



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
ÁLLATBIOTECHNOLÓGIAI ÉS ÁLLATTUDOMÁNYI DOKTORI
ISKOLA

MEZŐGAZDASÁGI VADKÁRBECSLÉSI MÓDSZEREK
ÉRTÉKELÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

DOI: 10.54598/003200

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Kovács Imre

Gödöllő

2022

A doktori iskola

megnevezése: Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Prof. Dr. Mézes Miklós

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Élettani és Takarmányozástani Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék

Témavezető: Prof. Dr. Csányi Sándor

egyetemi tanár, tanszékvezető

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet, Vadbiológiai és
Vadgazdálkodási Tanszék

Társ-témavezető: Dr. Bleier Norbert

tájégségi fővadász

Agrárminisztérium, Vadgazdálkodási Főosztály

Gemenci vadgazdálkodási tájgség

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A társ-témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

1.1. Előzmények

A vadvilág jelentős érték, ugyanakkor az ember és a vadon élő állatok közt felmerülő konfliktusok köre széles, a problémák egyik fő forrása pedig a mezőgazdasági termelés gátlása. A földművelők és a vadgazdálkodók különböző beavatkozásokkal igyekeznek mérsékelni a károsítást, ennek ellenére a haszonnövények hozamát világszerte csökkentik vadon élő állatok.

A mezőgazdasági károsítás Magyarországon számottevő anyagi megterhelést jelent a vadászatra jogosultak számára, és gyakran okoz konfliktusokat az érintettek között. A földhasználók jelentős hányada él a jogszabályok [1996. évi LV. törvény (Vtv.) és 79/2004. (V. 4.) FVM rendelet (Vhr.)] adta lehetőségével, hogy pénzbeli kártérítési igénnyel forduljon a vadászatra jogosulthoz, akinek ennek eleget is kell tennie. Az egyezség létrejötte számos esetben nem képzelhető el vadkárszakértő bevonása nélkül, akinek meg kell állapítania a keletkezett vadkár mértékét és a térítendő összeget.

A szakértők számára elérhető becslési eljárások jellemzői (pontosság, torzítás, költséghatékonyság stb.) kevésbé vizsgáltak, így a választás hosszú időn keresztül szubjektív döntésen alapult. Ennek megváltoztatását célozta az Agrárminisztérium által kiadott Egységes Mezőgazdasági Vadkárfelemelési Útmutató, ami bár nem kötelező érvényű, de egységes, mindenki által megismerhető eljárásrendet mutat be. A vadkárbecsléssel kapcsolatos ismeretek bővítése mindezzel együtt jelentős, mivel a tudományosan ellenőrzött módszerek alkalmazására az érintettek részéről is mutatkozik igény.

1.2. Célkitűzések

Doktori munkám célja volt, hogy kidolgozzak egy térinformatikai (*Geographical Information System* - GIS) szimulációkon alapuló módszertant, amellyel egyes szántóföldi vadkárbecslési módszerek statisztikai jellemzői és az

azokat befolyásoló tényezők vizsgálhatók. Saját modelljeim felhasználásával kukorica (*Zea mays*) és őszi búza (*Triticum aestivum*) példáján – szükség szerint terepi munkával kiegészítve – teszteltem egyes mintavételi eljárásokat.

További célom volt, hogy feltérképezzem egy egyszerű, kereskedelmi forgalomban kapható pilóta nélküli légi járművel (drónnal) készített, látható spektrumú légi fotók vadkárbecslés során való alkalmazásának lehetőségeit.

Sor került a költséghatékonyság elemzésére is, mivel fontos, hogy – pl. a mintanagyság és a munkaidő alapján – az egyes eljárások életszerűsége és gyakorlatban való tényleges alkalmazhatósága értékelhető legyen.

Feltételezve, hogy a becslést több körülmény (pl. a tábla mérete, ill. a környező felszínborítás alapján a kár várható térbeli eloszlása) befolyásolhatja, célom volt, hogy eredményeim felhasználásával a szakértők megalapozottan választhassák ki az adott helyzetben várhatóan legjobb eredményt adó és leginkább költséghatékony módszert. Vizsgálati kérdéseim a következők voltak:

1. Hogyan alakul a vizsgált, sűrű és széles sortávú kultúrák vadkárbecslése során alkalmazható mintavételezési módszerek időszükséglete?

2. Milyen eredményességgel alkalmazható egy egyszerű, kereskedelmi forgalomban kapható pilóta nélküli légi jármű a vadkárbecslés során?

3. Alkalmazható-e a Variable Area Transect (VAT) mintavételezési módszer kukoricában keletkezett vadkár becslése során?

4. Hogyan alakulnak a vizsgált, sűrű és széles sortávú kultúrák vadkárbecslése során alkalmazható mintavételezési módszerek paraméterei (becslési eredmények, becslést jellemző statisztikai mutatók) szimulált körülmények között?

5. Befolyásolja-e a károsítás térbeli eloszlása és valós aránya a vizsgált vadkárbecslési módszerekkel kapott eredmények valós értéktől való eltérését?

6. A becsléseket jellemző statisztikai mutatók mellett a mintavételezés időszükségletét, valamint az annak alapján számított munkadíjat is figyelembe véve hogyan rangsorolhatóak a vizsgált vadkárbecslési módszerek?

2. Anyag és módszer

2.1. Terepi vizsgálatok

2.1.1. Pilot vizsgálat

Kukorica esetében egyes mintavételezési módszerek [V és dupla átlós (X) elrendezésű mintateres, pontrácsos, valamint Variable Area Transect] valós növényállományban való tesztelése érdekében három táblán, különböző térbeli eloszlásokkal jelöltem ki szimulált károsításokat (**1. táblázat**) segítőimmal.

1. táblázat A pilot vizsgálat kukoricatábláinak adatai

| Tábla | Káreloszlás | Terület (ha) | Sortáv (cm) | Átlagos becsült tőszám (db/ha) | Becsült tőszám (db) | Károsított növény (db) | | | Kárárány (%) |
|-------|-------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------|-----------|--------|--------------|
| | | | | | | Jelölt | Kalkulált | Összes | |
| A | szórt | 1,53 | 74,6 (±1,0) ¹ | 70 237 (±10 804) ⁴ | 107 463 | 9 015 | - | 9 015 | 8,39 |
| B | foltos | 1,97 | 76,0 (±0,8) ² | 68 872 (±8 998) ⁵ | 135 678 | 8 149 | 4 502 | 12 651 | 9,32 |
| C | szegély | 3,27 | 75,5 (±1,2) ³ | 67 842 (±8 503) ⁴ | 221 843 | 7 229 | 5 561 | 12 790 | 5,77 |

¹ n = 8; ² n = 10; ³ n = 17; ⁴ n = 38; ⁵ n = 39

Mindhárom parcellán 20-20 db, 0,001 ha területű egy sortáv szélességű kvadrátot (mintateret) jelöltem ki a táblákba illeszkedő V útvonalak és az átlók mentén, egyenletes elosztással. A mintateresek hosszát a területük és a sortávolság ismeretében számítottam ki. A munka során a mintateresekbe eső összes növény és a károsítottként megjelölt kukoricatövek számát jegyeztem fel.

A pontrácsos becslés esetében minden ötödik soron végighaladva, 5 m-enként megállva (5 × 5-ös rácssűrűséggel) feljegyeztük az 1 m hosszúságú mérőbot mellett található összes és károsítottként jelölt növény számát.

A becsült kárárányt a mintateresek, ill. -pontok adatait összegezve, a teljes kínálat és a károsítottként jelölt tövek számának hányadosaként kaptam meg.

A VAT módszer esetében táblánként 30-30 db (n) véletlen pontot hoztam létre, majd távolságmérést végeztem minden ponttól a hatodik károsítottnak jelölt növényig ($r = 6$). A sortávolság kétszeresének megfelelő sáv szélességgel (w) dolgoztam, tehát a mérés során mindkét oldali kukoricásort szimultán módon figyelembe vettem. Az egyes kezdőpontoktól az r -edik egyedekig mért távolságokat összegeztem ($\sum d_i$), a károsított növények sűrűségét pedig a következő formulával számítottam ki:

$$D = \frac{nr - 1}{(w \sum d_i)}$$

A becsült károsítási arányt az így kapott érték és a táblákra kalkulált teljes növény sűrűség hányadosaként kaptam meg.

2.1.2. A mintavételezés időráfordításának vizsgálata

A sűrű sortávú növények esetében vizsgált 1 m és 10 m hosszúságú sorszakasz, ill. 1 m² területű kvadrát felmérésének időtartamáról egy nagyvad által károsított őszi búza táblán gyűjtöttem adatokat (öt-öt ismétléssel). Minden mintavételi egységben feljegyzésre került az összes növény száma, valamint az, hogy ezek közül mennyi volt károsított.

Kukoricában három mintavételi egység (1 m-es sorszakasz a megfigyelő egyik és mindkét oldalán, valamint 0,001 ha területű és egy sortáv szélességű kvadrát), továbbá a két sort magába foglaló transzekt vizsgálatához szükséges időt mértem (öt-öt ismétléssel). Az adatgyűjtés helye egy nagyvad által károsított kukoricatábla volt. Minden mintavételi egységben feljegyzésre került a teljes növényi kínálat, valamint azon belül a károsított növények száma. A párhuzamos transzekt esetében 5 db 20 m-es szakaszon, az útvonal két oldalára eső növény sorokban szimultán módon felvételeztük a teljes növény számot és a károsított növények mennyiségét.

A haladási sebességet a fent említett kultúrákban, ötször 100 m (kukoricában külön a sorokkal párhuzamosan és azokra merőlegesen) megtételéhez szükséges időt lemérve számítottam ki.

2.1.3. Túraskár becslése pilóta nélküli légi járművel

Az e részvizsgálatban használt eszköz egy DJI Phantom 4 drón volt.

Elsőként a vaddisznótúrás saját légi felvételeken való azonosíthatóságát, továbbá a fotókon való területmérés lehetőségeit vizsgáltam. Egy legeltetett gyeper vaddisznótúrással érintett részéről, ill. egy két héttel korábban bevetett, vaddisznó által túrt napraforgótábláról készítettem fotókat. Itt egy folt köré jelölőket helyeztem a talajra, melyek koordinátáit rögzítettem. A fotókat ezek alapján georeferáltam, majd a területméréshez manuálisan jelöltem be a túrást.

További műveletekben egy másik napraforgóvetésről készített képeken vizsgáltam, hogy az erős napfénynek van-e hatása a túrás azonosíthatóságára. Emellett egy parlagterületen, valódi túrás közelében, a talajfelszínt kézi ásóval átforgatva szimuláltam túrást, így vizsgálva, hogy használható-e ez a megoldás egy olyan kutatás során, ahol természetes károsítás nem áll rendelkezésre.

Utolsóként egy vaddisznó által túrt, 9,3 ha területű táblán dolgoztam, amelyen hagyományos mintavételezést végeztem egy őszi gabonavetésre leírt módszerrel: 25 db ponton, 1×1 m belső méretű, 4 részre osztott mérőkeret felhasználásával rögzítettem adatokat. A pontokat párhuzamos útvonalak mentén jelöltem ki. A kár mértékét a túrást tartalmazó pontok és az összes mintapont számát, valamint a mintapontok túrással érintett negyedeit és az összes mintapont-negyed számát arányosítva is kiszámítottam.

