (pl. kaszálás, taposás) kevésbé gátolják a kelésüket. Az évelő gyomok (G1–G3) jelenléte 10–15%-os arányt tett ki, de ökológiai jelentőségük meghaladja ezt a százalékot, mivel ezek biztosítják a vegetáció állandó regenerálódását és a gyomnyomás fenntartását a kezelések között. Különösen a mezei aszat, az aprószulák és a tarackbúza volt meghatározó, amelyek gyökértörzses vagy tarackos szaporodásuk révén a mechanikai gyomirtás után is gyorsan visszaönek. Ezek a fajok egyben a drónos kezelések célcsoportjai is, mivel a felszín alatti szerveket érintő herbicides beavatkozásokkal lehet tartósan visszaszorítani őket. A

Magyar név	Tudományos név (latin)	Életforma	Megjegyzés
Pásztortáska	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	T1	Ősszel csírázó, korán virágzó egyéves
Tyúkhúr	<i>Stellaria media</i>	T1	Áttelelő, korai fejlődésű kétszikű
Veronika fajok	<i>Veronica hederifolia, V. persica</i>	T1–T2	Télálló kétszikűek, gyakori vasúti zónákban
Mezei árvácska	<i>Viola arvensis</i>	T2	Hűvös időben fejlődő, áttelelő gyom
Sebforrasztó zombor	<i>Descurainia sophia</i>	T2	Ősszel csírázó, tavasszal virágzó
Pipacs	<i>Papaver rhoeas</i>	T2	Tavasszal virágzó, rövid életű kétszikű
Ragadós galaj	<i>Galium aparine</i>	T2	Kúszó szárú, árnyékkedvelő gyomfaj
Nagy széltippan	<i>Apera spica-venti</i>	T2	Ősszel csírázó egyszikű, gyakori szántóföldi gyom
Hélazab	<i>Avena fatua</i>	T3	Tavasszal csírázó egyszikű
Vadrepce	<i>Sinapis arvensis</i>	T3	Tavaszi egyéves, gyors fejlődésű faj
Aprószulák	<i>Convolvulus arvensis</i>	G3	Évelő, kúszó habitusú, nehezen irtható
Mezei aszat	<i>Cirsium arvense</i>	G3	Évelő kétszikű, gyökértörzsről újul
Tarackbúza	<i>Elymus repens</i>	G1	Évelő egyszikű, rizómás szaporodású
Csillagpázsit	<i>Cynodon dactylon</i>	G1	Évelő pázsitfű, sűrű gyepalkotó faj
Mezei zsurló	<i>Equisetum arvense</i>	G1	Évelő, spórás szárú faj
Hamvas szeder	<i>Rubus caesius</i>	G3	Évelő cserje, sarjhajtásról újul
Selyemkóró	<i>Asclepias syriaca</i>	G3	Évelő, invazív, mély gyökerű faj
Közönséges aggófű	<i>Senecio vulgaris</i>	T1–T2	Kora tavasszal csírázó, gyors fejlődésű kétszikű

adatai összességében azt mutatják, hogy a vizsgált területek növényzete másodlagos pionír jellegű gyomtársulásokból áll, amelyek dinamikáját elsősorban az emberi bolygatás és a közlekedési infrastruktúra környezeti hatásai irányítják. A fajösszetétel alapján a drónos növényvédelmi beavatkozások hatékonysága különösen a T2–T3 típusú fajok esetében várható magasnak, míg az évelő, tarackos fajok (G1–G3) esetében tartós eredmény eléréséhez ismételt, célzott kezelések szükségesek.

2.2.1 A gyomfelvételezés

A terepi felmérés során minden vizsgált vasúti átjáróban három, szűrőpróbaszerűen kijelölt 1×1 méteres kvadrátkerült kijelölésre, amelyek a rálátási háromszögek különböző pontjain helyezkedtek el. A kvadrátok kijelölésénél törekedtem arra, hogy azok a vegetáció összetételét és sűrűségét reprezentatív módon tükrözzék, elkerülve az átlagosnál gyomosabb vagy éppen teljesen csupasz zónákat. A kvadrátokban előforduló gyomfajokat vizuálisan azonosítottam, a gyomnövények évszaknak megfelelő vegetációs fejlettségükre használt BBCH-fejlődési skála alapján megállapított növekedési állapotuk szerint. Minden faj esetében megszámláltam az egyedek számát, majd az adatokat rögzítettem a gyomfelvételezési naplóban. Ezzel a módszerrel összesen 1404 mérési adat készült (26 átjáró x 3 kvadrát x 18 beazonosított gyomnövény), ami elegendő statisztikai mintát biztosított a vegetáció összetételének és sűrűségének elemzéséhez.

3. táblázat Gyom borítottság felmérés eredménye, kezelés előtt (1-6.)

[db/m ²]	Pásztortáska			Tyúkhúr			Veronika fajok			Mezei árvácska			Sebforrasztó zsombor			Pipacs		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mintahelyek	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
28+89 sz.sz.	29	28	30	20	27	22	13	13	16	2	3	0	20	17	17	15	15	12
43+20 sz.sz.	15	20	17	13	12	13	18	18	19	1	0	1	13	14	9	25	23	28
55+47 sz.sz.	15	17	17	30	27	25	6	9	10	1	4	5	11	6	11	18	21	15
66+30 sz.sz.	30	22	22	21	17	22	11	10	11	0	4	0	16	16	13	19	23	21
73+82 sz.sz.	13	15	15	10	9	14	20	23	18	0	0	0	6	10	6	16	12	16
81+98 sz.sz.	33	32	31	12	12	17	17	19	16	2	1	0	14	14	16	16	17	18
84+14 sz.sz.	11	10	11	32	31	28	20	24	24	3	3	7	17	14	18	30	29	27
86+41 sz.sz.	25	25	22	11	12	9	15	17	17	3	5	0	13	8	7	24	26	26
87+77 sz.sz.	21	25	22	24	29	24	24	24	25	1	3	5	20	17	17	15	16	14
88+72 sz.sz.	17	15	15	17	13	9	22	20	24	2	4	1	14	10	13	19	15	16
90+75 sz.sz.	17	20	17	18	19	19	15	15	20	3	1	0	14	18	12	30	31	32
92+21 sz.sz.	28	20	23	26	24	21	11	16	8	0	1	1	23	16	21	18	18	17
94+44 sz.sz.	32	31	30	18	19	18	24	25	29	0	1	0	16	15	13	17	14	15
97+32 sz.sz.	20	20	22	19	19	18	14	10	13	5	2	5	12	15	18	24	24	22
98+60 sz.sz.	24	21	24	32	28	32	21	21	20	1	0	0	10	14	12	17	16	15
105+46 sz.sz.	29	29	26	27	21	24	23	22	25	1	0	0	3	5	5	9	11	13
118+44 sz.sz.	26	21	22	10	6	12	24	21	17	2	0	0	8	7	5	19	19	18
125+62 sz.sz.	19	20	21	29	25	27	16	15	16	1	1	1	11	8	9	22	21	24
131+16 sz.sz.	18	20	19	19	28	24	29	28	32	0	0	0	10	4	8	12	6	11
140+61 sz.sz.	16	14	12	12	16	12	19	19	20	0	0	0	11	9	12	33	32	31
148+89 sz.sz.	10	14	10	25	22	25	20	20	17	2	5	7	14	16	14	23	22	23
177+87 sz.sz.	11	12	12	10	8	12	28	23	25	2	5	3	16	20	18	20	24	21
191+88 sz.sz.	22	16	23	13	13	12	22	15	15	4	0	2	14	16	11	20	17	19
195+25 sz.sz.	29	32	29	25	32	29	19	14	18	2	3	3	10	7	7	12	12	13
239+12 sz.sz.	9	13	11	9	5	12	15	17	19	0	0	0	9	6	5	15	14	11
250+42 sz.sz.	9	10	11	24	23	24	12	15	16	1	2	0	19	17	12	15	17	13

A 3. táblázatban szereplő adatok alapján a vasúti átjárók gyomflóráját elsősorban a pásztortáska (*Capsella bursa-pastoris*), a tyúkhúr (*Stellaria media*), a veronika fajok (*Veronica spp.*), a mezei árvácska (*Viola arvensis*), a sebforrasztó zsombor (*Descurainia sophia*) és a pipacs (*Papaver rhoeas*) alkotják. A táblázat értékei szerint a tyúkhúr és a mezei árvácska bizonyultak a legdominánsabb fajoknak, helyenként 25–33 db/m² egyedszámmal, míg a pásztortáska és a veronika fajok közepes borítással jelentkeztek. A sebforrasztó zsombor és a pipacs viszont

inkább kiegészítő, alárendelt szerepet töltöttek be a gyomtársulásban, jellemzően alacsonyabb, 0–7 db/m² közötti sűrűséggel.

4. táblázat Gyom borítottság felmérés eredménye, kezelés előtt (7-12.)

[db/m ²]	Ragadós galaj			Nagy széltippan			Hélazab			Vadrepce			Aprószulák			Mezei aszat		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mintahelyek	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
28+89 sz.sz.	10	9	5	19	18	20	14	9	9	7	10	5	2	0	4	6	4	7
43+20 sz.sz.	7	5	9	10	9	16	6	3	4	2	5	1	0	0	1	18	16	20
55+47 sz.sz.	3	4	5	10	7	7	12	12	9	10	14	11	11	13	15	17	18	14
66+30 sz.sz.	14	18	20	15	15	15	17	11	14	9	11	10	2	0	1	6	10	0
73+82 sz.sz.	13	8	6	16	13	14	4	6	4	13	13	17	2	0	2	4	5	5
81+98 sz.sz.	6	4	7	19	20	15	1	1	6	13	15	11	3	0	0	9	6	6
84+14 sz.sz.	8	4	6	16	16	17	6	2	5	10	11	9	6	8	7	7	3	5
86+41 sz.sz.	10	11	4	9	7	7	11	14	16	13	16	15	14	17	12	15	9	10
87+77 sz.sz.	14	12	14	16	15	17	12	9	10	14	16	15	1	2	4	6	7	11
88+72 sz.sz.	12	11	14	4	6	6	13	10	11	8	2	9	13	11	11	17	19	18
90+75 sz.sz.	15	13	16	12	11	12	10	10	8	3	7	4	9	6	5	20	17	15
92+21 sz.sz.	6	9	4	14	14	16	3	1	4	20	16	13	8	10	13	10	10	7
94+44 sz.sz.	17	17	24	8	2	4	12	13	13	14	11	14	8	9	9	17	14	19
97+32 sz.sz.	10	14	13	5	6	8	8	12	9	12	10	10	2	2	2	17	19	16
98+60 sz.sz.	17	13	14	8	11	9	3	4	2	6	8	9	14	15	12	14	11	16
105+46 sz.sz.	4	7	3	11	10	5	13	13	11	9	6	7	2	3	5	4	6	6
118+44 sz.sz.	18	17	14	17	11	15	1	0	4	9	10	10	16	12	11	13	12	13
125+62 sz.sz.	11	12	12	11	12	14	0	1	6	6	7	9	12	16	14	16	16	11
131+16 sz.sz.	6	9	10	17	15	15	11	13	13	14	16	12	0	0	1	17	19	16
140+61 sz.sz.	15	22	16	9	11	8	11	5	4	18	9	10	12	10	11	9	9	11
148+89 sz.sz.	14	16	15	14	22	16	5	8	11	14	17	13	3	5	5	4	4	6
177+87 sz.sz.	16	16	13	6	11	14	5	2	0	12	16	15	14	12	11	7	5	4
191+88 sz.sz.	14	14	9	8	13	9	7	3	6	20	18	18	12	12	9	11	9	13
195+25 sz.sz.	11	13	7	11	10	7	4	6	6	21	17	18	10	12	10	18	15	13
239+12 sz.sz.	8	13	11	9	7	11	0	6	1	17	18	19	1	0	0	11	13	15
250+42 sz.sz.	15	14	14	12	16	16	1	5	0	17	17	20	6	11	8	9	7	9

A 4. táblázatban szereplő adatok alapján a vasúti átjárókban jellemző gyomnövények közé tartozik a ragadós galaj (*Galium aparine*), a nagy széltippan (*Apera spica-venti*), a hélazab (*Avena fatua*), a vadrepce (*Sinapis arvensis*), az aprószulák (*Convolvulus arvensis*) és a mezei aszat (*Cirsium arvense*). A felmérés szerint a vadrepce és a mezei aszatdominált a legtöbb

helyszínen, gyakran 15–20 db/m² feletti értékekkel, míg a ragadós galaj és a nagy széltippanközepes gyakorisággal fordult elő, többnyire 10–15 db/m² között. A hélazab és az aprószulák ezzel szemben alacsonyabb egyedszámban, szórványosan jelent meg, jellemzően 0–7 db/m² közötti borítással, így ezek a fajok nem voltak meghatározóak a gyomtársulásban.