Ugyanezen a táblán a DroneDeploy alkalmazás által vezérelt automata drónrepülés közben 255 db fotó készült. A távoli szerveren ezekből összeállított, 5×5 cm felbontású, georeferált ortofotón a vaddisznótúrásokat manuálisan jelöltem be, majd kiszámítottam az így kapott poligonok összterületét. Ezt követően egy másik módszerrel is elvégeztem a túrások bejelölését: az ortofotóra egy hatszögletű, 1,5 m oldalhosszúságú poligonrácot illesztettem, majd minden olyan hatszöget megjelöltem, amelyben túrást láttam.

2.2. Térinformatikai szimulációk kukoricában

2.2.1. A VAT mintavételezés vizsgálata térinformatikai szimulációval

A **2.1.1. alfejezet**ben bemutatott terepi vizsgálathoz kapcsolódóan a VAT módszer teljesítményét térinformatikai szimulációkkal is elemeztem. Egy 1 ha területű (100×100 m oldalhosszúságú) kukoricatábla-modellt hoztam létre, 76,2 cm sortávval és 17,57 cm tőtávolsággal. A növényeket szimbolizáló pontok véletlenszerűen kiválasztott 10%-át ki nem kelt vetőmagot szimulálva töröltem. Négy térbeli káreloszlás (véletlenszerű; foltos; 1, ill. 2 oldali szegélyben sűrűsödő) mindegyikénél három károsítási arányt (10%, 20%, 30%) hoztam létre.

A véletlenszerű (random) eloszlású károsítás kijelölését véletlen szelekcióval végeztem el. A zárt foltokból álló kárképet szabadkézi kijelöléssel alakítottam ki. A két szegélyben sűrűsödő kárkép kialakításához 20 m mélységű puffert illesztettem a tábla két, egymással szomszédos oldali szegélyére, az abba eső pontokban (azon belül random szelekcióval) állítottam be a mindenkori károsítás 80%-át. Az egy szegélyben összpontosuló károsítás során hasonlóan jártam el, de a szegélyt itt 25 m-re jelöltem ki.

A méréseket ($n = 30$, öt ismétlés) manuálisan, a hatodik károsított növényig ($r = 6$) vezetve hajtottam végre. Ezúttal is mindkét oldali kukoricasort szimultán módon figyelembe vettem. A károsított növények becsült arányát ismét a **2.1.1. alfejezet**ben leírt módon kaptam meg.

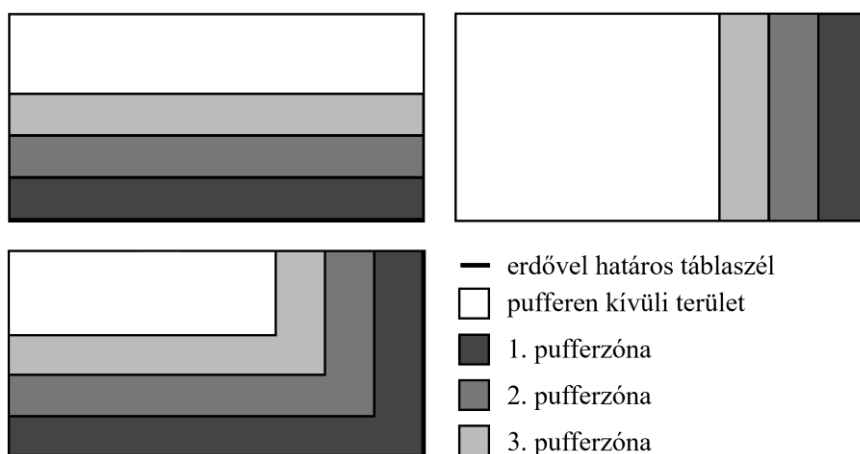
A becsléseket az egyes ismétlések eredményeinek megjelenítése mellett a standard hiba, az átlagos négyzetes eltérés, a torzítás (bias) és a relatív hiba értékével jellemeztem (lásd **2.2.4. alfejezet**).

A torzítás és a relatív hiba értékeit felhasználva, kéttényezős variancia-analízissel (ANOVA) elemeztem, hogy a kár térbeli eloszlása, valós aránya, valamint a két faktor interakciója milyen hatást gyakorol ezen paraméterekre. A páronkénti összehasonlításokat Tukey post hoc teszttel hajtottam végre.

2.2.2. A növényállományok és a károsítás beállításai a komplex vizsgálatban

A kukoricával végzett térinformatikai szimulációkban a vizsgált területméretek a következők voltak: 3 ha, 10 ha, 30 ha, 60 ha (mindegyik 1:2 oldalarányal). A munkához 76,2 cm-es sortávot és 20,15 cm tőtávolságot választottam, majd 90%-os kelési arányt szimulálva a pontok véletlenszerűen kiválasztott 10%-át töröltem. A szimulált kárárányok 10%, 30%, 50%, 70% és 85% voltak.

Elsőként minden szimulált táblán, minden kárárány esetében random káreloszlást állítottam be. A csoportosuló mintázatoknál a táblával határos erdő hatását három különböző eshetőség szerint szimuláltam (**1. ábra**).



1. ábra A modellezett táblák erdővel határos szegélyének, valamint a pufferzónák elhelyezkedésének vázlata a 30 ha-os táblák példáján

Az egy szegélyben sűrűsödő eloszlás esetében mind a sorokkal párhuzamos hosszanti, mind az azokra merőleges táblaszegély szerepelt erdővel határosként. A két szegélyben sűrűsödő beállítás esetében egymással szomszédos oldalakon modelleztem erdővel határos táblaszégeket. A károsított táblaszégeken három egyenlő mélységű zónát jelöltem ki, hogy a szegélytől távolodva fokozatosan csökkenthessem a károsítás mértékét. Az oldalhosszakat és a pufferzónák mélységét a **2. táblázat** mutatja.

2. táblázat A kukoricatábla-modellek oldalhosszai és pufferzóna-mélységei, valamint a felhasznált pontok mennyisége

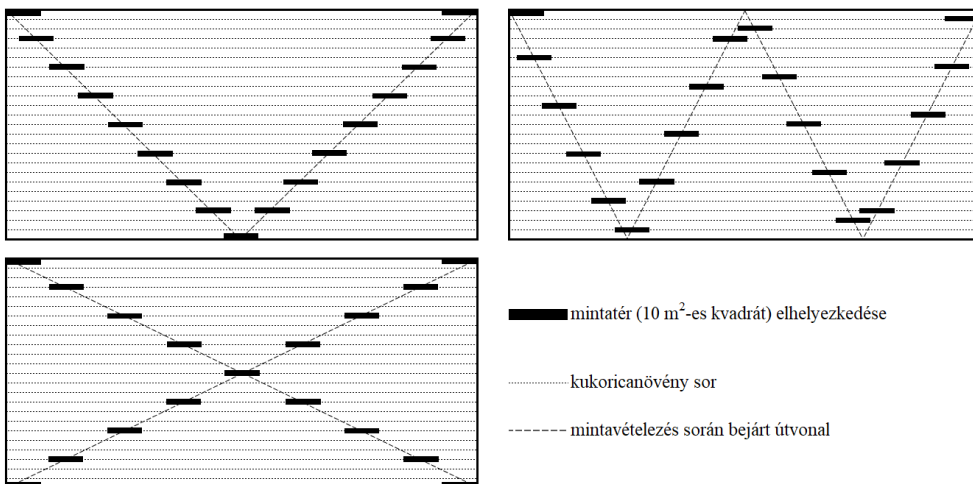
| Terület (ha) | oldalhossz (m) | | pufferzónák mélysége (m) | | felhasznált pontok száma (db) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | víz- szintes | függő- leges | víz- szintes | függő- leges | |
| 3 | 244,9 | 122,5 | 24,5 | 49,0 | 176 199 |
| 10 | 447,2 | 223,6 | 44,7 | 89,4 | 587 412 |
| 30 | 774,6 | 387,3 | 77,5 | 100,0 | 1 761 395 |
| 60 | 1 095,5 | 547,7 | 100,0 | 100,0 | 3 518 283 |

Alapvető kíváncsi voltam, hogy az 1-es pufferzónába (azon belül random eloszlással) essen a mindenkori károsítás 70%-a. A fennmaradó 30% a tábla többi részét egy egységként kezelve került kijelölésre. Ahol az 1-es zóna kevesebb növényt tartalmazott, mint amennyi a teljes károsítás 70%-ának felelt volna meg, ott ezt a zónát teljesen károsítottként vettem figyelembe, majd a 70%-ból visszamaradt részt a 2-es számú zónába „csúsztattam”, ill. szükség esetén a 3-as pufferzónát is igénybe vettem.

2.2.3. A vizsgált vadkárbecslési módszerek és a mintavételezés végrehajtása

Teszteltem a 0,001 ha területű kvadrátokon alapuló mintateres, valamint a pontrácsos eljárást is. Utóbbinak vizsgáltam egy korábban nem létező, „dupla pontrácsos” változatát is, ahol a szakértő a nála lévő 1 m-es mérőbotot nem csak az egyik, hanem a másik oldalán álló kukoricasorhoz odatartva is használja, tehát 2 db 1 m-es sorszakasról rögzít adatokat. Ezek mellett a – pontrácsoshoz hasonlóan korábban csak kutatási célra használt – párhuzamos transzekteket szintén bevontam a vizsgálatba.

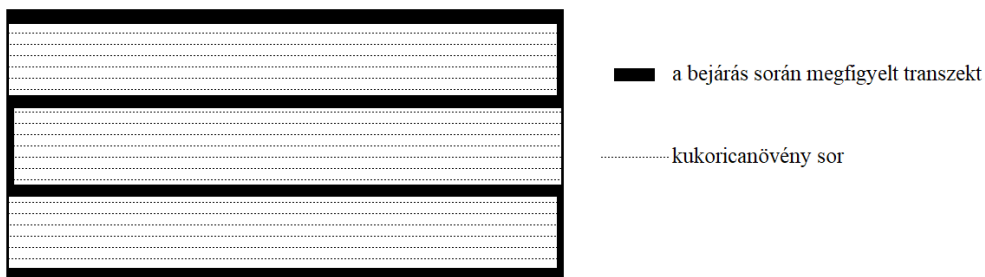
A mintateres eljárás során bejárható útvonalak közül V, W és X nyomvonalat egyaránt létrehoztam (**2. ábra**). A kvadrátok hossza 13,12 m volt. Minden táblaméretnél 10, 15, 20, 25 és 30 db-os mintaszámokkal dolgoztam.



2. ábra A mintavételezés során bejárt útvonal és a mintaterек elhelyezkedésének vázlata

A pontrácsos és a dupla pontrácsos módszer esetében különböző mintapont-sűrűségeket vizsgáltam. A legnagyobb elemszámú mintavételezés 5×5 -ös pontsűrűségű volt (lásd **2.1.1. alfejezet**) emellett 10×10 -es, 20×20 -as, 40×40 -es és 80×80 -as sűrűséget is teszteltem.

A párhuzamos transztek kijelölésekor elsőként létrehoztam a két hosszanti oldal mentén elhelyezkedő, szélső sorpárt lefedő poligonokat, majd a táblán belül egyenletes távolságokon a megadott számú (3 és 10 ha esetében 2 db, 30 és 60 ha esetében 6 db) sorpárt lefedő poligonokat is. A sorpárok végpontjait a módszer leírásának megfelelően szintén megfigyelt sávokat lefedő poligonokkal kötöttem össze (**3. ábra**).



3. ábra A mintavételezés során bejárt és megfigyelt transzekt a 10 ha-os tábla példáján

A becsült érték számításakor minden esetben összeadtam a mintába került összes (ÖN) és károsított (KN) növény számát, majd ezek hányadosával fejeztem ki a károsítási arányt: $(\sum KN / \sum ÖN) \times 100$.

A mintavételezéseket minden táblamodell és becslés esetében öt ismétléssel hajtottam végre. Ennek egyik indoka, hogy amennyiben több szakértő ugyanazon a táblán dolgozik, nem feltétlenül fognak pontosan ugyanoda esni a mintaterük vagy mintapontjaik, így ezeket a kis egyedi különbségeket is igyekeztem megjeleníteni a szimulációkban. A másik ok, hogy az ismétlések teszik lehetővé a becsléseket jellemző egyes paraméterek számítását, valamint a statisztikai vizsgálatok végrehajtását.

2.2.4. Statisztikai elemzés

A kapott becslési eredmények statisztikai elemzését négy részre osztottam. Az elsőben leíró céllal a teljes adatsorra ($n = 10.400$), valamint az ötös ismétléscsoportokra vonatkozóan kigyűjtöttem a szélsőértékeket, ill. kiszámítottam a jellemző középértékeket.

Ezt követően egytényezős varianciaanalízisekkel (ANOVA) kerestem, hogy milyen csoportokban célszerű vizsgálni azt, hogy a kár jellemzői hogyan befolyásolják a valós értéktől való eltérést. A különböző módszereket külön tartottam célszerűnek elemezni, a teljes adatsorra elvégzett ANOVA eredménye alapján pedig mind a bias, mind a relatív hiba értékét használva kimutatható volt a különbség az eltérő mintavételi eljárásokkal kapott becslési eredmények között. A mintateres módszernél ugyanez volt igaz a táblaméretek, a mintavételi útvonalak, továbbá a mintaelemszámok esetében is. A pontrácsos és a dupla pontrácsos módszernél szignifikánsan befolyásolták a becslési eredményeket a táblaméretek, valamint a pontrácsossűrűségek is. A párhuzamos transzekt módszer esetében a táblaméretek csak a bias értékét befolyásolták szignifikánsan. Ezek alapján a mintanagyságok, a táblaméretek, ill. a mintateres módszer esetében a mintavételi útvonalak minden lehetséges kombinációjában, kétutas

varianciaanalízisekkel (ANOVA) külön-külön vizsgáltam, hogy a kár eloszlása és valós aránya, továbbá ezek interakciója hogyan befolyásolta a biast és a relatív hibát. A páronkénti összehasonlítást Tukey post hoc teszttel végeztem el.

A harmadik szakaszban elemeztem, hogy a mintateres módszernél hogyan alakultak a becslési eredmények a különböző útvonalak esetében.

Utolsóként az alábbiakban felsorolt paramétereket számítottam ki az ötös ismétléscsoportokra vonatkozóan, majd minden táblamodell esetében megkerestem, hogy az egyes mutatók szempontjából melyik becslési módszer, melyik mintanagysággal adta a legjobb, valamint a leggyengébb eredményt.

A becsléseket a következő értékekkel jellemeztem: standard hiba (Standard Error - *SE*), átlagos négyzetes eltérés (Mean Squared Error - *MSE*) és torzítás (*bias*). Utóbbit nem csupán az ötös ismétléscsoportok átlaga és a valós érték különbsége alapján adtam meg, hanem minden egyes becslés esetében kiszámítottam. A relatív hiba (Percentage Relative Bias - *PRB*), ami a becstelt és a valós érték különbsége a valós érték százalékos arányában kifejezve.

2.2.5. A költséghatékonyság elemzése

Első lépésében azt elemeztem, hogy az esetek mekkora részében csökkent a becslés valós értéktől való eltérése a mintanagyság növelésével.

Ezt követően mindegyik szimulált táblán, minden becslés esetében kiszámítottam, hogy a valóságban mennyi időt vett volna igénybe. A **3.1.2. alfejezet** adatai alapján az itt felhasznált időszükséglet az 1 m-es és 2 × 1 m-es sorszakaszok esetében egyaránt 0,5 perc, a 0,001 ha-os kvadrátnál 2 perc, míg egy 20 m-es transzektszakasz esetében 3 perc volt.

A bejárandó útvonal hosszát az egyes módszerek sajátosságai szerint számítottam ki, majd a mintaelemszám, valamint az általam mért átlagos haladási sebesség (sorokkal párhuzamosan 1,29 m/s, a sorokra merőlegesen pedig 0,56 m/s) segítségével meghatároztam a becsléshez szükséges időt.

A költségek számításához publikus, valós óradíjak nem álltak rendelkezésre. Három gyakorló, a szakmában jellemző árazást ismerő szakértő beszámolóján alapuló közepes, 17.500 Ft-os óradíjjal számoltam ki a becslések szakértői költségét (megkezdett 0,5 órát figyelembe véve adtam meg).

A költséghatékonyság értékelésének zárásaként 6 szempont szerint rangsoroltam a becsléseket (a bias és a PRB abszolút értéke, SE, MSE, pontos munkaidő, munkadíj) úgy, hogy a legjobb értéket (pl. abszolút értékben legkisebb torzítás, legrövidebb munkaidő stb.) mutató becslés 1 pontot kapott, a leggyengébbhez pedig a lista elemszámából adódó legnagyobbat rendeltem. A csoportokat a 4 táblaméreten belül a 4 térbeli eloszlás adta. Az összegzett rangsort úgy számítottam ki, hogy minden becslés esetében összeadtam a különböző szempontok alapján adott pontokat, és a legkisebb összeget kapót soroltam a ranglista elejére. Ebből a ranglistából készítettem egy szűkített szempontrendszer szerinti változatot is, ahol a bias, az SE és a munkaidő alapján kapott pontszámokat összegeztem. Azokat az eseteket, amelyekben a mintavételezés a valóságban nem lenne elvégezhető legfeljebb egy átlagos munkanap (8 óra) alatt, a rangsoroláskor nem vettem figyelembe.

2.3. Térinformatikai szimulációk őszi búzában

2.3.1. A szimulált növényállomány és a károsítás beállításai

A búza térinformatikai szimulációinál komoly problémát jelent, hogy a kukoricához viszonyítva akár százszoros mennyiségű pont modellezésére van szükség, ennél fogva saját munkámban kizárólag 3 ha-os mérettel és 1:2 oldalaránnyal (így 245 m és 122,5 m oldalhosszúsággal) modelleztem táblákat.

A búza sortávolsága 12 cm volt, és 1,67 cm tőtávolsággal dolgoztam. Kelési arányként 85%-ot állítottam be, így a pontok véletlenszerűen kijelölt 15%-át töröltem. A ténylegesen felhasznált pontok száma 12.729.624 db volt.

A károsítási arányok 10%, 30%, 50% és 70% voltak. Elsőként a térbeli eloszlás véletlenszerű (random) változatát hoztam létre, majd egy, ill. két szomszédos szegélyben sűrűsödő kármintázat egy-egy típusát alakítottam ki, amihez 30 m széles pufferzónát hoztam létre az erdővel határos szegély mentén.

Arra törekedtem, hogy a mindenkori károsítás 80%-a ezekbe a pufferzónákba essen (azokon belül véletlenszerű eloszlással), a további károsítandó pontok pedig random eloszlással a zónán kívül helyezkedjenek el. Ahol a szegélybe eső pontok mennyisége ezt nem tette lehetővé, ott a pufferzónát 100%-ban károsítottam, minden további károsítás pedig véletlen eloszlással került a tábla pufferen kívül eső részébe.

2.3.2. A vizsgált vadkárbecslési módszerek és a mintavételezés végrehajtása

A bejárható útvonalak közül V, W és X alakú nyomvonalat egyaránt létrehoztam, továbbá három különböző mintavételi egységet teszteltem: 1 m² területű, négyzet alakú kvadrát, ill. 1 m és 10 m hosszúságú sorszakasz. Vizsgálatomban 10, 15, 20, 25 és 30 db-os mintaszámokkal dolgoztam.

A becslt érték számításakor minden esetben összeadtam a mintába került összes és károsított növény számát, majd a két összeg hányadosával fejeztem ki a károsítási arányt: $(\sum KN / \sum ÖN) \times 100$, ahol KN a károsított, ÖN pedig az összes növény számát jelöli. A mintavételezéseket minden táblamodell és minden becslési módszer esetében öt-öt ismétléssel hajtottam végre.

2.3.3. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzést a kukorica vadkárbecslési módszereinek komplex vizsgálatához hasonlóan négy részre osztottam. Elsőként leíró céllal a teljes adatsorra ($n = 2.700$), valamint az ötös ismétléscsoportokra vonatkozóan kigyűjtöttem a szélsőértékeket, ill. kiszámítottam a jellemző középértékeket.

Ezt követően egytényezős varianciaanalízisekkel (ANOVA) kerestem, hogy milyen csoportokban célszerű vizsgálni azt, hogy a károsítás jellemzői hogyan befolyásolják a valós értéktől való eltérést. Mind a bias, mind a PRB

esetében különbség volt az eltérő mintavételi egységekkel kapott eredmények között. Ugyanez volt igaz az útvonalak és a mintaszámok esetében is. A mintavételi egységek, az útvonalak és a mintaszámok minden kombinációjában, kétutas varianciaanalízisekkel (ANOVA) vizsgáltam, hogy a kár eloszlása és aránya, továbbá ezek interakciója hogyan befolyásolta a bias és a PRB értékét. A páronkénti összehasonlításokat Tukey post hoc teszttel végeztem el.

A harmadik szakaszban vizsgáltam, hogy hogyan alakulnak a becslési eredmények a különböző mintavételi útvonalak esetében.

Utolsóként az ötös ismétléscsoportokra vonatkozóan kiszámítottam a bias, a PRB, az SE és az MSE értékét, majd minden táblamodell esetében megkerestem, hogy az egyes mutatók szempontjából melyik mintavételi egység, melyik mintaszámmal adta a legjobb eredményt.

2.3.4. A költséghatékonyság elemzése

Első lépésben elemeztem, hogy az esetek mekkora részében csökkent a becslés valós értéktől való eltérése a mintaszám növelésével.

Ezt követően a szimulált táblák mindegyikénél, minden mintavételezés esetében kiszámítottam, hogy a valóságban mennyi időt vett volna igénybe a munka. Ehhez a **3.1.2. alfejezet**ben ismertetett adatokat használtam fel. Az így kapott időszükséglet az 1 m-es sorszakaszok esetében 2 perc, a 10 m-es sorszakaszoknál 9,5 perc, míg az 1 m²-es kvadrátok esetében 6,5 perc volt.