5. táblázat Gyom borítottság felmérés eredménye, kezelés előtt (13-18.)

[db/m ²]	Tarackbúza			Csillagpázsit			Mezei zsurló			Hamvas szeder			Selyemkóró			Közönséges aggófű		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mintahelyek	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
28+89 sz.sz.	0	0	0	2	7	4	0	0	3	5	7	7	0	0	5	4	3	0
43+20 sz.sz.	8	8	13	0	0	0	2	1	3	6	0	3	2	3	4	4	3	7
55+47 sz.sz.	2	2	4	12	17	13	0	0	0	9	14	14	0	7	4	0	3	5
66+30 sz.sz.	5	6	5	12	12	12	0	4	0	2	1	2	0	0	1	2	4	2
73+82 sz.sz.	8	16	11	12	8	10	4	8	6	0	0	0	0	0	0	4	2	1
81+98 sz.sz.	8	13	15	6	8	6	1	3	0	7	9	9	0	2	1	0	0	0
84+14 sz.sz.	8	10	3	8	10	8	0	0	0	1	1	0	2	3	2	0	2	2
86+41 sz.sz.	12	10	13	4	0	3	5	3	3	1	3	5	7	1	1	0	0	1
87+77 sz.sz.	6	2	3	12	17	16	4	6	4	8	8	4	1	1	0	6	0	0
88+72 sz.sz.	3	0	0	6	5	9	1	0	1	3	9	6	3	0	0	1	4	0
90+75 sz.sz.	5	10	6	7	1	8	5	1	1	2	3	2	5	0	5	2	0	4
92+21 sz.sz.	11	9	12	0	0	0	0	0	1	12	14	10	3	0	2	1	1	5
94+44 sz.sz.	4	8	5	6	9	9	1	2	3	8	7	5	0	1	0	2	0	2
97+32 sz.sz.	3	1	5	9	9	10	4	3	3	13	10	9	4	1	4	5	1	3
98+60 sz.sz.	8	13	10	0	4	0	4	7	0	1	4	0	2	0	2	0	0	0
105+46 sz.sz.	12	14	15	2	1	9	4	1	0	8	7	8	6	0	6	0	0	4
118+44 sz.sz.	3	0	4	11	13	14	4	0	5	2	4	3	3	5	5	3	1	2
125+62 sz.sz.	3	1	4	2	2	11	0	0	0	8	14	13	0	0	0	0	0	2
131+16 sz.sz.	0	1	2	5	3	5	1	0	0	4	7	6	2	3	3	2	1	0
140+61 sz.sz.	0	4	6	5	5	5	3	4	1	7	3	4	2	1	3	3	0	8
148+89 sz.sz.	10	10	10	8	9	12	0	5	4	15	11	15	2	0	1	2	4	4
177+87 sz.sz.	0	0	0	7	6	6	3	0	2	7	6	11	2	0	3	5	5	2
191+88 sz.sz.	11	15	14	5	7	9	3	1	0	13	6	8	0	3	0	5	4	4
195+25 sz.sz.	6	6	4	9	5	8	1	2	2	0	0	2	2	2	0	4	0	3
239+12 sz.sz.	2	0	0	1	1	0	0	1	1	10	7	12	3	1	1	3	3	2
250+42 sz.sz.	5	4	6	11	9	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	8	4	3

Az 5. táblázatban szereplő adatok alapján a vizsgált átjárók gyomnövényzetében a tarackbúza (*Elymus repens*), a csillagpázsit (*Cynodon dactylon*), a mezei zsurló (*Equisetum arvense*), a hamvas szeder (*Rubus caesius*), a selyemkóró (*Asclepias syriaca*) és a közönséges aggófű (*Senecio vulgaris*) fordultak elő. A mintaterületek többségében a csillagpázsit és a hamvas szeder mutatta a legnagyobb borítást, jellemzően 10–15 db/m² közötti értékekkel, így ezek tekinthetők domináns fajoknak. A tarackbúza és a mezei zsurló közepes sűrűségben volt jelen, többnyire 5–10 db/m² közötti gyakorisággal, míg a selyemkóró és a közönséges aggófű ritkán, elszórta jelent meg, ami a gyomflóra kevésbé meghatározó, másodlagos elemeire utal.

A szűrőpróbaszerű kvadrátmérés módszere a 145-ös vasútvonal rálátási területek környezetében különösen indokolt, mivel a növényzet eloszlása a talaj- és pályaviszonyok miatt erősen mozaikos. A három kvadrát átlagolása minden átjáróban megbízhatóan reprezentálta a helyi gyomsűrűséget, így az adatok összehasonlíthatók voltak a drónos kezelések előtti és utáni állapotban is.

A 26 vasúti átjáróban végzett gyomfelvételezések eredményei alapján megállapítható, hogy a rálátási háromszögek növényzete erősen változó képet mutatott, mind sűrűségben, mind fajösszetételben. Az egyedszámok döntő többsége 1 és 20 növény/m² között alakult, ami reálisan tükrözi a vasúti átjárókra jellemző, bolygatott felszíni viszonyokat. A minták kisebb részében, körülbelül 5–10%-ban fordult elő 25–30, esetenként 30 fölötti egyedszám is, ezek főként a nehezebben hozzáférhető, humuszosabb, enyhén árnyékos átjárókban voltak jellemzőek.

A gyomflóra szerkezetét a rövid életciklusú, tavaszi és őszi csírázású fajok határozták meg, melyek a gyors növekedésükkel rövid időn belül zárt növénytakarót képeztek. A legnagyobb borítottságot a tyúkhúr, a pásztortáska, a veronika fajok és a pipacs mutatták. Ezek a fajok szinte minden mintában előfordultak, és jellemzően 15–25 növény/m² átlagos értéket adtak. A jelenlétük a T1–T2 életformának köszönhető, amely az enyhe teleket és a korai tavaszi időszakot kedvezően használja ki. Ezek a fajok a drónos kezelések szempontjából különösen fontosak, mivel rövid idő alatt újra kikelnek, ezért a folyamatos gyomirtási ciklusok egyik fő célcsoportját jelentik. A közepes borítottságú fajok közé sorolható a sebforrasztó zsombor, a ragadós galaj, a nagy széltippan, a vadrepce és a mezei aszat. Ezek 5–20 növény/m² értékkel szerepeltek, és elsősorban a szegélyzónákban, az árkok mentén, illetve a vasúti töltések enyhén nyirkosabb, árnyékosabb részein jelentek meg. A mezei aszat és a galaj jellemzően a tápanyagban gazdagabb foltokon fordult elő, míg a nagy széltippan és a vadrepce inkább a laza, homokosabb talajú átjárókban volt gyakoribb. A ritkán előforduló fajok, mint a hélazab, az aprószulák, a hamvas szeder, a csillagpázsit és a tarackbúza, 1–10 növény/m² közötti értékekkel

jelentek meg, leginkább szórványosan. Ezek közül az évelők, például az aprószulák és a tarackbúza, főként a pályatest stabilabb, kevésbé bolygatott zónáiban maradtak fenn, ahol a tarackos és gyöktörzses szaporodás előnyt biztosít számukra a rendszeres kaszálás vagy gyomirtás után is. A hiányzó vagy alacsony borítottságú fajok, mint a mezei zsurló, a selyemkóró, a közönséges aggófü és a mezei árvácska, csak néhány helyen fordultak elő, jellemzően 0–5 növény/m² értékkel. Ezek a fajok inkább az árnyékos, kötöttebb talajú vagy korábban már kezelt területeken jelentek meg, ahol a versenyképességük korlátozott volt. A fajgazdagság átlagosan 9–12 faj között alakult átjárónként, ami közepes diverzitást jelent, és megfelel a zavarástűrő, pionír növényközösségek jellemző mintázatának. A minták több mint felében legalább 10 különböző gyomfaj volt jelen, ami arra utal, hogy ezek a vasúti átjárók biológiailag aktív, gyors regenerálódásra képes élőhelyek. Az évelő és rövid életű fajok együttélése viszont növeli a gyomnyomás állandóságát, ami hosszú távon a kezelések hatékonyságát is befolyásolhatja. A felmérések egyértelműen igazolják, hogy a gyomflóra szerkezete mozaikos, és a rálátási háromszögek gyomosodása nem egyenletes. Ez alátámasztja a drónos gyomirtás alkalmazásának szükségességét, hiszen a technológia segítségével célzottan lehet kezelni azokat a pontokat, ahol a gyomnyomás a legnagyobb.

2.3 Alkalmazott eszközök

A kísérlet során mind a drónos, mind a kézi gyomirtási módszer technikai háttere pontosan dokumentálásra került. A drónos kezeléseket DJI AGRAS T30 típusú mezőgazdasági permetező drónnal végeztem. A drón alján nyolc fűvóka biztosította a permetlé teljes felületi lefedését, miközben a repülési magasság 2,5–3 méter, a haladási sebesség pedig 3–4 m/s között volt. A gyomirtáshoz glifozát hatóanyagú totális gyomirtó szert alkalmaztam 5 liter/ha dózisban. A drónos kijuttatás egyik legnagyobb előnye, hogy a kijuttatott permetmennyiség akár 60–70%-kal is kevesebb lehet a hagyományos kézi módszerekhez képest, miközben a hatóanyag-lefedettség jóval egyenletesebb. A drón permetezési rendszere finom cseppképzéssel dolgozik, ami teljes mértékben bevonja a növényi felületet, ezáltal a glifozát gyorsan és hatékonyan szívódik fel.

A kézi kaszálási beavatkozásokat STIHL FS 361 típusú motoros fűkaszákkal végeztük. Összesen három kasza állt rendelkezésre, a munkát hat fő végezte: egy műszakvezető, egy vasúti biztonsági figyelőőr, három kaszás és egy kiszolgáló. A kaszálási munkák során a kezelési sávokat a TopoRail rendszerben rögzített vasúti térképi adatok alapján jelöltük ki. A

TopoRail egy digitális térinformatikai nyilvántartás, amely a vasúti infrastruktúra elemeit – például a pályát, az átjárókat és a műtárgyakat – pontos helykoordinátákkal tartalmazza. Ennek segítségével a beavatkozási területek kijelölése pontosabban, a vasúti biztonsági előírásokkal és a forgalmi renddel összhangban valósult meg. A kézi kaszálásra összesen öt vasúti átjáró került kijelölésre, amelyekben a kezelési eredményeket a drónos permetezéssel vettem össze. A cél az volt, hogy azonos körülmények között, hasonló növényzeti viszonyok mellett lehessen értékelni a két technológia hatékonyságát, munkaerőigényét és a gyomok visszatelepedésének ütemét. A kézi kaszálás során tapasztaltam, hogy a sarjhajtások néhány héten belül ismét megjelentek, különösen a szulákfélék, a tarackbúza és a mezei aszat esetében, míg a drónos kezelések után ezek visszánövekedése jelentősen késleltetett volt.

3 Eredmények

3.1 Permeteződrónos kezelés

3.1.1 A vizsgálat menete és a felhasznált eszközök

A vizsgálatot a 145-ös számú vasútvonalon 26 darab vasúti átjárójában végeztük el, ahol a drónos gyomirtási munkákat vállalkozó hajtotta végre, a folyamat teljes szakmai felügyeletét, dokumentálását és az adatgyűjtést a helyszínen láttam el (3. ábra). A kísérlet célja a drónos gyomirtás technológiai alkalmazhatóságának, munkaszervezési és kijuttatási paramétereinek vizsgálata volt vasúti környezetben. A munkavégzéshez 30 literes tartálykapacitású mezőgazdasági permetező drónt alkalmaztunk, amely GPS-alapú automatikus repüléstervezéssel, ultrahangos magasságtartó rendszerrel és precíz, elektromos vezérlésű permetezőegységgel rendelkezett. A drón repülési magassága átlagosan 2,5–3 méter, sebessége 4–6 m/s volt. Egy repüléssel kb. 0,5–0,8 hektárnyi terület volt lefedhető, ami átlagosan egy vasúti átjáró teljes felületének megfelelt. Egy átjáró átlagos területe 1 200 m², melyet a kezelések során 4 szektorban (összesen kb.

4 800 m²) kezeltünk. Az alkalmazott permetlé mennyisége 100 liter/átjáró volt, ami a kijuttatási arányt tekintve 5 liter hatóanyag/hektár dózissnak felelt meg. A keverékhez tapadásfokozó és elsodródás-gátló adalékanyag is került, a permetezés egyenletességének és biztonságának növelése érdekében.

A kezelések előtt törzsoldatot készítettünk egy 100 literes keverőtartályban, amelyben a glifozát hatóanyagot az adalékanyagokkal és vízzel homogén oldattá kevertük. Ebből a törzsoldatból történt a drón feltöltése minden repülés előtt. A gyakorlatban a drón négy térköznymi szakaszból egyszerre két átjárót kezelt, majd tankolás következett. Egy átjáró teljes kezelése során két tankolásra volt szükség, a terület kiterjedése és a kijuttatási mennyiség miatt.

A kezelések során a környezeti és meteorológiai feltételek betartása kiemelt szempont volt. A munkák reggeli és délelőtti órákban történtek, amikor a hőmérséklet 18–25 °C, a relatív páratartalom 60–70%, a szélesebbesség pedig 2–4 m/s között alakult. A permetezéseket csak szélcsendes, csapadékmentes időben végeztük, amikor a légköri viszonyok biztosították a permetcseppek pontos célba jutását és a párolgási veszteség minimális szintjét. A drónos kezelésekkel párhuzamosan öt átjáróban kézi kaszálást is végeztünk összehasonlítás céljából.

3.1.2 A kezelés főbb paramétereit:

- Kezelt vasúti szakasz hossza: átjárónként megközelítőleg 300 folyóméter, amely az útátjárókhöz kapcsolódó rálátási háromszögek (Pályára engedélyezett sebesség ötszöröse a rálátási terület hossza egy oldalon) alapján került meghatározásra.
- Kezelési sáv: a vágányok jobb és bal oldalán, valamint az útátjáró mindkét oldalán történt a gyomirtás vágány tengely közepétől 3 méterre 4 – 5 méter szélességben, így átjárónként kb. (1200 fm * 4 méter szélesség) 5800 m² felületre terjedt ki a permetezés.
- Terület státusza: kizárólag MÁV-terület, előzetesen a TopoRail vasúti térinformatikai rendszer alapján ellenőrizve.
- Permetlé típusa: totális hatású gyomirtó szer, engedélyezett dózisban alkalmazva.
- Repülési magasság: kb. 2,5–3 méter
- Kijuttatási sebesség: kb. 4–5 km/h
- Művelet időtartama: átjárónként 15–20 perc



*3. ábra Gyomosodási kép a vágányok között kezelés előtt,
Lados K. Nyárlőrinc, 2025*

A kezeléseket kizárólag optimális meteorológiai viszonyok mellett hajtottuk végre, amikor a hőmérséklet 18–25 °C, a relatív páratartalom 60–70%, a szélsősebesség pedig legfeljebb 3–4 m/s volt. Ezek a körülmények kedveztek a glifozát hatóanyag gyors felszívódásának és a permetcseppek pontos kijuttatásának, miközben minimalizálták a párolgási és elsodródási

veszteséget. A permetezés minden esetben csapadékmentes, nyugodt időben történt, hogy a hatóanyag a lehető legnagyobb mértékben hasznosuljon a célterületen.

A kezelési időpontokat minden esetben a napi meteorológiai előrejelzések alapján határoztuk meg, és szükség esetén módosítottuk, ha a körülmények nem voltak megfelelőek. A glifozát hatóanyag a növények zöld részein keresztül szívódik fel, és a növény nedvkeringésével a gyökérzetbe is eljut. Hatásmechanizmusa az EPSP-szintáz enzim gátlásán alapul, amely az aromás aminosavak szintézisének leállításával fokozatos hervadást és elhalást okoz. A hatóanyag felszívódása 4–6 órán belül megkezdődik, a látható tünetek pedig 10–14 nap elteltével jelennek meg. A szer felszívódását elősegítette, hogy a kijuttatás időpontjában a gyomnövények aktív vegetációs állapotban voltak, így a hatóanyag eljutott a gyökérzónáig, biztosítva a teljes pusztulást. A glifozát nem szelektív, ezért kizárólag célzott kijuttatásra alkalmas, amit a drónos technológia precíz vezérlése biztonságosan lehetővé tett.

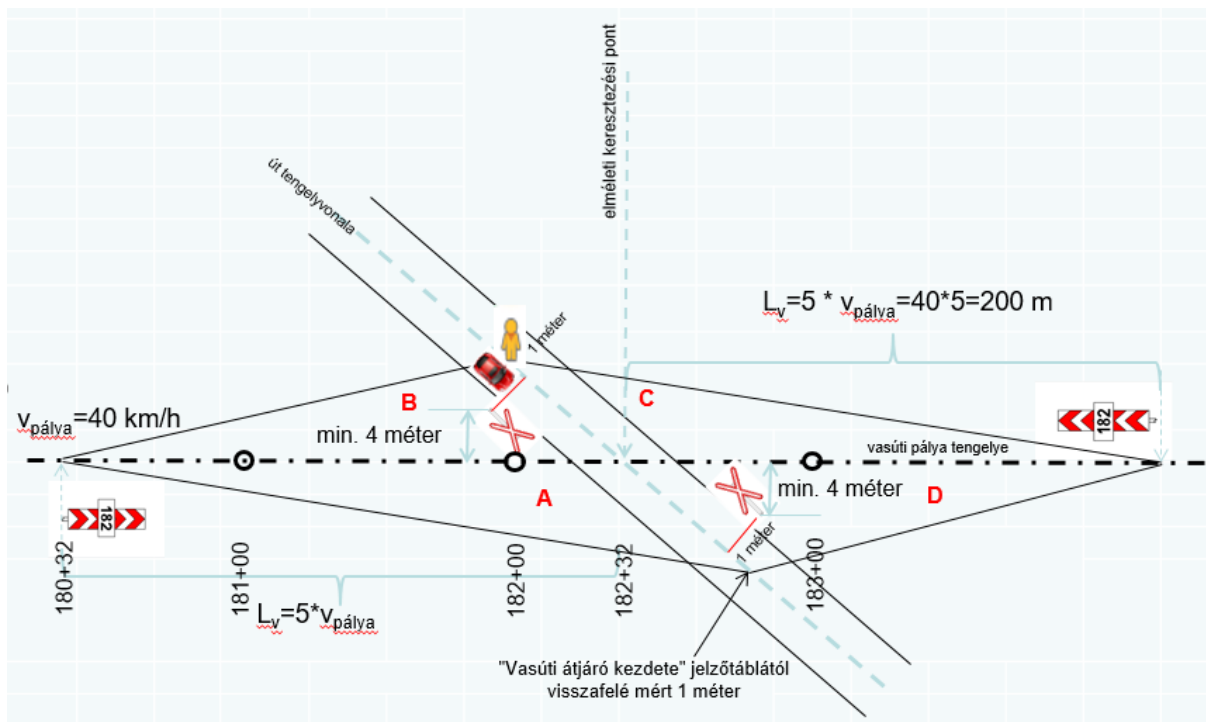


**4. ábra 145 vv. 140+61 útátjáró „A” rálátási terület gyomirtása,
Lados K. Nyárlőrinc, 2025.**

A célzott beavatkozások központi szerepe a közúti átjárók melletti rálátási háromszögek tisztántartása volt (4. ábra). Ezeknek a kijelölt sávoknak a gyommentes állapota

kulcsfontosságú annak érdekében, hogy a közúti és vasúti forgalom résztvevői időben észlelhessék egymást – különösen a nagy sebességgel közlekedő vonatok közelében.

A pályafenntartási tevékenységeket szabályozó műszaki utasítások világosan meghatározzák ezen területek kezelési kötelezettségét. A gyors növekedésű gyomnövények – különösen a magas termetű lágyszárú fajok és a fás szárú újulások – rövid idő alatt jelentősen ronthatják a beláthatóságot, növelve ezzel a balesetveszélyt. A most alkalmazott drónos gyomirtás kísérleti modellként került bevezetésre, annak vizsgálatára, hogy ez az innovatív technológia hosszabb távon alkalmazható lehet-e a vasúti átjárók beláthatóságának fenntartására. Bár jelenleg még nem képezi a MÁV általános gyakorlatának részét, az első eredmények alapján ígéretes alternatívát jelenthet a hagyományos kezelési módszerek mellett.



5. ábra Rálátási háromszög (közút és a vasút kereszteződése)

A drónos gyomirtási beavatkozások célterületei a közúti útátjárókhöz kapcsolódó rálátási háromszögek (5. ábra) voltak, melyek állapota közvetlenül befolyásolja a vasúti és közúti szereplők kölcsönös észlelhetőségét. E területek megfelelő karbantartása a közlekedésbiztonság alapvető feltétele, amit a vasúti pályafenntartási műszaki utasítások is részletesen szabályoznak. A vegetációs időszak során a rálátási háromszögekben gyorsan megjelennek a magas termetű kétszikű gyomnövények és a fás szárú újulók, amelyek akadályozhatják a beláthatóságot és fokozzák a baleseti kockázatot. A mostani kísérleti projekt célja az volt, hogy megvizsgáljuk: alkalmas-e a permetező dróntechnológia e területek hatékony, biztonságos és szabályos

kezelésére. Az alkalmazott eljárás nem igényelt vágányzárát, minimális személyzetet igényelt, és élő vasúti forgalom mellett is biztonságosan végrehajtható volt, a megfelelő légtér engedélyek birtokában. A kezelés során csak a kijelölt célterület került lefedésre, a kijuttatási paraméterek, a szórás kép és a hatékonyság dokumentálása megtörtént. A tapasztalatok alapján a módszer ígéretes alternatívát nyújthat a nehezen elérhető, de kötelezően tisztán tartandó vasúti szakaszokon, bár jelenleg még nem része a MÁV hivatalos eljárásrendjének.

A kiválasztott helyszínek és időpontok lehetőséget biztosítottak a technológia életszerű körülmények közötti kipróbálására, különösen olyan átjáróknál, ahol a gyomosodás a beláthatóságot ténylegesen korlátozta.

A drónos gyomirtás során a vasútforgalmi biztonság kiemelt figyelmet kapott. Minden helyszínen figyelőőr működött közre, aki rádiókapcsolatban állt a kezelőszeméllyel, és folyamatosan jelezte a közlő vonatokot, valamint ellenőrizte, hogy a munkavégzés a elsodrési határon kívül maradjon. A kezelések minden esetben engedélyezett vágányzár vagy forgalomkorlátozás mellett történtek, a MÁV belső előírásainak megfelelően. A drón repülése a vasúti forgalom irányával ellentétes irányból indult, ezzel is biztosítva, hogy a forgalom felől érkező járművek időben észlelhetők legyenek. A munkaterületet minden alkalommal figyelmeztető jelzésekkel és fényvisszaverő mellénnyel ellátott személyzet biztosította.



6. ábra Adatgyűjtés egy felderítő drón segítségével, Lados K. Nyárlőrinc, 2025.

A 6. ábra képen látható DJI Mavic 3 Enterprise típusú drón a permetezési munkálatokat megelőző helyszíni felderítésre szolgált. A drón nagy felbontású zoom-kamerája, valamint beépített RTK (Real-Time Kinematic) pozicionáló rendszere lehetővé tette, hogy a vasúti átjárókhoz tartozó rálátási háromszögek, illetve azok környezete centiméteres pontossággal feltérképezhető legyen. Különösen fontosnak bizonyult ez a belógó akadályok, például faágak, bokrok, oszlopok és légvezetékek előzetes azonosítása és dokumentálása szempontjából.

A repülés során készült felvételek (fotók, videók, ortofotók) alapján meghatározhatóvá váltak a kezelési határok, a repülési zónák és a várható kockázati pontok, ami jelentősen megkönnyítette a permetező drón későbbi programozását és repülési útvonalainak optimalizálását. A felderítő drón alkalmazásával sikerült elkerülni azokat a szituációkat, amelyek akadályozták volna a biztonságos repülést, így csökkentve az ütközésveszélyt és a műveleti megszakítások esélyét. A technológia alkalmazása különösen hasznosnak bizonyult azokban az átjárókban, ahol a sűrű növényzet vagy az infrastruktúrából adódó adottságok miatt nehézkes vagy korlátozott volt a szabad légtérhasználat, valamint ahol a terepviszonyok manuális bejárással nem voltak biztonságosan felmérhetők.