A becslés időtartamát a mintaszám, valamint a mért átlagos haladási sebesség (1,71 m/s) segítségével határoztam meg. A szakértői díjat a **2.2.5. alfejezet**ben leírt 17.500 Ft óradíjjal, megkezdett 0,5 órák alapján számítottam.

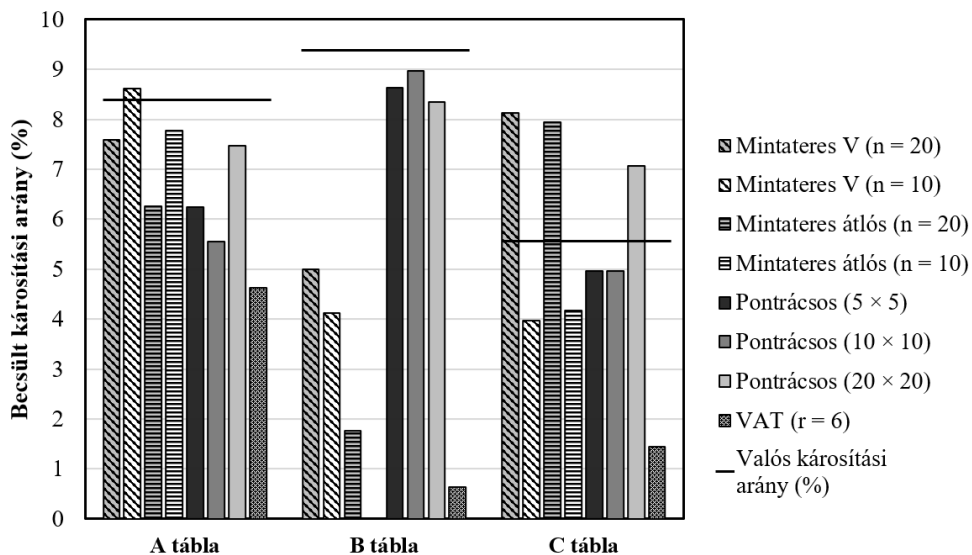
Zárásként térbeli eloszlásonként csoportosítva, a kukoricával megegyező módon (lásd **2.2.5. alfejezet**) pontoztam, majd rangsoroltam a becsléseket.

3. Eredmények

3.1. A terepi vizsgálatok eredményei

3.1.1. A pilot vizsgálat eredményei

A kukoricatáblákon végzett mintavételezések (4. ábra) során a B táblán kizárólag, míg az A táblán egy kivételével minden esetben alulbecslés történt. A C táblán három módszer egy-egy mintanagysággal túlbecsülte a beállított kárarányt. A valós és a becült érték közti legnagyobb különbséget mindhárom táblán a VAT adta. A legkisebb torzítást az A táblán a V elrendezésű mintateres (n = 10) módszer, a B és a C táblán pedig a pontrácsos (10 × 10, ill. 5 × 5 és 10 × 10) becslés eredményezte.



4. ábra A mintavételezések eredményei a pilot vizsgálatban

A foltosan károsított B táblán a mintateres módszer dupla átlós (X) elrendezésével, 10 db-os mintaszám mellett egyetlen károsítottnak jelölt növény sem esett a mintavételi egységekbe, így a relatív hiba értéke 100% volt.

3.1.2. A mintavételezés időszükséglete

A kukoricában az 1 m-es sorszakaszok felmérésével töltött idő 6 és 8 másodperc között alakult. Ahol a megfigyelő az 1 m-es mérőbotot mindkét sorhoz odatartotta, 10-16 másodpercet vett igénybe az ép és károsított növények számlálása. A kvadrátok felvételezésével eltöltött idő 1,6 perc és 1,9 perc között változott. A folyamatos, két sort szimultán módon figyelembe vevő számlálás a 20 m-es szakaszokon 2,2-3,1 percig tartott. A növényszám és a mintavételezési idő között egyik módszer esetében sem találtam szignifikáns összefüggést.

Az őszi búzában az 1 m-es sorszakaszok felmérésével töltött idő 1,6 perc és 2,8 perc között alakult (utóbbi kiugró érték). A 10 m-es sorszakaszok esetében a legrövidebb mért idő 6,1 perc volt, míg a leghosszabb 17,2 perc, ami szintén kiugró érték ($\bar{x} = 9,3$ perc). A kvadrátok felvételezésével eltöltött idő 5,1 perc és 8 perc között változott ($\bar{x} = 6,2$ perc). A növények száma és a felméréshez szükséges idő között a mintavételi egységek egyik típusa esetében sem találtam szignifikáns összefüggést.

A 100 m távolság gyalogos megtételéhez szükséges időtartam tekintetében a búzában mértem a legnagyobb haladási sebességet ($\bar{x} = 1,71$ m/s). A kukorica esetében a sorokkal párhuzamosan haladva átlagosan 1,29 m/s (medián = 1,28 m/s) sebességet, míg azokra merőlegesen ennek kevesebb, mint a felét ($\bar{x} = 0,56$ m/s) értem el.

3.1.3. A pilóta nélküli légi járművel végzett túráskár-becslés eredményei

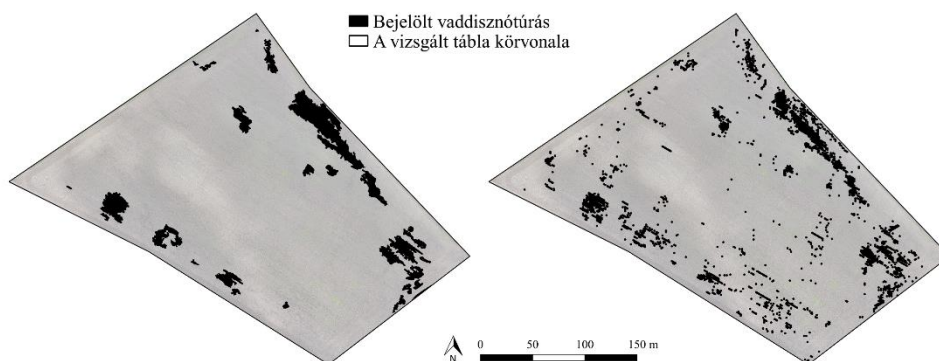
Az elsőként vizsgált legelőről készített fotókon jól látható volt a vaddisznótúra, valamint a szarvasmarhák által kitaposott foltok is, melyek a felvételeken meglehetősen hasonlóan mutatkoztak. Az ugyanebben az évben felkeresett napraforgóvetés légi fotóin szintén minden magasságból tisztán látható volt a vaddisznó túrája és csapája is. A legnagyobb megtalált folt szélessége a talajon mérve 12 m, hosszúsága pedig 87 m volt. A 90 m-es magasságból készített fotót georeferálva ezt a hosszúságot 92 m-nek, a

szélességet pedig 12 m-nek mértem. A túrással érintett, egybefüggő foltot manuálisan lehatárolva a károsított terület 1.092 m²-nek adódott.

A később vizsgált napraforgóvetésen nem voltak megtalálhatók az előző évihez hasonló nagy, egybefüggő foltok, ennek ellenére minden fotón észlelhető volt a vaddisznótúrás. Az erős napfény miatt valójában nem a túrások voltak láthatók a képeken, hanem inkább azok saját magukba vetett árnyékai. A gyomos területen található természetes és szimulált vaddisznótúrásról készített légi fotókon mindkét típus jól látható volt. Az ásóval frissen átforgatott folt enyhén sötétebb volt, mint a valódi vaddisznótúrás.

Az utolsóként, hagyományos módszerrel elvégzett vadkárbecslés során 25-ből 5 mintaponton találtam vaddisznótúrást. A legegyszerűbb számítás alapján a becsült károsítási arány 20% volt. A mintapontok negyedeit tekintve a károsított pontok közül 2 db volt 100%-ban károsított, míg 3 db 25%-ban volt érintett, a számítás 11%-os becsült kárárányt eredményezett.

A túrások ortofotón való bejelölése (**5. ábra**) során szabad kézzel 1,5 órás munkával 30 db foltot jelöltem be, amelyek összterülete 5.061 m² volt, így a károsítási arány 5,4%-nak adódott. A hatszögű poligonrács segítségével ugyancsak 1,5 órát vett igénybe a munka, mely során összesen 4.972 m² területet jelöltem be, ami kerekítve szintén 5,4%-os károsítási arányt jelent.

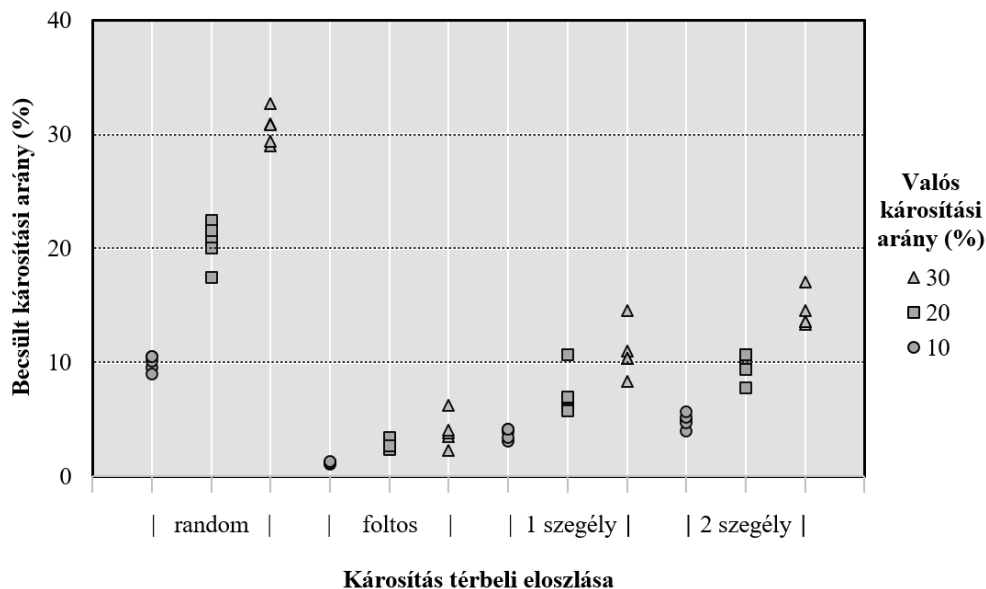


5. ábra A vaddisznótúrások ortofotón való bejelölése szabad kézzel (balra) és hatszögű poligonráccsal (jobbra)

3.2. A térinformatikai szimulációk eredményei

3.2.1. A VAT módszer becslési eredményei

A VAT mintavételezés a véletlen eloszlású károsítás kivételével minden vizsgált térbeli eloszlás és károsítási arány esetében jelentős alulbecsléshez vezetett. Random térbeli káreloszlás mellett mindhárom károsítási aránynál egyaránt történtek alul- és felülbecslések (6. ábra).



6. ábra A VAT mintavételezés eredményei a térinformatikai szimulációban

A becsléseket jellemző paraméterekkel kapcsolatban elmondható, hogy minél távolabb esett a megbecsülni kívánt sűrűségű objektumok térbeli eloszlása a véletlenszerűtől, annál nagyobb lett a torzítás, ill. a relatív hiba, valamint romlott a becslés hibájának eloszlása (MSE), míg a becslés standard hibája (vagyis a pontossága) nagyságrendjét tekintve változatlan maradt.