3.1.3 A vizsgálat módszerei

Annak érdekében, hogy a kísérleti projekt során ne csupán elméleti megfontolásokra, hanem objektív, terepi tapasztalatokra és visszamérhető eredményekre alapozva lehessen következtetéseket levonni, már a tervezési fázistól kezdve strukturált megfigyelési és értékelési módszertant alkalmaztam. A vizsgálat célja a drónos gyomirtás vasúti környezetben történő alkalmazhatóságának gyakorlati megalapozása volt. A vizsgálatot megelőzően helyszíni szemlét tartottam a kezelendő közúti átjárókban:

- a rálátási háromszögek pontos kiterjedését,
- a gyomosodás intenzitását és kiterjedését,
- a domináns gyomfajokat, különös tekintettel a gyorsan sarjadó, lágyszárú egyévesekre és az újuló fás szárú vegetációra.

A vizuális dokumentációt nagy felbontású felderítő drón (DJI Mavic 3 Enterprise) segítségével végeztem, mely lehetővé tette a belógó akadályok (faágak, vezetékszakaszok) térképezését is. A kezelést megelőző állapotot fényképekkel, videófelvételekkel és írásos jegyzőkönyvvel rögzítettem.

A permetező drón (DJI Agras T30) útvonalát, repülési magasságát, haladási sebességét, szórási sávszélességét és a kijuttatandó permetlé dózist előzetesen megterveztem, figyelembe véve a TopoRail rendszer alapján meghatározott kezelési sávokat.

A kezelésekről minden esetben részletes technológiai naplót vezettem, amely tartalmazza:

- a kezelés pontos időpontját, időtartamát, a beavatkozás alatti meteorológiai jellemzőket (hőmérséklet, széleseesség, relatív páratartalom),
- a felhasznált gyomirtószer típusát és hatóanyagát, a kijuttatott dózist, valamint a használt fúvókák és szóróberendezés jellemzőit,
- a beavatkozásban részt vevő személyeket, valamint a használt eszközök (drón, irányítóállomás, akkumulátorok, biztonsági felszerelések) listáját.

A gyomirtási beavatkozás eredményességének vizsgálatát több időpontban, visszatérő megfigyelések alapján végeztem:

- az 2., 4. és 6. hét során ismételt helyszíni szemlék történtek,
- a gyomosodás visszaszorulásának mértékét vizuálisan, százalékos becsléssel, valamint gyomtérkép-szerű vázlattal rögzítettem,
- a dokumentáció során külön figyelmet fordítottam a fás szárú újulók (pl. gyalogakác, vadrózsa) visszafejlődésének, valamint az egyszikűek (pl. kakaslábfü) és kétszikűek (pl. disznóparéj-félék) hervadási vagy újrahajtási reakcióira.

A DJI Agras T30 fedélzeti repülési naplója alapján:

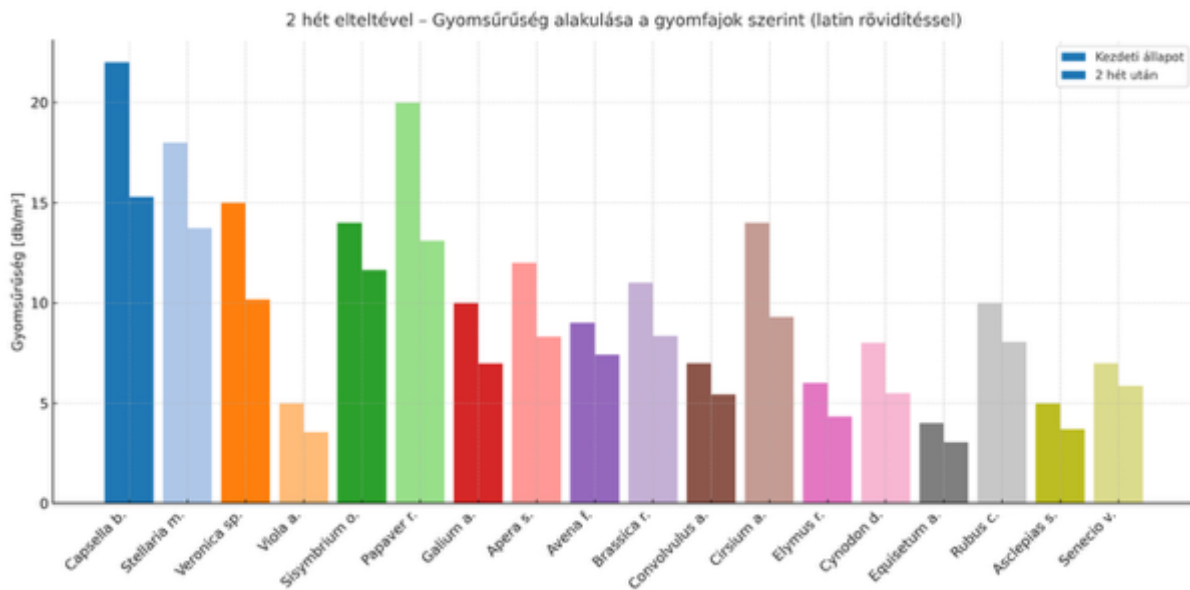
- ellenőriztem a tényleges kijuttatási útvonal lefedettségét, detektáltam az esetleges kihagyott vagy átfedő szórási sávokat,
- vizsgáltam, hogy a kijuttatás kizárólag a célterületre – azaz a rálátási háromszögön belüli kezelési sávra – korlátozódott-e,
- 7. ábra a drónos gyomirtást mutatja, nem történt elsodródás vagy nem kívánt szereljutas védett területekre, vízfolyásokba, vagy más nem célzott felületekre.



7. ábra Drónos gyomirtás, Lados K., Nyárlőrinc, 2025.04.12.

A 8. ábrán a drónos gyomirtási kezelést követő két hét elteltével mért gyomsűrűségi adatok láthatók. Az eredmények alapján a vegetáció fejlődése a kezelt területeken jelentősen lelassult, több helyen teljesen megállt. A gyomnövények levelein sárgulás, lankadás és enyhe nekrosis volt megfigyelhető, amely egyértelműen jelzi a hatóanyag felszívódását és annak élettani hatását. A vizuális felvételeken és a terepi megfigyelések során is egyértelmű volt, hogy a kezelt felület vegetációja már nem mutatott aktív növekedést, míg a kezeletlen kontrollsávokban a gyomok továbbra is erőteljes növekedést mutattak.

A különböző gyomfajok eltérő érzékenységet mutattak a kezelésre: míg a kétszikű fajok (pl. pipacs, pásztortáska) gyorsabban reagáltak, addig az egyszikű fajok (pl. nagy széltippan, csillagpázsit) esetében a hatás lassabban, fokozatosan jelentkezett. A 2 hét utáni adatokból jól látható, hogy a gyomsűrűség minden vizsgált gyom esetében csökkent, ugyanakkor a csökkenés mértéke nem volt egyenletes – egyes fajok esetében 15–35% közötti eltérés mutatkozott.

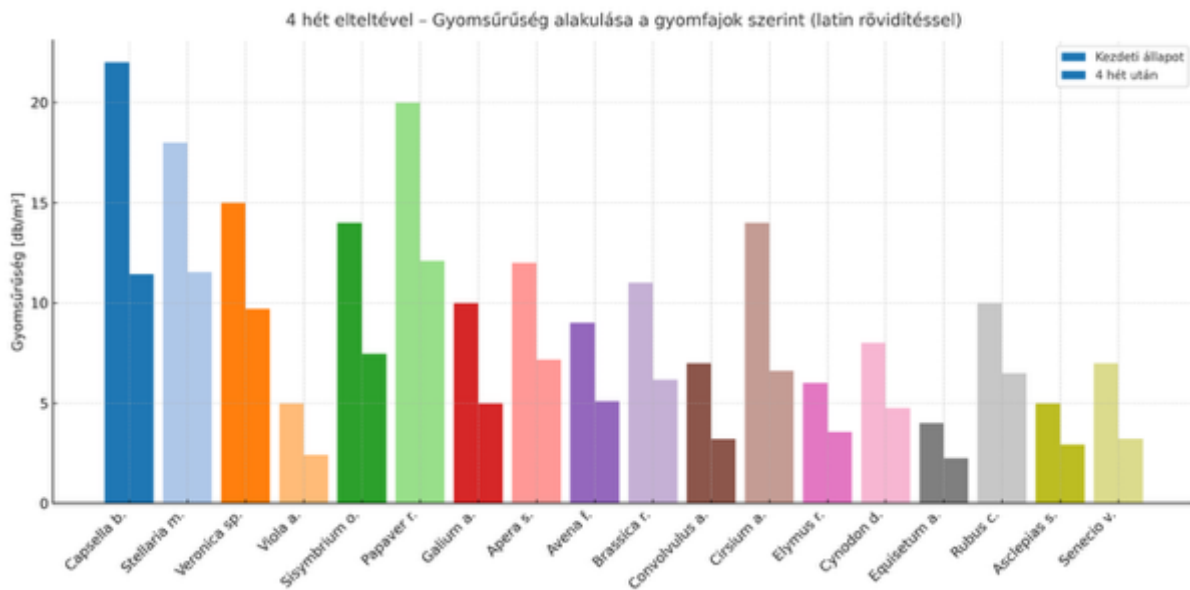


8. ábra Gyomsűrűség változása kezelést követő 2 hét elteltével

Összességében elmondható, hogy a drónos permetezés hatására a gyomállomány vitalitása visszaesett, a vegetációs aktivitás megszűnt, és a területen a herbicid fitotoxikus tünetei jól érzékelhetővé váltak. A kezelés hatékonysága tehát a várakozásoknak megfelelő, a gyomirtás folyamata már a kéthetes megfigyelési időszakban is egyértelműen nyomon követhető volt.

A 9. ábra a drónos gyomirtást követő négy héttel végzett visszaellenőrzés eredményeit mutatja be. A grafikonon jól látható, hogy a kezelt területeken a gyomsűrűség tovább csökkent a két héttel korábban mért értékekhez képest, ami a hatóanyag folyamatos felszívódásának és tartós biológiai aktivitásának köszönhető. A vizsgálat időpontjára a kezelések hatása már a legtöbb faj esetében egyértelműen megmutatkozott: a vegetációs aktivitás megszűnt, a növények levelei sárgulni, majd barnulni kezdtek, a gyökérszóna vízfelvétele és tápanyag-áramlása jelentősen lelassult.

Különösen jól megfigyelhető volt az egyszikű gyomfajok (például a nagy széltippan, hélazab, tarackbúza és csillagpázsit) érzékenyebb reakciója, amelyeknél a levélzet korai sárgulása és szövetelhalása már a harmadik hét környékén megindult. Ezek a fajok jellemzően gyorsabban reagáltak a glifozát hatóanyagra, mivel a levélen keresztüli felszívódásuk hatékonyabb volt, és a szállítószöveti rendszerük a hatóanyag gyorsabb eloszlását tette lehetővé. Az egyszikűek gyökérszónájában tapasztalt korai nekrozis a vegetáció teljes leállításához vezetett, ami a növények további fejlődését teljes mértékben megakadályozta.



9. ábra Gyomsűrűség változása kezelést követő 4 hét elteltével

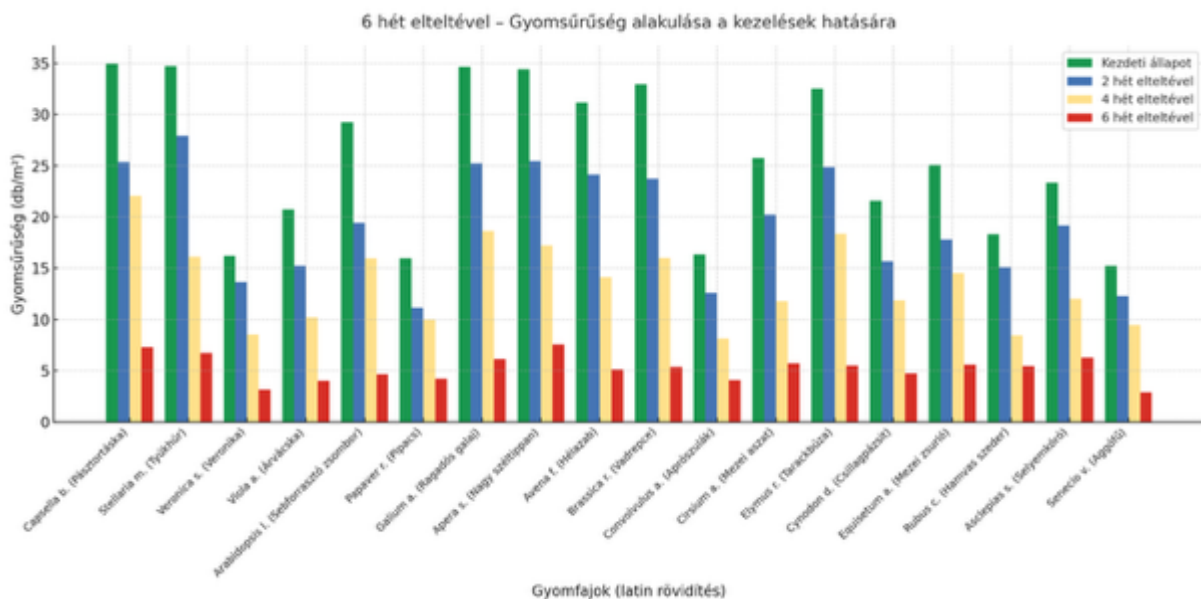
A kétszikű fajok (például pásztortáska, pipacs, tyúkhúr) esetében a gyomirtó hatás lassabban bontakozott ki. Ezeknél a fajoknál a levelek fokozatos sárgulása, a növekedés leállása és az alsó levélszinteken jelentkező apró nekrotikus foltok voltak megfigyelhetők, de a növények többsége ekkorra már jelentősen legyengült, és a fotoszintetikus aktivitásuk lecsökkent.

A kezeléseket után négy héttel a teljes vegetáció a kezelt sávokon belül láthatóan leállt: az új hajtások hiánya, a talajfelszín száradása és a gyomfajok visszaszorulása egyaránt a drónos gyomirtás tartós hatékonyságát igazolta. A kezelt felületeken a természetes növénytakaró regenerációja nem indult meg, a terület homogén, elszáradt vegetációval borított maradt. Ez a fázis egyértelműen mutatta, hogy a precíziós kijuttatás nemcsak rövid távon, hanem középtávon is képes volt hatékonyan csökkenteni a gyomterhelést, miközben a környező, nem kezelt zónákban a gyomok visszanövése megindult.

A négyhetes megfigyelés eredményei tehát megerősítették a technológia hosszabb távú biológiai hatékonyságát: a kezeléseket tartósan visszavetették a vegetációt, különösen az egyszikű fajok esetében, és a gyomflóra dinamikája jelentősen lelassult. Az adatok alapján a drónos technológia nemcsak gyors, hanem fenntartható és stabil megoldást kínál a vasúti gyommentesítésben.

A 10. ábra a drónos gyomirtás hatásának hathetes megfigyelését szemlélteti, amelyben a kezdeti állapot, valamint a 2., 4. és 6. hét eredményei kerültek összehasonlításra. A grafikon egyértelműen igazolja, hogy a kezelés folyamatosan fejtette ki hatását, és a gyomsűrűség minden gyom esetében drasztikusan csökkent a kiindulási értékhez képest. A teljes

gyomállomány 70–85%-os csökkenést mutatott, ami a kezelés hosszú távú biológiai hatékonyságát bizonyítja.



10. ábra Gyomsűrűség változása kezelést követő 4 hét elteltével

A hatodik hétre a vegetáció már szinte teljesen elszáradt, a levelek színe sárgásbarnára változott, a növények szöveti szerkezete megbomlott, és az asszimilációs felület gyakorlatilag megszűnt. A korábban még zölden maradt, lassabban reagáló fajok (például a tyúkhúr, veronika fajok és pipacs) is elhalt állapotba kerültek. A glifozát hatóanyag ekkorra már teljes mértékben felszívódott, és a szállítószövetek révén a növények minden részébe eljutott, ami a gyökérszóna teljes pusztulását is eredményezte. Ennek következtében a regenerációs képesség minimálisra csökkent, új hajtások megjelenése gyakorlatilag nem volt tapasztalható.

Az egyszikű gyomok (például a nagy széltyű, hélazab, csillagpázsit és tarackbúza) esetében a hatás különösen látványos volt. Ezek a fajok már a 4. héten jelentős levélkárosodást mutattak, a 6. hétre pedig teljesen elszáradtak. A gyökérhálózat elvékonyodott, a rizómák kiszáradtak, és a talajfelszín közelében sárgás, törékeny maradványok jelezték a vegetáció teljes leállítását. Az egyszikű fajok tehát különösen érzékenyen reagáltak a hatóanyagra, ami a leveleken keresztüli gyors felszívódásnak és a szállítószövetek gyors működésének köszönhető.

A kétszikű gyomok között (például pásztortáska, pipacs, sebforrasztó zsombor) a pusztulás fokozatosan, de egyértelműen haladt előre. A levéllemezeken és szárazon megjelent nekrotikus foltok, valamint a klorofillvesztés az anyagcsere-folyamatok teljes leállítását jelezték. A fotoszintézis hiánya miatt a növények tápanyagkészlete kimerült, a talaj feletti részek elvékonyodtak, és a szél, illetve csapadék hatására a száraz könnyen lefeküdtek.

A hathetes értékelés alapján megállapítható, hogy a drónos kijuttatás nemcsak gyorsan, hanem tartósan is biztosította a gyommentességet. A kezelési sávokon a vegetáció megszűnt, és a gyomflóra regenerációja nem indult meg, ami egyértelműen a precíziós kijuttatás és az időjárási ablakhoz igazított munkavégzés hatékonyságát támasztja alá. A drónos technológia előnye, hogy a permetezési térképeknek köszönhetően a kezelések pontosan megismételhetők, így az ilyen mértékű gyomszabályozás hosszú távon is fenntartható.

Összességében a 10. ábrán bemutatott eredmények azt bizonyítják, hogy a drónos gyomirtás a vasúti átjárók és a pályamenti területek fenntartásában stabil, hatékony és környezetkímélő alternatívát jelent a hagyományos eljárásokkal szemben, miközben csökkenti a munkaerő- és gépigényt, valamint növeli a beavatkozások biztonságát és precizitását.

3.1.4 Kézi kaszálás eredmények

A kézi kaszálásos bokorirtási és gyommentesítési munkálatok a 147-es számú vasútvonalon, a MÁV Pályaműködtetési Zrt. Szegedi Pályavasúti Területi Igazgatóság, Kecskeméti Pályafenntartási Főnökség megbízásából valósultak meg. A tevékenység célja a vasúti átjárók és a hozzájuk kapcsolódó rálátási háromszögek megtisztítása, a vasúti közlekedés biztonságának fenntartása, valamint a növényzet által korlátozott látási viszonyok megszüntetése volt.

6. táblázat 147-es vasútvonal útátjáróiban történő kézikaszálás

Dátum	Megtisztított útátjárók darabszáma	Terület (m²)	Létszám	munkaóra	Megjegyzés / helyszínek kód
2025.07.07	2	2700	6	48	10700134277
2025.07.08	2	2100	6	48	10700134086
2025.07.09	2	2200	6	48	10700134086
2025.07.10	3	2000	5	40	10700134086
2025.07.11	2	2000	5	40	10700134086
Összesen:	11	11000	28	224	

A munkálatok 2025. július 7–11. között zajlottak, öt egymást követő munkanapon, összesen tizenegy vasúti útátjáró területén. A feladatot 4–6 főből álló munkacsoport végezte, kézi motoros fűkaszák segítségével. Az alkalmazott eszközök jellemzően nagy teljesítményű, vállra

akasztható benzines kaszák voltak, amelyek alkalmasak a vasúti pálya mentén található sűrű, vegyes gyom- és cserjeszint eltávolítására is.

A kaszálás során a munkaterület kijelölése és a vasútbiztonsági intézkedések megtétele után a dolgozók a vágány mindkét oldalán, a látási háromszög teljes területén végezték a növényzet eltávolítását. A levágott anyagot a legtöbb helyszínen összegyűjtötték és a vágánytól biztonságos távolságra helyezték el. A munkafolyamat nagy fizikai igénybevételt jelentett, és az időjárási körülmények – különösen a nyári meleg és a magas páratartalom – tovább nehezítették a végrehajtást.

A 6. táblázat a 147-es számú vasútvonal útátjáróiban végzett kézi kaszálási munkák adatait tartalmazza. A táblázatból jól látható, hogy a munkavégzés öt egymást követő napon zajlott, összesen 11 vasúti átjáróban, melyekhez összesen 11 000 m² megtisztított terület tartozik. A munkát átlagosan napi 5–6 fő végezte, napi 40–48 munkaórában, motoros fűkaszák alkalmazásával. A megjegyzésben szereplő SAP azonosítók segítségével pontosan beazonosíthatók az egyes átjárók, ami lehetővé teszi a munkaterületek visszakövetését és nyilvántartását a MÁV rendszerében.

Az adatokból megfigyelhető, hogy a napi teljesítmény a körülményektől és a területi adottságoktól függően változott. A legnagyobb mennyiségű kaszálás július 7-én történt, ekkor 2700 m²-nyi területet tisztított meg a brigád. A legkisebb napi teljesítmény július 8–11. között volt tapasztalható, ahol a munkaterület nagysága 2000–2200 m² között alakult.

A munkateljesítményt befolyásolta a növényzet sűrűsége, a domborzati viszonyok, valamint a műtárgyak és egyéb akadályok jelenléte, melyek miatt több helyen kézi utómunka is szükségessé vált. Az időjárási tényezők szintén hatással voltak a teljesítményre: a júliusi meleg, a magas páratartalom és a vasúti forgalomhoz igazított munkarend jelentős fizikai igénybevételt rótt a dolgozókra.

A kézi kaszálás előnye, hogy precíz munkavégzést tesz lehetővé az olyan pontokon, ahol a gépi vagy drónos technológia nem alkalmazható, például jelzők, kábelcsatornák, vagy szűk átereszek környezetében. Hátránya ugyanakkor a nagyobb munkaerőigény, a hosszabb munkavégzési idő és a magasabb személyi költség. A kaszálási technológia hatékonysága — a megtisztított terület nagyságát és a felhasznált emberi erőforrást figyelembe véve — lényegesen alacsonyabb, mint a drónos permetezésé, különösen nagyobb kiterjedésű vagy nehezen megközelíthető területeken.

7. táblázat Kézi kaszálásos munkavégzés költség- és munkaerőelemzése

Dátum	Munkadíj rezszi Ft			Kisgép költség (Ft)			Gépjármű futás költség (Ft)	
	Létszám	Munkaóra	7 000	Kaszák száma (db)	Üzemóra	3000	km	200
2025.07.07	6	48	336 000	5	17	51 000	100	20 000
2025.07.08	6	48	336 000	5	14	42 000	100	20 000
2025.07.09	6	48	336 000	5	13	39 000	100	20 000
2025.07.10	5	40	280 000	4	12	36 000	100	20 000
2025.07.11	5	40	280 000	4	12	36 000	100	20 000
Összesen	28	224	1 568 000		68	204 000	500	100 000

A 7. táblázat a kézi kaszálás során felhasznált munkaerő, munkaidő és költségek összesített adatait mutatja be. A munkálatok öt egymást követő napon zajlottak, összesen 28 fő bevonásával, akik 224 munkaórát teljesítettek. A munkát átlagosan 5–6 fős brigádok végezték motoros fűkaszákkal, napi 40–48 órás összteljesítménnyel.

A táblázat adatai alapján a kézi kaszálás teljes munkadíj- (rezsi) költsége 1 568 000 Ft volt, amelyhez további 204 000 Ft kisgép-üzemeltetési és 100 000 Ft gépjármű-használati költség társult. Összesen tehát a kézi kaszálás költsége elérte az 1 872 000 Ft-ot, miközben a megtisztított terület nagysága 11 000 m² volt.

8. táblázat A kézi kaszálás összesített költség- és teljesítményadatai

Megtisztított terület (db)	Megtisztított terület (m ²)	Munkaóra összesen (óra/m ²)	Költségek összesen (Ft/m ²)	Költségek összesen (Ft)
2	2 700	56,25	151	1 872 000
2	2 100	43,75	190	
2	2 200	45,83	180	
3	2 000	50,00	168	
2	2 000	50,00	168	
11	11 000	49,17	171,16	

A napi költségek között 151 és 190 Ft/m² közötti ingadozás figyelhető meg, amelyet a növényzet sűrűsége, a kaszálási nehézség és a terület megközelíthetősége befolyásolt. A

munkaidő és a területteljesítmény arányából számolva a brigád átlagosan 49,17 munkaóra/m², illetve 171,16 Ft/m² fajlagos költséggel dolgozott. A kézi kaszálás költségszerkezete alapján a humán munkaerő költsége a teljes ráfordítás közel 80%-át tette ki, míg a gépüzemeltetés és gépjárműhasználat együttesen mintegy 20%-ot képviselt.