A relatív torzítást (PRB) csak a kár térbeli eloszlása befolyásolta szignifikáns mértékben ($F = 538,7$; $df = 3$; $p < 0,001$), a torzítást ezzel szemben a kár térbeli eloszlása ($F = 459,7$; $df = 3$; $p < 0,001$), valós aránya ($F = 272,0$; $df = 2$; $p < 0,001$), továbbá a két tényező interakciója ($F = 39,64$; $df = 6$; $p < 0,001$) is.

3.2.2. A kukoricában végzett komplex vizsgálat eredményei

A teljes adatsorban ($n = 10.400$) a torzítás minimuma $-13,1\%$, maximuma $18,7\%$ volt. A PRB minimuma $-43,2\%$, maximuma $141,4\%$ volt. Előbbi adatsor mediánja $0,09\%$, utóbbi $0,18\%$ volt.

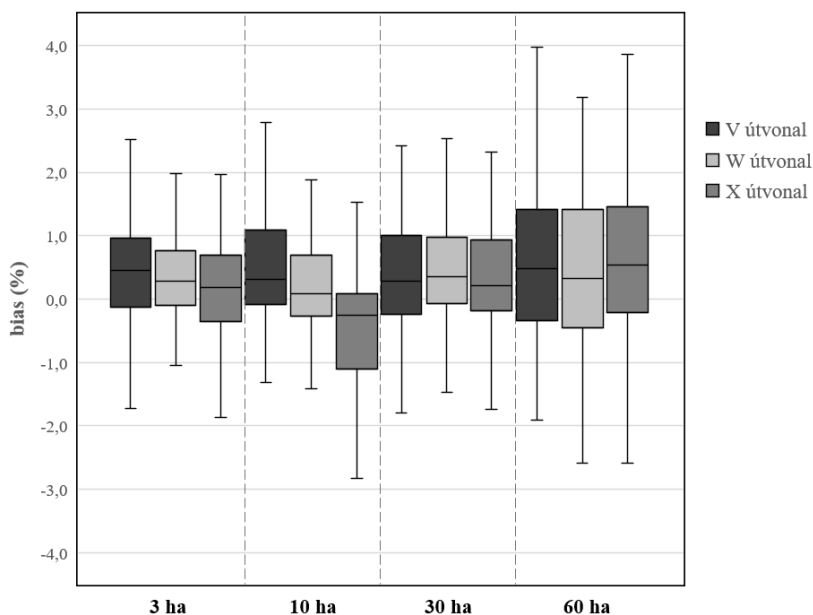
Az ötös ismétléscsoportok ($n = 2.080$) alapján az SE minimuma $0,02\%$, maximuma $7,1\%$ volt. Az MSE minimuma $0,001\%$, maximuma $191,2\%$ volt. Ezek az adatsorok is eltértek a normál eloszlástól, az SE mediánja $0,9\%$, míg az MSE középértéke $1,3\%$ volt. Az átlagos torzítás minimuma $-7,2\%$, maximuma $13,5\%$ volt. Az adatsor mediánja $0,05\%$ volt. Az átlagos torzítás minimuma pénzben kifejezve -308.543 Ft, míg maximuma 173.556 Ft volt.

A mintateres módszer esetében a kár térbeli eloszlása, valós aránya, valamint a két faktor interakciója számos esetben gyakorolt statisztikailag igazolható hatást a valós értéktől való eltérésre. A módszer a 60 ha-os táblamodelleken bizonyult a leggyengébbnek. A káreloszlás szinte minden mintavételnél szignifikáns hatással volt a becslés eredményére. A kárárány és az interakció többnyire a kisebb mintaszámok mellett volt kevésbé meghatározó. A pontrácsos mintavétel mindkét változatára igaz volt, hogy a mintanagyság növelésével a legtöbb esetben kevésbé befolyásolták a becslést a vizsgált tényezők. A párhuzamos transzekt eredményét minden táblaméret mellett befolyásolta mindkét tényező, és azok interakciói is. A páronkénti összehasonlítások eredményeiben nem volt jellegzetes mintázat.

Az ötös ismétléscsoportokra kiszámított paraméterekre (várható érték, átlagos torzítás, PRB, SE, MSE) vonatkozóan a legjobb értékeket zömében a pontrácsos vagy dupla pontrácsos becslések érték el (néhány kivételtől eltekintve az 5×5 -ös vagy a 10×10 -es rácssűrűséggel), a legtöbbet a mintateres és a párhuzamos transzekt módszer is egy-egy esetben adta (előbbi a bias, ill. a PRB esetében a 3 ha-os táblákon, utóbbi az SE esetében, szintén a 3 ha-os táblákon). A legrosszabb értékek közül a két nagyobb táblaméret mellett minden paraméternél a mintateres módszer, míg a két kisebb táblaméret

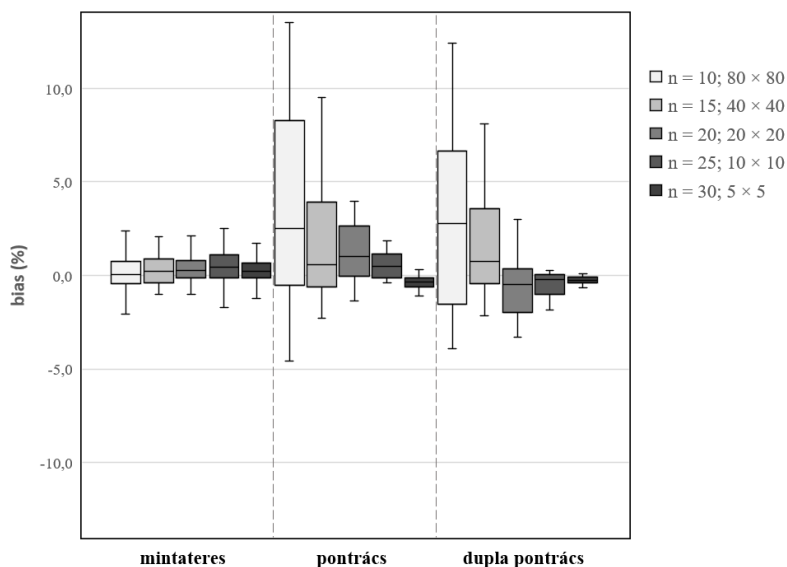
esetében a pontrácsos vagy a dupla pontrácsos (jellemzően a 40×40 -es vagy a 80×80 -as rácssűrűséggel) adta a legtöbbet.

A mintateres módszernél az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításait mintavételezési útvonalanként ábrázolva (7. ábra) látható, hogy az egyes interkvartilis-tartományok és minimum-maximum intervallumok terjedelme és elhelyezkedése is szinte teljesen megegyezett (10 ha terület mellett a W útvonal teljesített a legjobban, de igen csekély eltérésekkel).



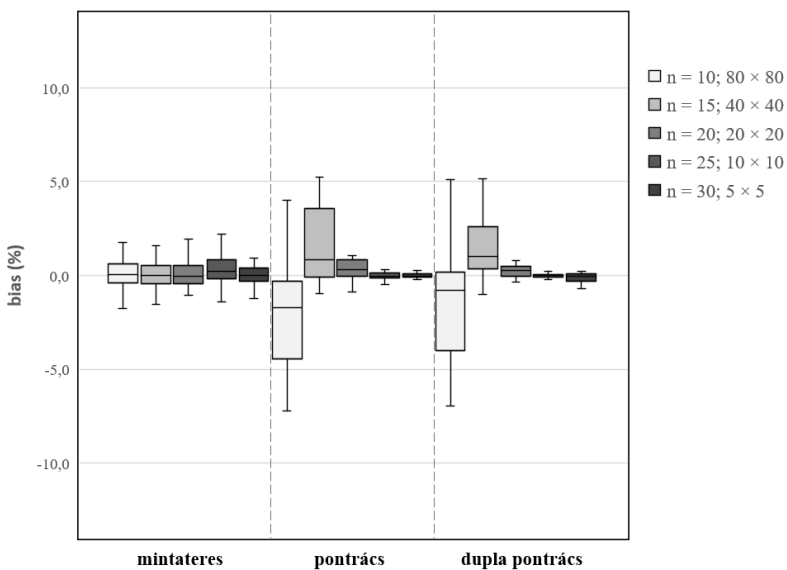
7. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintavételi útvonalanként, különböző táblaméret mellett, kukorica esetében (csoportonként $n = 100$)

Az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításait mintanagyságonként ábrázolva (8. ábra) látható, hogy a 3 ha-os táblaméret esetében a mintateres módszernél a torzítások interkvartilis-tartománya a legnagyobb mintaszám mellett volt a legkisebb, bár az alacsonyabb mintaszámok is hasonló eredményekkel dolgoztak. A pontrácsos és a dupla pontrácsos módszernél ugyanez a jellemző a rácssűrűség növelésével folyamatosan javult, de ezek a mintavéteteli eljárások csak a 20×20 -asról a 10×10 -es rácssűrűsége lépve érték el a mintateres módszer teljesítményét ebben a tekintetben.



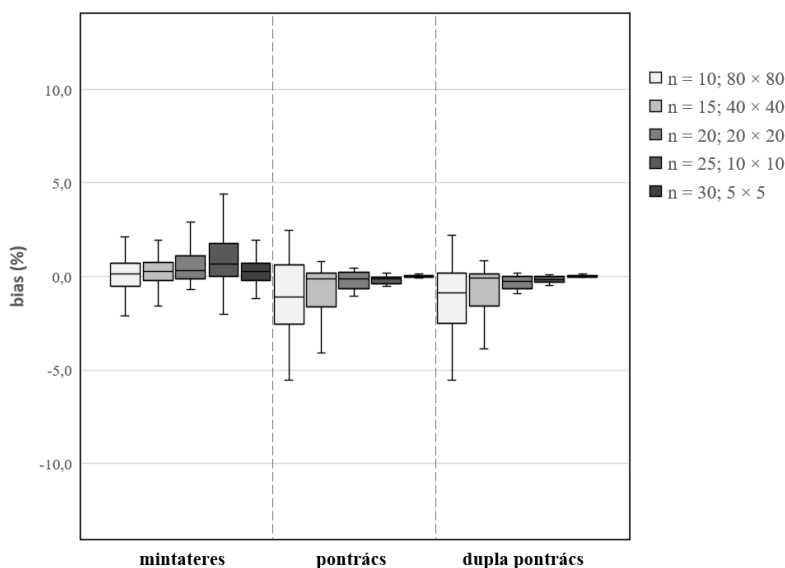
8. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintanagyságonként, 3 ha-os kukoricatábla esetében (mintateres módszerrel csoportonként $n = 60$, pontráccsal és dupla pontráccsal $n = 20$)

A 10 ha-os méretnél (**9. ábra**) a mintateres módszernél a torzítások interkvartilis-tartománya ismét a legnagyobb mintaszám mellett volt a legkisebb, itt is hasonló eredményekkel dolgoztak a mintaszámok. A pontrácsnál és a dupla pontrácsnál ugyanez a rácssűrűség növelésével javult.