A 8. táblázat a kézi kaszálás összesített mutatóit tartalmazza, amely a napi adatok alapján készült. A kaszálási munkálatok során öt munkanap alatt összesen 11 000 m² terület került megtisztításra, 28 fő bevonásával, 224 munkaóraráfordításával. A teljes munkafolyamat során felmerült költségek megoszlása a következőképpen alakult:

- Munkadíj (rezsi): 1 568 000 Ft
- Kisgépek üzemeltetése: 204 000 Ft
- Gépjárműhasználat: 100 000 Ft

A kézi kaszálás teljes ráfordítása így 1 872 000 Ft, ami 171 Ft/m² fajlagos költségnek felel meg. A munkaerő-felhasználás alapján a brigád teljesítménye 49,17 munkaóra/m², illetve átlagosan 56 m²/óra munkasebességet ért el, ami jól tükrözi a kézi beavatkozás időigényes és fizikai jellegét.

A fajlagos költségek és teljesítményadatok alapján elmondható, hogy a kézi kaszálás költségszerkezete döntően a humán munkaerőhöz kötődik, amely a teljes kiadás több mint négyötödét teszi ki. A kisgépek és a szállítóeszközök költsége ehhez képest jóval alacsonyabb, de elengedhetetlen a munka elvégzéséhez. A munkateljesítmény szempontjából a napi átlagos előrehaladás 2000–2700 m² között alakult, ami 5–6 fős csoportok mellett reális értéknek tekinthető. A 8. táblázat tehát összegzi a kézi kaszálás gazdasági és technikai mutatóit, amelyek jól szemléltetik, hogy a módszer bár pontos és megbízható, a költség- és időigénye jelentős. A kézi kaszálás hatékonysága különösen alacsony a nagyobb kiterjedésű területeken, ahol a fizikai munka és a logisztikai ráfordítás arányaiban túlsúlyba kerül. Az ilyen típusú beavatkozások hosszú távon csak kiegészítő jelleggel tarthatók fenn, főként a műtárgyak, váltók és jelzőberendezések környezetében, ahol a precíz emberi munkavégzés továbbra is nélkülözhetetlen.

3.1.5 Költség- és teljesítmény adatok

A 9. táblázat a drónos gyomirtás költség- és teljesítményadatait mutatja be. A munkálatok három egymást követő napon zajlottak, napi 8 órás munkavégzéssel, összesen 26 átjáróban. Az egyes átjárók átlagos területe 4 800 m² volt, így a teljes kezelt terület 124 800 m²-t tett ki.

A költségek összesítése alapján egy átjáró kezelése 112 000 Ft-ba került, ami összesen 2 912 000 Ft teljes költséget jelentett. A drónos gyomirtás így 23,33 Ft/m² fajlagos költségszinten

valósult meg, ami a kézi kaszálás 171 Ft/m²-es költségéhez viszonyítva 86%-kal alacsonyabb ráfordítást jelentett.

A munkavégzés sebessége és területi teljesítménye szintén kiemelkedő: a beavatkozás során átlagosan 5 200 m²/óraterület kezelése történt, amely a kézi kaszálásnál mért 56 m²/óra értékhez képest több mint 90-szeres hatékonyságot jelentett.

9. táblázat A drónos gyomirtás költség- és teljesítményadatai

Mutató megnevezése	Érték	Mértékegység
Kezelt átjárók száma	26	db
Egy átjáró átlagos területe	4 800	m ²
Összes kezelt terület	124 800	m ²
Egy átjáró költsége	112 000	Ft
Összes költség	2 912 000	Ft
Költség négyzetméterenként	23,33	Ft/m ²
Munkavégzés időtartama	3 nap	8 óra/nap
Összes munkaidő	24	óra
Átlagos teljesítmény	5 200	m ² /óra
Átlagos költség naponta	970 667	Ft/nap

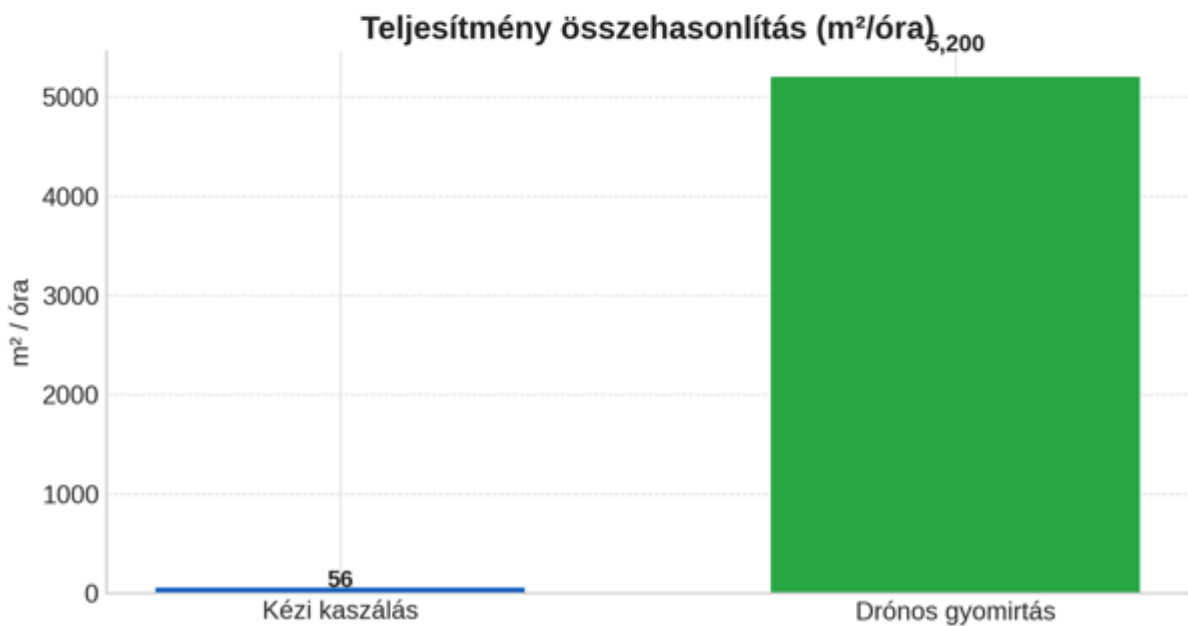
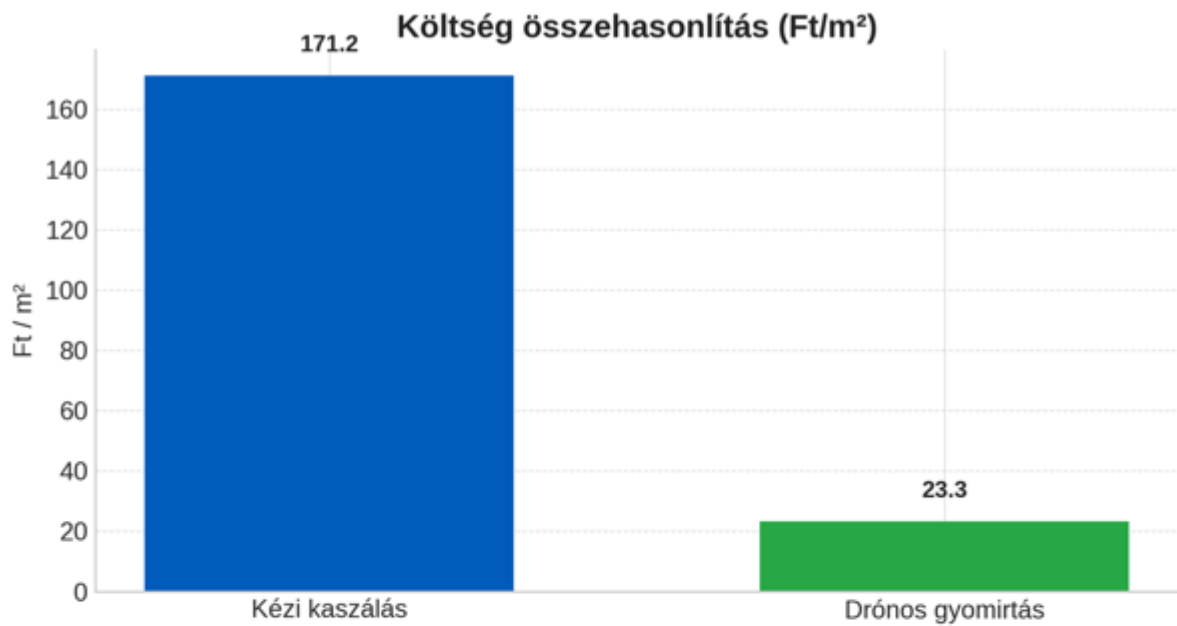
A drónos eljárás tehát nemcsak költség, hanem időalapon is nagyságrendekkel hatékonyabb. Míg a kézi kaszálás öt napot igényelt 11 000 m² területen, a drónos technológia három nap alatt több mint tízszer akkora területet kezelt le, jóval kisebb összes emberi és logisztikai ráfordítással.

A drónos gyomirtás így a vizsgálatok alapján egyértelműen bizonyította, hogy a vasúti rálátási háromszögek növényzetkezelésének legköltséghatékonyabb és leggyorsabb módszere, amely mellett a kézi kaszálás elsősorban csak kiegészítő, finomító jellegű munkálatokra indokolt.

3.1.6 Kézi kaszálás és a drónos gyomirtás eredmények összehasonlítása

A Hiba! A hivatkozási forrás nem található. szemléletesen mutatja be a kézi kaszálás és a drónos gyomirtás közötti különbséget mind költség, mind területi teljesítmény tekintetében. Jól látható, hogy a drónos technológia lényegesen alacsonyabb fajlagos költséggel dolgozik, hiszen míg a kézi kaszálás esetében 1 m² megtisztítása átlagosan 171 Ft-ba, addig a drónos eljárásnál mindössze 23 Ft-ba került. Ez több mint hét és félszeres költségkülönbséget jelent az automatizált technológia javára.

11. ábra Összehasonlító diagramok



A teljesítmény tekintetében a különbség még jelentősebb: a kézi kaszálás során a brigád átlagosan 56 m²-t tudott megtisztítani óránként, míg a drónos technológia ugyanezen idő alatt mintegy 5200 m²-t kezelt le. Ez több mint 90-szeres hatékonyságbeli előnyt jelent, ami jól érzékelteti a korszerű növényzetkezelésben rejlő potenciált.

A két módszer közötti arányokból egyértelműen látszik, hogy a drónos gyomirtás nemcsak gyorsabb és pontosabb, hanem költséghatékonyabb, biztonságosabb és munkaerő-takarékosabb

megoldást kínál. Míg a kézi kaszálás továbbra is szükséges a precíziós beavatkozást igénylő területeken, a nagyobb kiterjedésű, ismétlődő kezelések esetében a drónos technológia egyértelműen a vasúti növényzetkezelés jövőjét képviseli.

4 Következtetések

A kutatás során végzett vizsgálatok és terepi kísérletek egyértelműen igazolták, hogy a drónos gyomirtási technológia hatékony, gazdaságos és biztonságos alternatívát jelent a vasúti pálya menti növényzetkezelésben. A kísérleti beavatkozások során – amelyek a MÁV Pályaműködtetési Zrt. Pályavasúti Területi Igazgatóság Szeged, Pályafenntartási Főnökség Kecskemét kezelésében lévő 145. és 147. számú vasútvonal szakaszain valósultak meg – részletesen összehasonlítottam a kézi kaszálás és a drónos gyomirtás műszaki, időbeli és költségbeli jellemzőit. A mérések alapján a kézi kaszálás öt munkanap alatt 11 000 m² területet tisztított meg 1 872 000 forint ráfordítással, míg a drónos technológia három nap alatt 124 800 m² kezelést végzett el 2 912 000 forintos költséggel. Ez azt jelenti, hogy a drónos gyomirtás mintegy tízszer nagyobb területen végzett beavatkozást másfélszer rövidebb idő alatt, hétszer alacsonyabb fajlagos költséggel (23 Ft/m² szemben 171 Ft/m²-rel). A területi teljesítmény tekintetében a különbség még szembetűnőbb: míg a kézi kaszálás óránként átlagosan 56 m²-t tudott kezelni, addig a drónos permetezés elérte az 5 200 m²/órás teljesítményt.