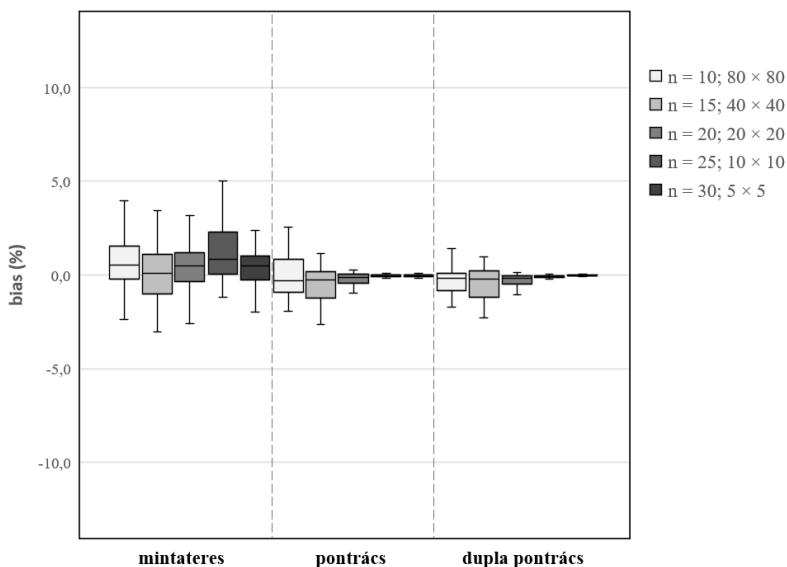
9. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintanagyságonként, 10 ha-os kukoricatábla esetében (mintateres módszerrel csoportonként $n = 60$, pontráccsal és dupla pontráccsal $n = 20$)

A 30 ha-os táblaméret esetében (**10. ábra**) a mintateres módszernél a torzítások interkvartilis-tartománya újfent a legnagyobb mintaszám mellett volt a legkisebb, de az alacsonyabb mintaszámok a 25 db-os kivételével itt is hasonló eredményekkel dolgoztak (az gyengébb volt). A pontrácsos és a dupla pontrácsos módszernél ennél a táblaméretnél újra elmondható, hogy ugyanez a jellemző a rácssűrűség növelésével folyamatosan javult. Ezek az eljárások a 40×40 -esről a 20×20 -as rácssűrűsége lépve érték el, ill. haladták meg a mintateres módszer teljesítményét ebben a tekintetben.



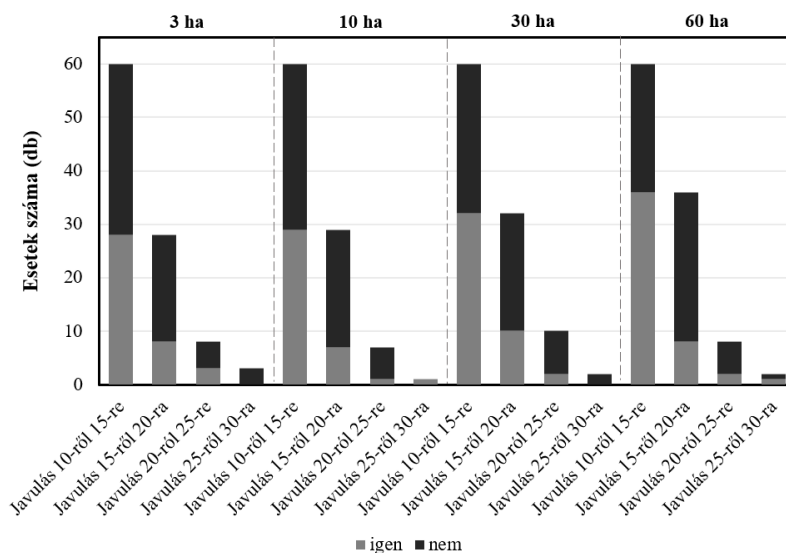
10. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintanagyságonként, 30 ha-os kukoricatábla esetében (mintateres módszerrel csoportonként $n = 60$, pontráccsal és dupla pontráccsal $n = 20$)

A 60 ha-os táblaméret esetében (**11. ábra**) a mintateres módszernél a torzítások interkvartilis-tartománya ismét a legnagyobb mintaszám mellett volt a legkisebb, de az alacsonyabb mintaszámok itt is – főként egymáshoz – hasonló eredményekkel dolgoztak. A pontrácsos és a dupla pontrácsos módszer a legnagyobb vizsgált táblaméretnél minden rácssűrűségeknél a mintateres eljáráséhoz hasonló, vagy azt meghaladó teljesítménnyel dolgozott ebben a tekintetben.



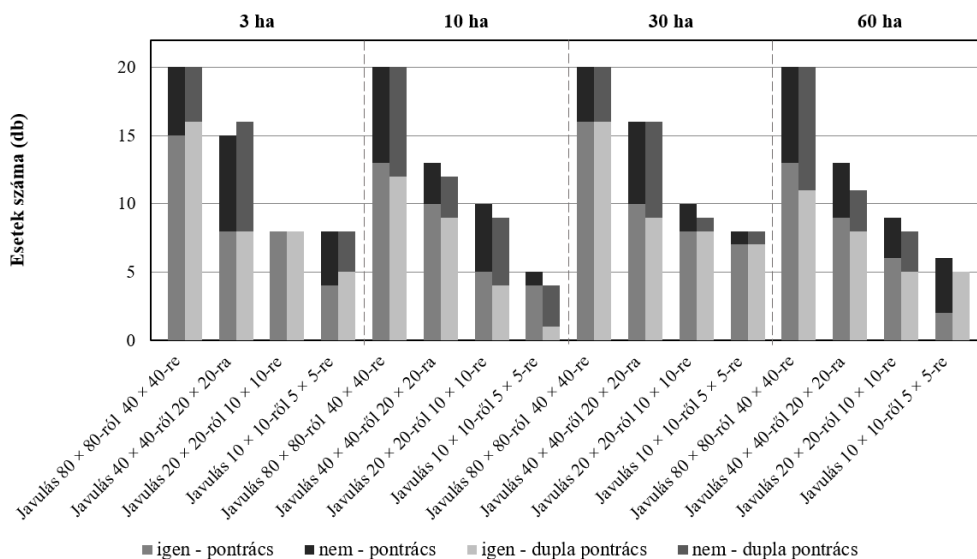
11. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintanagyságonként, 60 ha-os kukoricátábla esetében (mintateres módszerrel csoportonként $n = 60$, pontrácscsal és dupla pontrácscsal $n = 20$)

A **12. ábra** azon becslések számát mutatja a mintateres módszer esetében, amelyeknél a mintaszám növelésével csökkent az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításának abszolút értéke. A 10-es mintaszámnál minden becslés szerepel, a következő lépcsőre mindig csak azok „jutottak tovább”, amelyeknél javult az eredmény az előző mintaszámhoz viszonyítva.



12. ábra A torzítás javulása a minta növelésével a kukorica mintateres vadkárbecslésénél

A **13. ábra** az előzőhöz hasonló megoldással azon becslések számát mutatja a pontrácsos és dupla pontrácsos módszer esetében, amelyeknél a mintanagyság növelésével egyre tovább csökkent az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításának abszolút értéke.



13. ábra A torzítás javulása a minta növelésével a pontrács és a dupla pontrács esetében

A mintateres módszer időszükségletét tekintve elmondható, hogy a legnagyobb időráfordítás 2,3 óra (43.750 Ft) volt a vizsgálatomban szereplő táblamodellek és mintavételezési útvonalak, ill. mintaszámok esetében (60 ha, W útvonal, 30 db mintatér), míg a legrövidebb időt a 3 ha-os táblán, 10-es mintaszámmal és V útvonallal végzett munka vette volna igénybe (0,5 óra; 17.500 Ft).

A további módszerek (**3. táblázat**) esetében látható, hogy a mintavételezés a valóságban számos esetben – akár sokszorosán – meghaladná egy 8 órás munkanap hosszát. Az egy nap alatt elvégezhető mintavételezések közül a leghosszabb időt (5,1 óra; 96.250 Ft) a párhuzamos transzekt igényli 10 ha-os táblaméret mellett.

3. táblázat A pontrácsos, dupla pontrácsos és párhuzamos transzekt módszer időszükséglete (kiemelve az egy 8 órás munkanap alatt nem elvégezhető mintavételezések)

| Tábla- méret | Pontrács és dupla pontrács | | | Párhuzamos transzekt | |
|-----------------|----------------------------|-------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | Rácssűrűség (sor × m) | Munkaidő (óra) | Munkadíj (Ft) | Munkaidő (óra) | Munkadíj (Ft) |
| 3 ha | 80 × 80 | 0,3 | 8 750 | | |
| | 40 × 40 | 0,6 | 17 500 | | |
| | 20 × 20 | 1,5 | 26 250 | 2,8 | 52 500 |
| | 10 × 10 | 4,5 | 78 750 | | |
| | 5 × 5 | 14,8 | 262 500 | | |
| 10 ha | 80 × 80 | 0,6 | 17 500 | | |
| | 40 × 40 | 1,6 | 35 000 | | |
| | 20 × 20 | 4,4 | 78 750 | 5,1 | 96 250 |
| | 10 × 10 | 14,2 | 253 750 | | |
| | 5 × 5 | 50,0 | 875 000 | | |
| 30 ha | 80 × 80 | 1,8 | 35 000 | | |
| | 40 × 40 | 4,4 | 78 750 | | |
| | 20 × 20 | 12,9 | 227 500 | 16,6 | 297 500 |
| | 10 × 10 | 41,7 | 735 000 | | |
| | 5 × 5 | 148,8 | 2 607 500 | | |
| 60 ha | 80 × 80 | 3,6 | 70 000 | | |
| | 40 × 40 | 8,6 | 157 500 | | |
| | 20 × 20 | 25,1 | 446 250 | 23,5 | 411 250 |
| | 10 × 10 | 83,1 | 1 461 250 | | |
| | 5 × 5 | 296,9 | 5 197 500 | | |

A 3 ha-os táblamodellek esetében összeállított ranglisták legjobb 10 elemét a tekintve a párhuzamos transzekt egyszer, a 40 × 40-es pontrács kétszer, míg a 20 × 20-as és 40 × 40-es dupla pontrács összesen háromszor szerepelt. A mintaterék minden mintavételezési útvonala szerepelt, a mintaszámokra nagyfokú változatosság jellemző, a legkevesebbszer előforduló a 30 db-os.

A 10 ha-os táblamodellek esetében a párhuzamos transzekt és a pontrács egyszer sem, a 20 × 20-as és 80 × 80-as dupla pontrácsos módszer összesen kétszer került fel a listák első 10 helyére. A mintateres módszernél összességében minden mintavételezési útvonal szerepelt, a mintaszámokra nagyfokú változatosság jellemző, a legkevesebbszer előforduló a 30 db-os.

A 30 ha-os táblamodellek esetében a párhuzamos transzekt egyszer sem, a 40 × 40-es pontrács kétszer, míg a 40 × 40-es és 80 × 80-as dupla pontrácsos módszer összesen ötször jelent meg. A mintaterék minden mintavételezési útvonala szerepelt, a mintaszámokra nagyfokú változatosság jellemző.