A terepi megfigyelések azt is igazolták, hogy a drónos gyomirtás nemcsak gyorsabb és olcsóbb, hanem biztonságosabb és tervezhetőbb is. A beavatkozások nem igényeltek vágányzárat, a vasúti forgalmat nem akadályozták, és minimális emberi jelenléttel megvalósíthatók voltak. Az RTK-GNSS alapú repülésvezérlésnek és a precíz kijuttatási rendszernek köszönhetően a drón képes volt a kezelési zónákat pontosan lefedni, a hatóanyag-felhasználás pedig optimalizáltan, veszteség nélkül történt. A vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a vasúti rálátási háromszögek növényzetkezelésében a drónos technológia jelentős költség- és munkaidő-megtakarítást biztosít, miközben a kezelések hatása tartósabb és egyenletesebb a kézi kaszáláshoz képest. A beavatkozások után végzett utánkövetés alapján a gyomok újrarahajtása drónos kezelés esetén 6–8 hétig sem volt számottevő, míg a kézi kaszálás után már 3–4 héten belül újránövekedés volt tapasztalható.

Összességében megállapítható, hogy a drónos gyomirtás a vasúti növényzetkezelés korszerű, hatékony és fenntartható irányát képviseli. A kézi kaszálás továbbra is fontos kiegészítő szerepet tölthet be a műtárgyak, jelzők és váltók közvetlen környezetében, azonban a nagyobb területek kezelése esetében a drónos technológia bevezetése jelentősen növelheti a pályafenntartási tevékenységek hatékonyságát, csökkentheti a költségeket és a humán erőforrás-igényt.

4.1 Negatív tapasztalatok

A permetező drónos technológia működését a kedvezőtlen időjárási körülmények erőteljesen befolyásolták. A kijuttatás sikere, pontossága és biztonsága teljes mértékben az adott napi meteorológiai viszonyoktól függött. Minden kezelési nap reggelén részletes időjárás-elemzésre és helyszíni megfigyelésre volt szükség a repülés engedélyezéséhez. A legsúlyosabb problémát a szellőkések jelentették, különösen a nyári időszakban jellemző záporok és frontátvonulások idején:

- Szellőkések ($25 \text{ km/h} \geq$): A gyakorlatban előforduló, hirtelen fellépő szellőkések súlyosan veszélyeztették a repülés biztonságát és a permetlé pontos kijuttatását. A DJI Agras T30 gyári specifikáció szerint kb. 25 km/h szélsébségig repülhet, de a valóságban már 20 km/h felett is instabillá válhatott, és elsodródás lépett fel. Emiatt a kezeléseket gyakran el kellett halasztani, vagy megszakítani.
- Állandó szél: A $35\text{-}40 \text{ km/h}$ tartományban mozgó állandó szél már önmagában is befolyásolta a szóráskép alakulását. Ha az irány a kezelési sávra merőleges volt, a permetlé elsodródhatott a célterületről, ami pontatlan fedettséget és vegyszerveszteséget eredményezett.
- Csapadék: Záporos, változékony napokon nem volt lehetőség kezelésre, mivel a gyomirtószernek legalább 1-3 órányi száraz időszakra van szüksége a megfelelő felszívódáshoz. A kezelés utáni esőzés leronthatta a hatékonyságot, így ilyenkor a teljes munkanap kieshetett.
- Magas páratartalom ($>80\%$): Esetenként páralecsapódás alakult ki a növényzeten, ami rontotta a permetlé tapadását. A túl nedves levélfelületeken a kijuttatott szer lecsorgott, így a kezelés hatástalan lehetett.
- Hőmérsékleti korlátok: A forró délutáni órákban az intenzív napsugárzás és a levegő felmelegedése gyorsította a permetlé párolgását, ezzel csökkentve a hatékonyságot. Emellett a drón akkumulátorainak túlmelegedése is előfordulhatott, különösen folyamatos repülések esetén.

4.2 Pozitív tapasztalatok

A növényvédelmi permetező drón egyik legnagyobb előnye a precíziós, kizárólag célfelületre irányuló permetezés, amely révén a felhasznált vegyszermennyiség jelentősen csökkenthető a hagyományos módszerekhez képest. A hagyományos vonatos vagy kézi kijuttatásokkal szemben a drón nem permetez feleslegesen, kizárólag a kijelölt kezelési zónára koncentrál.

- Vegyszermegtakarítás: A növényvédelmi permetező drón szórástechnikája (RTK-alapú sávkövetés, állítható fúvókák, szakaszolás) lehetővé teszi, hogy csak ott kerüljön kijuttatásra a szer, ahol ténylegesen gyomosodás van. A rendszer nem kezel védett sávokat, tiszta zónákat, árnyékos aljnövényzet nélküli részeket, így elkerülhető a pazarlás. Becslések szerint a kijuttatott hatóanyag mennyisége akár 30–40%-kal alacsonyabb lehet a kézi vagy vonatos kezeléshez képest, ugyanakkora területen.
- Költséghatékonyság: A kisebb vegyszermennyiség közvetlen megtakarítást jelent az anyagköltségekben, különösen, ha nagy területről vagy gyakori kezelési igényről van szó. Egy-egy átjáróra vetítve a növényvédelmi permetező drónos kezelés költsége nem nő arányosan a kezelési gyakorisággal, hiszen a kezelési térkép és repülési terv újra használható, így csak a vegyszer- és akkumulátor-felhasználás nő – a munkaszervezési ráfordítás minimális.
- Szezonális, több alkalmas alkalmazás: A gyomosodás üteme és a különböző fajok fenológiai ciklusa miatt egyetlen kezelés nem elegendő a rálátási háromszögek tisztántartásához. A növényvédelmi permetező drón technológiája azonban lehetővé teszi, hogy évente több alkalommal is végrehajtsuk a célzott beavatkozást, az alábbi vegetációs szakaszokra ütemezve:
 - Kezdeti időszak (április–május): korai, magról kelő egyszikű és kétszikű gyomok ellen – pl. tyúkhúr, széltippan, veronika-félék.
 - Teljes vegetációs időszak (május–június): gyorsan növő fajok és fás szárú újulások visszaszorítása – pl. disznóparéj, tarackbúza, gyalogakác.
 - Záró időszak (szeptember–október): másodlagos sarjak és új kelések kezelése, felkészítés a télre – pl. kakaslábfű másodvetések, vadrózsa új hajtásai.
- A háromszori éves kezelés nem eredményez arányos költségnövekedést, mivel a technológia egyik legnagyobb előnye a digitális újrahasznosíthatóság. Az első felmérés és térképezés során létrehozott adatok – beleértve a kezelési útvonalakat, a repülési paramétereket és a permetezési zónákat – a későbbi munkákhoz automatikusan felhasználhatók. Ennek köszönhetően a drón a következő kezeléseknél már előre programozott repülési és szórási adatokkal dolgozik, így nincs szükség újratervezésre vagy ismételt terepi előkészítésre. Ez nemcsak jelentősen lerövidíti a munkavégzés idejét, hanem csökkenti az üzemanyag-, munkaerő- és szervezési költségeket is, miközben a hatékonyság és a precizitás változatlan marad.



12. ábra *Drónos permetezés rálátási területen, Lados K. Nyárlőrinc, 2025.*

A 12. ábra drón takarékos gyomirtószer-kijuttatása közben készült, amely jól szemlélteti a precíziós technológia egyik legnagyobb előnyét: a vegyszerfelhasználás minimalizálását. A vegyszertakarékosság tehát nem csupán környezetvédelmi szempontból előnyös, hanem rendszerszintű fenntartási költségcsökkentő tényezőként is megjelenik, hiszen a drón kizárólag a kezelendő, gyomos foltokra juttatja ki a hatóanyagot. Ezáltal elkerülhető a felesleges permetezés, csökken az anyagfelhasználás és a logisztikai igény. Különösen kedvező, hogy az átjárók gyommentes állapota akár három, célzott beavatkozással is fenntartható, ami hosszú távon tovább mérsékli az üzemeltetési költségeket.

A növényvédelmi permetező drón egyik legnagyobb technológiai előnye a kivételes pontosságú kijuttatás, amely mind térben, mind mennyiségben a célnak megfelelő beavatkozást tesz lehetővé. Működése előre feltöltött térképek, automatizált repülési útvonalak és RTK-GNSS alapú navigáció szerint történik, így a drón centiméteres pontossággal permetez kizárólag a kijelölt gyomos zónákban. A drón képes fix magasságban és sebességgel repülni, aminek köszönhetően a kijuttatott permetlé szóráskepe egyenletes és ismételhető. A permetezés sávonként történik, pontos lefedettségi aránnyal, elkerülve az átfedéseket és kihagyásokat. A kijelölt kezelési sáv nem érinti a tiszta, gyommentes zónákat, nem szennyezi a műtárgyak, árkok, védett területek környezetét. Az előre rögzített repülési terv biztosítja, hogy a drón

kizárólag a rálátási háromszögben belül és csak ott működjön, ahol ténylegesen gyomosodás van. Minden kijuttatás naplózott, az adatokat a rendszer eltárolja (idő, hely, mennyiség, sáv), így a munkavégzés teljes mértékben ellenőrizhető. A korábbi repülések térképei és beállításai ismételten felhasználhatók, ezáltal azonos területen történő többszöri kezeléskor nincs szükség újratervezésre. A növényvédelmi permetező drón képes akadályokat (pl. villanyoszlop, jelző, árbóc) érzékelni és automatikusan kikerülni, így a kijuttatás nagy biztonsággal hajtható végre még bonyolult környezetben is. A permetezés elkerüli a nem célnövényeket, így kíméli a hasznos vegetációt, például a védett növényeket vagy a fás szárú, de nem zavaró egyedeket költséget, időt és környezetterhelést csökkent, miközben pontosabb és megbízhatóbb beavatkozást tesz lehetővé, mint bármely hagyományos módszer. A növényvédelmi permetező drón alkalmazása során a kezelési területek első alkalommal digitálisan felmérésre kerülnek, amely során létrejön egy pontos térinformatikai adatbázis az átjárókhöz kapcsolódó rálátási háromszögekről. Ez az adatbázis nemcsak az aktuális kijuttatás alapja, hanem hosszútávon újra használható, így jelentősen csökkenthetők a későbbi beavatkozások előkészítési költségei és időigénye.



13. ábra Drónos cserjeirtás, Lados K., Nyárlőrinc, 2025.04.12.

A 13. ábra drón működés közben készült felvételét mutatja, amint a vasúti pálya mentén, a töltésoldal sűrű cserjés vegetációja felett hajt végre célzott kezelést. A képen jól megfigyelhető,

hogy a drón alacsony, precízen tartott repülési magasságban dolgozik, a pálya infrastruktúráját – például az oszlopokat és a vezetékeket – biztonságos távolságból elkerülve. Az ilyen sávok kijuttatás lehetővé teszi, hogy a permetlé kizárólag a cserjésedés által veszélyeztetett területekre kerüljön, miközben a vasúti pálya és a természetes vegetáció épen marad. A drón alkalmazásával a cserjeirtás pontosan szabályozható, egyenletes és veszélytelenül elvégezhető, ami különösen fontos a nehezen megközelíthető vagy forgalmas vasúti szakaszokon.

A repülés során rögzített felvételek és műszaki adatok nem csak növényvédelmi célt szolgálnak: tárolhatók és feldolgozhatók pályaállapot, infrastruktúra-ellenőrzés, közúti kapcsolatok, rézszűállapot szempontjából is. Így a MÁV egy komplex digitális térinformatikai adatbázist építhet ki, amely később akár mesterséges intelligencia alapú döntéstámogatásban is hasznosítható. A drónok által készített, helyhez kötött felvételek révén térképezhető a teljes pályahálózat menti vegetációs állapot, beleértve a természetvédelmi szempontból érzékeny területeket is. Ez segíti a környezetvédelmi megfelelést, és előkészíti az adatvezérelt fenntartási stratégiák alkalmazását.

A drónos gyomirtás tehát nem csupán „pillanatnyi beavatkozás”, hanem egy modern, adatalapú vasútüzemeltetési kultúra alapköve lehet, ahol minden kezelés egyben térképezés és előkészítés a jövőre nézve.