A 60 ha-os táblamodelleknél kizárólag a mintateres módszer különböző változatai kerültek fel a listák első 10 helyére. Minden mintavételezési útvonal szerepelt, a mintaszámokra nagyfokú változatosság jellemző.

3.2.3. Az őszi búzában végzett vizsgálatok eredményei

A teljes adatsorban ($n = 2.700$) a torzítás minimuma $-6,1\%$, maximuma $7,1\%$ volt. A PRB minimuma $-31,9\%$, maximuma $32,9\%$ volt. Előbbi adatsor mediánja $0,04\%$, utóbbié $0,12\%$ volt.

Az ötös ismétléscsoportok ($n = 540$) alapján az SE minimuma $0,1\%$, maximuma $4,7\%$ volt. Az MSE minimuma $0,01\%$, maximuma $34,1\%$ volt. Az SE mediánja $0,6\%$, míg az MSE középértéke $1,6\%$ volt. Az átlagos torzítás minimuma $-4,7\%$ (-42.188 Ft), maximuma $5,8\%$ (52.212 Ft) volt. Az adatsor mediánja $0,02\%$ volt.

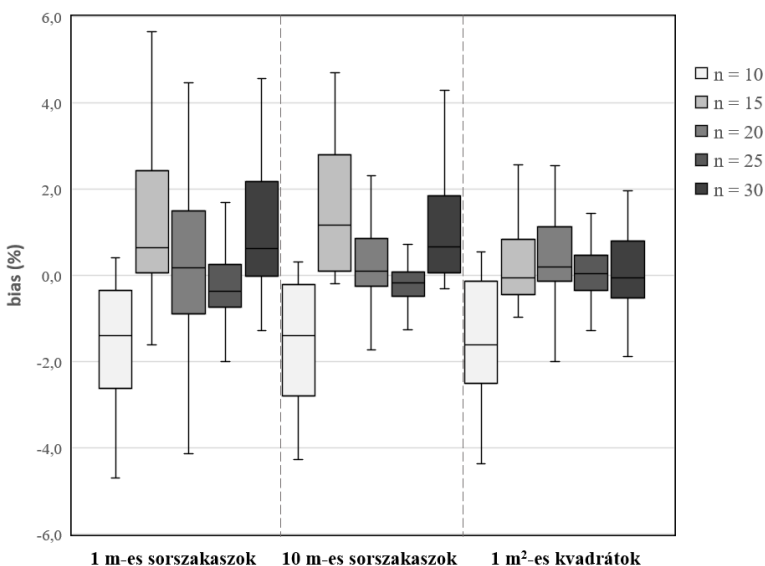
A kár térbeli eloszlása, valós aránya, valamint a két faktor interakciója által a valós értéktől való eltérésre gyakorolt hatás tekintetben a 10 m-es sorszakaszok bizonyultak a leggyengébbnek. A másik két mintavételi egységgel dolgozó becslések hasonlóan érzékenyek voltak a kár térbeli eloszlására, míg a kárány és az interakció kevésbé volt meghatározó (ez különösen igaz volt a W útvonalon elhelyezett 1 m-es sorszakaszoknál). A páronkénti összehasonlítások eredményeiben nem volt következetesség vagy mintázat.

Az ötös ismétléscsoportokra számított paraméterek (átlagos torzítás, PRB, SE, MSE) legjobb értékeit többségében a 10 m-es sorszakaszok érték el (változatos útvonalakkal és többségében 25-ös vagy 30-as mintaszámmal). A legrosszabb értékek között az 1 m-es sorszakaszokkal kapott eredmények domináltak (változatos útvonalakkal és mintaszámokkal).

A különböző mintavételi egységek szerinti bontásban az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításait mintavételezési útvonalanként vizsgálva elmondható, hogy a középértékek minden csoportban a 0-hoz nagyon közel helyezkedtek el. Az interkvartilis-tartományok méretét és átfedéseit figyelembe véve nem állapítható meg, hogy bármelyik útvonal általánosságban számottevően jobb vagy gyengébb eredményeket adna a másik kettőnél.

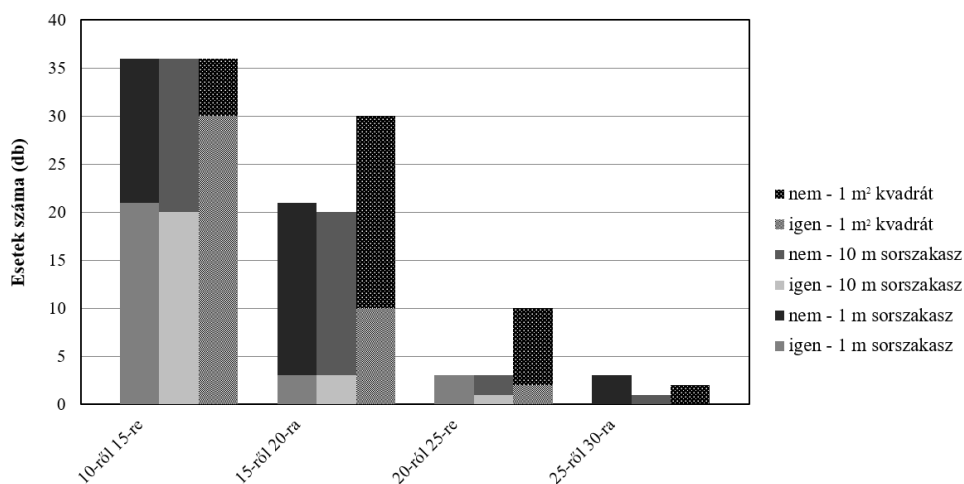
Az egyes mintavételi egységekhez tartozó ötös ismétléscsoportok átlagos torzításait mintaelemszámokként ábrázolva (**14. ábra**) megállapítható, hogy az 1 m-es és 10 m-es sorszakaszok esetében a valós értéktől való eltérés meglehetősen hasonló képet mutatott. Az 1 m²-es kvadrátok esetében a 10-es mintaszám felett a sorszakaszoknál kevésbé voltak hullámzóak az adatok. Mind a sorszakaszok, mind a kvadrátok esetében a 25-ös mintaszámhoz tartozó interkvartilis-tartomány és minimum-maximum intervallum volt a legkisebb.

A fenti megállapítások a relatív torzítás tekintetében is érvényesek.



14. ábra Az átlagos torzítás alakulása mintaszámokként, búzánál (csoportonként n = 36)

A **15. ábra** azon becslések számát mutatja, amelyeknél a minta növelésével lépésről-lépésre tovább csökkent az ötös ismétléscsoportok átlagos torzításának abszolút értéke.



15. ábra A torzítás javulása a mintaszám növelésével a búza vadkárbecslése során

A mintavételezés időszükségletét tekintve megállapítható, hogy az 1 m-es sorszakaszok használatával a legnagyobb mintaszám mellett 1,1 óra (26.250 Ft) alatt végrehajtható a mintavételezés, míg a 10 m-es sorszakaszok és az 1 m²-es kvadrátok esetében a legkisebb mintaszámmal is csak ennél hosszabb vagy ezzel megegyező idő alatt végezhető el a munka. Az utóbbiakat alkalmazva a leghosszabb munkaidő 4,9 óra (87.500 Ft), ill. 3,4 óra (61.250 Ft).

A módszerek rangsorolása alapján, a térbeli káreloszlások szerinti bontásban előállt listák legjobb 10 pontszámot kapó eleme között a 10 m-es sorszakaszokkal végzett becslés összesen két alkalommal szerepel. A véletlen káreloszlásnál többségében az 1 m²-es kvadrátok szerepelnek. Az 1 szegélyben sűrűsödő káreloszlás esetén egy kivétellel minden helyre az 1 m-es sorszakaszok kerültek. Az útvonalak megoszlása a teljes összesítésben egyenletesnek mondható, míg a szűkített lista elején főként V és X útvonalak szerepelnek. A 2 szegélyben sűrűsödő káreloszlás mellett a teljes összesítésből származó rangsor legjobb 10 helyén dominálnak az 1 m-es sorszakaszok, változatos mintaszámmal és többségében X útvonallal. A szűkített listán a mintaszámok szintén változatosak, míg a mintavételi egységeket tekintve már több helyet elfoglalnak az 1 m²-es kvadrátok is. Az útvonalak esetében közel azonos arányban szerepel a V és X alakzat (W egy esetben található).

4. Következtetések és javaslatok

4.1. A pilóta nélküli légi járművel végzett túraskár-becslés

A legeltetett gyepről készített fotókon a szarvasmarhák általi taposás vaddisznótúráshoz való hasonlósága megerősítette, hogy a drónok használata a vadkárszakértők munkáját segítheti, de a helyszíni szemlét nem helyettesíti.

A napraforgóvetésről erős napfényben készített fotók alapján megállapítottam, hogy a képeken valójában nem a túrasok, hanem az önmagukba vetett árnyékuk voltak láthatók. Ez alapján célszerű kerülni az erős napfényben való fotózást, mert az bizonytalanná teszi a területmérést.

A szimulált vaddisznótúrát kutatási célra alkalmasnak találom olyan esetben, ahol a kutatók által pontosan beállított valós kárányra van szükség.

A légi fotók manuális georeferálása meglehetősen körülményesnek bizonyult, külső szolgáltatással végrehajtott automata repülés, valamint ortofotó-készítés ezzel szemben gördülékeny volt. A túrasok ortofotón történt bejelölésével kisebb károsítási arányt kaptam, mint a hagyományos, felszíni mintavételezéssel. Megítélésem szerint a drónos munkával kapott károsítási arány közelebb állt a valós kármértékhez, mint a hagyományos módszer eredménye.

4.2. A pilot vizsgálat és a VAT módszer

A terepi pilot vizsgálat alapján megmutatkozott, hogy a mintateres és a VAT módszer eredményei ott tértek el a legnagyobb mértékben a ténylegesen beállított káránytól, ahol a szimulált károsítás térbeli eloszlása jelentősen eltért a véletlenszerűtől. Ezeknél a tábláknál a pontrácsos módszer adta a legkevésbé torzított becsléseket. Adott módszer kisebb mintanagysággal alkalmazva több esetben is kisebb hibát eredményezett, mint a teljes mintából számolt becslés.

A VAT módszer esetében a terepi vizsgálat és a GIS szimulációk során találtakat összefoglalva megállapítható, hogy az csak véletlenszerű térbeli

káreloszlás mellett ad elfogadható becslési eredményeket, ezért gyakorlati alkalmazását nem javaslom, mivel a vadkár mintázata ettől legtöbbször eltér. Tapasztalataim azt mutatják, hogy a VAT mintavétel munkaidő csökkentésére való alkalmassága is megkérdőjelezhető.