***14. ábra Kezelés után 2 héttel a rálátási területen,
Lados K., Nyárlőrinc 2025.***

A 14. ábra mutatja a drónos növényvédelmi permetezést követően 2 héttel végzett visszaellenőrző terepszemlék a 3. táblázat, 4. táblázat,

5. táblázatok alapján megállapítható, hogy a kijuttatott gyomirtó szer látványos hatást fejtett ki a célterületeken. A nyílt, napos területeken a gyomnövényzet növekedése leállt, majd fokozatosan elszíneződött, elszáradt és elhalt. Különösen jól reagáltak a kezelésre a lágyszárú, gyorsan fejlődő fajok, mint a disznóparéj, parlagfű, kakaslábű, tarackbúza és más egy- vagy kétszikű fajok. A permetezési útvonalak mentén jól kirajzolódott a beavatkozás nyoma, a gyomnövények visszaszorulása megerősítette a precíziós kijuttatás sikerességét. A kezelési térképpel összevetve a valós növényreakciókat, elmondható, hogy a drón a kijelölt zónákban pontosan és célzottan dolgozott

Azonban a bokros, cserjés növényzettel borított sávokban (különösen az átjárókhöz közeli, régóta elhanyagolt részsűkön és töltések mentén), illetve a műtárgyak közvetlen környezetében (pl. jelzőoszlopok, villanyoszlopok, biztosítóberendezések) a hatóanyag eloszlása korlátozottabb volt. Ezeken a területeken az árnyékolás és a lombzat zártsága miatt a permetlé nem jutott el minden gyomnövényre, így a gyomirtó hatás késleltetve vagy részlegesen jelentkezett. Itt a vegetációban maximum sárgulás, lankadás volt megfigyelhető, de nem teljes pusztulás. (14. ábra)



15. ábra Gyomosodási kép a vágányok között kezelés után 2 héttel, Lados K., Nyárlőrinc, 2025.04.17.

Összességében a vizsgálatok igazolták, hogy:

- Nyílt területeken a drónos kijuttatás hatékony, jól irányított és eredményes.
- Részben fedett vagy elbokrosodott szakaszokon a szer hatása csökkent, újrahajtás szükséges.
- A teljes kezelés hatékonysága szorosan összefügg a vegetáció típusával, a fizikai akadályok elhelyezkedésével, valamint a szélirány és időjárás körülményeivel.

A megfigyelések alapján a drónos gyomirtás szabályozott, célterület-alapú felhasználása hosszú távon is fenntartható módszer lehet, különösen, ha megfelelő előkészítés (bokormentesítés, térképezés) előzi meg a beavatkozást.

5 Összefoglalás

A vizsgálataim során szerzett tapasztalatok egyértelműen azt mutatták, hogy a drónos gyomirtás nemcsak technológiai szempontból jelent előrelépést, hanem gazdasági és környezeti oldalról is sokkal fenntarthatóbb megoldást kínál a vasúti pályák menti növényzetkezelésben. A kísérletek során a drónos technológia minden tekintetben hatékonyabbnak bizonyult, mint a hagyományos kézi kaszálás.

A kézi kaszálás öt nap alatt 11 000 négyzetmétert tudott megtisztítani közel 1,9 millió forintos összköltséggel, míg a drón három nap alatt több mint 124 000 négyzetmétert kezelte le 2,9 millió forintból. Ez azt jelenti, hogy a drónos gyomirtás nagyjából tízszer nagyobb területet fedett le, hét és félszer olcsóbban és kilencvenszer gyorsabban. A fajlagos költség így mindössze 23 forint volt négyzetméterenként, szemben a kézi kaszálás 171 forintos átlagával.

A drónos technológia előnye nemcsak a teljesítményben és a költségekben mutatkozott meg, hanem a környezeti hatásokban is. A precíz kijuttatás és az RTK-alapú navigáció lehetővé tette, hogy a drón csak a szükséges felületeket kezelje, ezáltal jelentősen csökkent a vegyszerfelhasználás és a vízigény. A permetezés során használt tapadásfokozó és elsodródásgátló adalékanyagok megakadályozták, hogy a szer eljusson a nem célzott területekre, így a környező növényzet és vízfolyások védelme is biztosított volt.

Munkaerő szempontból is jól látható az előny: a drónos gyomirtás mindössze két fő részvételével – egy pilótával és egy megfigyelővel – elvégezhető, míg ugyanekkora területen kézi kaszálással legalább hat emberre van szükség. Ez a különbség nemcsak a költségeket csökkenti, hanem a munkabiztonságot is növeli, hiszen a dolgozóknak sokkal kevesebb időt kell a vasúti pálya közvetlen közelében tölteniük.

A drónos technológia működtetése ugyan kezdetben nagyobb beruházást igényel, de az üzemeltetési költségek hamar megtérülnek. A rövidebb kezelési idő, a kevesebb vegyszer és a kisebb létszámigény összességében hatékonyabb és rugalmasabb munkavégzést eredményez. A drónos rendszer gyorsan bevethető, jól tervezhető, és időjárási vagy forgalmi korlátozásokhoz is könnyen igazítható.

A fenntarthatóság szempontjából a drónos gyomirtás hosszú távon a vasúti infrastruktúra megóvásához is hozzájárulhat. A gyomosodás visszaszorítása segít megelőzni a vízelvezető árkok eltömődését, a burkolatok felmelegedését és az ágyazat szerkezeti károsodását. A precíziós kijuttatásnak köszönhetően a kezelések célzottan csak a problémás területeket érintik, így a védett növények és az ökológiai sávok épsége nem sérül.

Összességében úgy gondolom, hogy a drónos gyomirtás a vasúti növényzetkezelés jövőjét képviseli. Egyszerre teszi lehetővé a költségek és a munkaidő csökkentését, a környezeti hatások mérséklését, és a vasúti közlekedés biztonságának javítását. A technológia bevezetése és fokozatos kiterjesztése hosszú távon hatékonyabb, fenntarthatóbb és modernebb pályafenntartási gyakorlatot eredményezhet a MÁV hálózatán.

6 Irodalomjegyzék

1. 118/2023. (XII. 15.) AM rendelet a növényvédelmi tevékenységek engedélyezésének, végzésének, valamint a növényvédelmi gépek használatának részletes szabályairól. Magyar Közlöny, 2023/163.
2. MÁV Zrt. (2023). Vasúti pálya és műtárgyak karbantartási utasítása – H.6. MÁV belső kiadvány.
3. Recospray Kft. (2022). Gyomirtó vonatok és vasúti permetező megoldások technikai leírása. Belső technológiai ismertető.
4. Tarnavölgyi, M. (2020). A gyomnövények biológiája és irtásuk lehetőségei vasúti környezetben. Közlekedéstudományi Szemle, 70(2), 21–28.
5. Jávorka, P., Csapody, V. (1991). Magyar flóra kézikönyve. Akadémiai Kiadó, Budapest.
6. FVM – NÉBIH (2024). Növényvédelmi drónok alkalmazásának jogi és technikai irányelvei. Szakmai útmutató. <https://portal.nebih.gov.hu>
7. Pintér, J. (2023). A precíziós mezőgazdasági technológiák szerepe a vasúti infrastruktúra fenntartásában. Agrár- és Környezettudományi Közlemények, 22(1), 44–51.
8. MÁV Zrt. – PFT Szeged (2025). Drónos gyomirtási pilotprojekt zárójelentése – Kecskemét–Lakitelek vasútvonal.
9. DJI Agriculture (2023). AGRAS T30 Product Manual – Intelligent Spraying System. DJI Technology Co., Ltd.
10. FAO (2018). Guidelines for Aerial Application of Pesticides. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
11. Corteva Agriscience (2022). Selective Herbicide Technologies for Non-Crop Areas. Corteva Technical Bulletin.
12. ISO 22866:2005. (2005). Equipment for Crop Protection – Methods for Field Measurement of Spray Drift. International Organization for Standardization, Geneva.
13. Bauer, T., Scheper, J. (2021). Drone-Based Applications in Weed Control: Efficiency and Environmental Aspects. Precision Agriculture, 22(3), 456–472.
14. Láng, I. – Nagy, J. (2019). A precíziós mezőgazdaság alapjai. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

15. Kurokawa, K. (2020). Smart Agriculture and UAV Spraying Systems in Infrastructure Management. *Journal of Agricultural Engineering*, 51(4), 241–250.
16. Horváth, A. (2021). A drónok szerepe a magyar agráriumban és a környezetgazdálkodásban. Magyar Agrárkamara Tanulmánykötet.
17. Pálincás, P. – Csatári, B. (2020). Vasúti infrastruktúra fenntartási technológiák fejlődése Magyarországon. *Közlekedéstudományi Évkönyv*, 2020, 112–128.
18. Zhang, Y. & Ge, L. (2022). Remote Sensing and UAV Monitoring for Weed Mapping in Linear Infrastructure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(9), 623–634.
19. Szabó, L. (2023). Fenntartható növényvédelem és környezetkímélő permetezési technológiák. Debreceni Egyetemi Kiadó.
20. Németh, K. – Tóth, D. (2018). Gyomirtási technológiák a közlekedési infrastruktúrákban. *Mezőgazdasági Mérnök*, 12(2), 33–39.
21. Bognár, E. (2020). A vasúti pálya menti növényzet ökológiai kezelése és a biológiai egyensúly fenntartása. *Természetvédelmi Közlemények*, 26(1), 51–62.
22. DJI Terra (2023). Precision Mapping with RTK Drones for Terrain Modelling. DJI Enterprise White Paper.

7 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni őszinte köszönetemet Dr. Korzenszky Péter Emőd Tanár Úrnak, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Műszaki Intézetének habilitált egyetemi docensének, hogy szakmai tudásával, iránymutatásaival és türelmes segítségével végig kísérte a munkámat. Tanár Úr támogatása, szakmai rálátása és tanácsai nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy a dolgozatom szakmailag megalapozott és tartalmilag egységes formában valósulhasson meg.

Külön köszönettel tartozom Ferencz Roland Úrnak, a MÁV Pályaműködtetési Zrt. Pályavasúti Területi Igazgatóság Szeged, Pályafenntartási Főnökség Kecskemét vezetőmérnökének, aki külső konzulensként segítette a szakdolgozatom elkészítését. Szakmai tapasztalatával, gyakorlati útmutatásaival és együttműködésével nagyban hozzájárult a terepi kísérletek sikeres lebonyolításához, valamint a drónos gyomirtási technológia gyakorlati oldalának megismeréséhez.

Ezúton szeretném megköszönni Újvári Izabella főnökségvezető asszonynak a szakmai támogatást, a bizalmat és a lehetőséget, hogy a Kecskeméti Pályafenntartási Főnökség területén készíthettem el diplomadolgozatomat. Segítsége és támogatása nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg.

Köszönöm továbbá a MÁV Pályaműködtetési Zrt. munkatársainak a közreműködést, különösen a Kecskeméti Pályafenntartási Főnökség dolgozóinak, akik segítették a helyszíni adatgyűjtést és a kezelések előkészítését.

Végül, de nem utolsósorban szeretném megköszönni családomnak a türelmet, biztatást és támogatást, amely végig kísért a szakdolgozat elkészítése és a terepi munka során.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

**a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről**

A hallgató neve:	Lados Károly
A Hallgató Neptun kódja:	BFSDQW
A dolgozat címe:	A vasúti útátjárók biztonságának növelése a hagyományos kézi és mezőgazdasági permeteződrón technológia összehasonlító vizsgálatával
A megjelenés éve:	2025
A konzulens intézetének neve:	MATE, Szent István Campus
A konzulens tanszékének a neve:	Műszaki Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszéke

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szövegenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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, 2025 év november hó 03. nap

Hallgató aláírása



NYILATKOZAT

Lados Károly (név) (hallgató Neptun azonosítója: BFSDQW) 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: 2025. év október hó 30. nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

7. sz. melléklete: Műszaki Intézet külső konzulensi nyilatkozat

KÜLSŐ KONZULENSI NYILATKOZAT

Lados Károly (név) (hallgató Neptun azonosítója: BFSDQW)

külső konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon rendszeresen megjelent.

Kelt: 2025 év november hó 03. nap



Ferencz Roland
külső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Lados Károly
Neptun-kódja:	BFSDQW
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka készítés/ MUSZK546L
A munka címe:	A vasúti útátjárók biztonságának növelése a hagyományos kézi és a mezőgazdasági permetező drón technológia összehasonlító vizsgálatával

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Ötletelés, helyesírási és nyelvi javítás, valamint irodalmi háttéranyagok keresésének támogatása	ChatGPT (OpenAI GPT-5, 2025)	A dolgozat teljes szövege kisebb mértékben: a témaválasztás, nyelvi egységesítés és irodalmi áttekintés előkészítése során

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
_____	_____	_____	_____	_____

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....
.....
.....
.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helyállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Gödöllő, 2025. október hó 29. nap

.....

Hallgató aláírása

.....

Konzulens/Témavezető aláírása