4.3. A kukorica komplex vizsgálata és a búzával végzett térinformatikai szimulációk

Az összes egyedi becslési ismétlést figyelembe véve elmondható, hogy kukoricánál minden torzítás -13,1% és +18,7% között volt, míg búzánál -6,1% és +7,1% között alakult, tehát bármely táblabeállítást és mintavételt választva nem találtam ennél gyengébb eredményt. A leggyengébb becslések tévedése a pénzürtékben kifejezett összeget tekintve is megítélhető. Ezek esetében -308.543 Ft és 173.556 Ft tévedést jelentettek a kukoricánál, míg -42.188 Ft-ot és 52.212 Ft-ot a búzánál. Elsősorban a kukorica esetében mondható el ez alapján, hogy még amennyiben a tévedés százalékban kifejezve nem is tűnik komolynak, ugyanezt pénzbeli hibára lefordítva látható, hogy egy rosszul megválasztott becslési módszer mekkora hátrányt jelenthet valamelyik érintett félnek.

Ehhez a kérdéskörhöz jó kiegészítő adat lehet, hogy a kukorica ($n = 10.400$) esetében $\pm 5\%$ -os torzításon belül a becslések 96,8%-a, míg $\pm 2\%$ -on belül 78,5%-a, de még $\pm 1\%$ -on belül is 55,6%-a volt. Ugyanezek az arányok a búzával ($n = 2.700$) kapcsolatos vizsgálatban rendre 98,2%, ($\pm 5\%$ -on belül), 72,7% ($\pm 2\%$ -on belül) és 50,9% ($\pm 1\%$ -on belül) voltak.

Mindkét kultúrában a kár térbeli eloszlása befolyásolta a legtöbbször a becsléseket, de a kárány és a két faktor interakciója is sok esetben szignifikáns hatással bírt a valós értéktől való eltérésre.

Az ötös ismétléscsoportokat vizsgáló paraméterek tekintetében a kukoricánál a mintateres módszer kiegyensúlyozottabbnak mondható, mint a többi mintavétel. Ezt alátámasztja, hogy a pontrácsos és a dupla pontrácsos eljárások sokszor adták a legjobb és a legrosszabb értékeket is. A dupla

pontráccsal kapott eredményekben nem volt javulást, ami indokolná az alkalmazását. A búza esetében a legjobb értékeket többségében a 10 m-es sorszakaszokat alkalmazó becslések érték el, míg a legrosszabb értékek között az 1 m-es sorszakaszokkal kapott eredmények domináltak, de nem volt olyan mintavételi egység, amely kiemelkedően gyengén vagy erősen teljesített volna.

A mintateres módszer mintavételi útvonalait értékelve a kukoricánál azt találtam, hogy összességében nem lehetett különbséget tenni a V, W és X útvonal alkalmassága között. Búzában szintén nagyon alacsony mértékű eltérések látszóttak. A kiválasztás során elfogadható, ha a szakértők a legkisebb időszükségletű útvonal mentén helyezik el a mintavételi egységeket.

A mintanagyság kérdése szintén fontos. A kukoricánál a mintateres módszer esetében a két kisebb táblaméret mellett a torzítások alakulása nagyon hasonló volt, elenyésző különbséggel mutatkozott a legjobbnak a 30 db-os mintaszám. A 30 és 60 ha-os táblamodelleken szintén a legnagyobb mintaszám hozta a legjobb eredményeket, $n = 25$ esetében szélesebb intervallumban mozogtak a torzítások. A mintateres módszerre vonatkozóan az Egységes Mezőgazdasági Vadkárfelemelési Útmutató 3 ha-os táblákra minimum 15 db mintateret ajánl, de ez a mintaszám nem bizonyult jobbnak, mint a 10 db. Ehhez hasonlóan 10 ha-nál az ajánlott 20 db-os mintaszám nem hozott jobb eredményeket, mint a kisebbek. A 30 ha-os táblákon épp a minimálisan ajánlott 25 db-os mintaszám szolgáltatta a leggyengébb eredményeket, itt érdemes lehet az ajánlást 30 db-ra növelni. A 60 ha-os területre szintén megfontolható a 30 db-ra növelés (30 ha és 99,99 ha között 25 db a minimális javaslat).

A pontrácsos módszer változatai kapcsán általánosságban elmondható volt, hogy minél nagyobb volt a tábla, annál kevesebb mintanagyság-növelési lépés után múltak felül a mintateres módszer teljesítményét. Természetesen nem szabad elfelejteni, hogy a módszerek sajátosságai miatt egy-egy lépés teljesen más munkaigény-növekedést jelent, tehát az adatok úgy is értelmezhetőek, hogy a pontrácsos és dupla pontrácsos módszernél bár sokkal látványosabb volt a

becslés javulása a mintanagyság növelésével, ott sokkal nagyobb munkára volt szükség a mintateres módszer eredményeinek eléréséhez és túlszárnyalásához.

A búzában sorszakaszokkal végzett becsléseknél erősen hullámzott a különböző mintaszámokkal kapott becslések minősége, ami a kvadrátos becslésre sokkal kevésbé volt igaz. Mindhárom mintavételezésnél az útmutató által ajánlott 25 db-os mintaszámmal kaptam a legjobb eredményeket.

Mindkét kultúra esetében azt tapasztaltam, hogy a mintanagyság növelése nem feltétlenül járt együtt a becslési eredmény javulásával, ami megakadályozta, hogy módszerenként egyértelműen meghatározzam azt az optimális pontot, ahol már kisebb mértékben javul a becslés, mint amennyivel időigényesebbé és ez által költségesebbé válik a végrehajtás. Ezen ok miatt döntöttem végül a módszerek különböző (statisztikai, valamint időszükséglettel és munkadíjjal kapcsolatos) szempontok szerinti, majd azok többféle összegzésével megvalósított rangsorolása mellett. A kukorica esetében szinte minden esetben a mintateres módszer különböző változatai kerültek a ranglisták elejére. Ez alátámasztja a vadkárszakértők eddigi gyakorlatát, valamint az Egységes Mezőgazdasági Vadkárfelemelési Útmutatót is erősíti. Búzában a rangsorok alapján az 1 m-es sorszakaszokkal és az 1 m²-es kvadrátokkal végzett mintavételezést is támogathatónak tartom, hozzátéve, hogy amennyiben nem a költségek alacsonyan tartása a fő szempont, a statisztikai paraméterek alapján a kvadrátokkal összességében jobb becslések várhatók. A rangsorokat figyelembe véve a 10 m-es sorszakaszok alkalmazását kis táblaméretre nem javaslom.

Eredményeim a vadkárterítési eljárás bírósági szakaszában dolgozó igazságügyi szakértők munkáját is segíthetik, akiknek egy másik szakértő terepi munkáját kell értékelniük. Adataim olyan hasznosítása is elképzelhető, hogy annak példáján egy vadkárszakértő kiszámítja a becslés személyre szabott időszükségletét, amivel pontosabb árajánlatot tud adni az óradíjának közlésénél. Vizsgálataim kiegészítésére lehetséges további táblaformák és -méretek, térbeli káreloszlások, valamint kárarányok modellezése is.

5. Új tudományos eredmények

1. Kidolgoztam és eredményesen alkalmaztam az egyes sűrű és széles sortávú szántóföldi kultúrák vadkárbecslési módszereinek térinformatikai tesztelésére alkalmas módszertant és az annak alapját képező táblamodelleket.
2. A kukorica példáján keresztül, ismert valós károsítási arány mellett elvégzett terepi vizsgálatokkal, valamint térinformatikai szimulációval igazoltam, hogy a Variable Area Transect módszer nem alkalmas vadkárbecslésre.
3. Kimutattam, hogy széles sortávú szántóföldi kultúrában 3, 10, 30 és 60 ha táblaméret mellett a kvadrátokkal dolgozó mintateres, a pontrácsos, a dupla pontrácsos és a párhuzamos transzekt vadkárbecslési módszerek eredményeit leginkább a kár térbeli eloszlása befolyásolja, de a kárárány és a két tényező interakciója is számos esetben hatással van rájuk.
4. Kimutattam, hogy széles sortávú kultúrában a pontrácsos mintavételezés módosított, dupla pontrácsos változata az eredetinel nem ad általánosságban jobb minőségű eredményeket, ezért a módszer ilyen irányú fejlesztése nem célszerű. Megállapítottam, hogy a vizsgáltak közül a gyakorlat számára egyértelműen a mintateres eljárás ajánlott. Itt 1:2 oldalarány mellett a V, W és X mintavételi útvonalak közül bármelyik alkalmazása támogatható, a vizsgált mintaszámok közül pedig 3 és 10 ha-os táblaméretnél a 10 db-os is elfogadható, míg 30 és 60 ha mellett a 30 db-os javasolható.
5. Kimutattam, hogy sűrű sortávú szántóföldi kultúrában, kis (3 ha) táblaméret mellett 1 m és 10 m hosszúságú sorszakaszok, valamint négyzet alakú, 1 m² területű kvadrátok is alkalmasak vadkárbecslésre. A becslési eredményeket

leginkább a kár térbeli eloszlása befolyásolja, de a kárarány és a két tényező interakciója is számos esetben hatással van rájuk.

6. Kimutattam, hogy sűrű sortávú kultúrában, kis (3 ha) táblaméret mellett, a költséghatékonyságot is figyelembe véve elsősorban 1 m-es sorszakaszok és 1 m²-es kvadrátok alkalmazása ajánlható vadkárbecslésre. Megállapítottam, hogy 1:2 oldaláránynál a V, W és X mintavételi útvonalak közül bármelyik alkalmazása támogatható, míg a vizsgált mintaszámok közül a 25 db-os javasolható.

6. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Első szerzős cikk Impact Factorral rendelkező folyóiratban

Kovács, I., Tóth, B., Schally, G., Csányi, S. Bleier, N. (2020): The assessment of wildlife damage estimation methods in maize with simulation in GIS environment. **Crop Protection** 127: 104971. *IF*₂₀₂₀ = 2,571

Referált cikk idegennyelvű folyóiratban

Kovács, I., Schally, G., Csányi, S. Bleier, N. (2020): The effect of sample size on wildlife damage estimations in maize (*Zea mays*). **Hungarian Agricultural Research** 29(1): 4-9.

Kovács, I., Szabó, A., Schally, G., Csányi, S., Bleier, N. (2019): Analysis of game damage estimation methods in Winter wheat (*Triticum aestivum*) through GIS simulations. **Review on Agriculture and Rural Development** 8(1-2): 41-46.

Bleier, N., Kovács, I., Schally, G., Szemethy, L., Csányi, S. (2017): Spatial and temporal characteristics of the damage caused by wild ungulates in maize (*Zea mays* L.) crops. **International Journal of Pest Management** 63(1): 92-100. *IF*₂₀₁₇ = 1,090

Referált cikk magyar nyelvű folyóiratban

Kovács, I., Illés, B., S. Bleier, N. (2020): Gímszarvas (*Cervus elaphus*) és vaddisznó (*Sus scrofa*) által okozott kár táblán belüli eloszlásának vizsgálata kukoricában (*Zea mays*). **Vadbiológia** 20: 15-22.

Egyéb értékelhető cikk

Bleier, N., Kovács, I., Timmel, E., Medve, I., Csányi, S. (2017): Gazdálkodók a vadkárrol (IV.). **Magyar Mezőgazdaság** 72(33): 36-38.

Bleier, N., Kovács, I., Timmel, E., Medve, I., Csányi, S. (2017): Gazdálkodók a vadkárrol (III.). **Magyar Mezőgazdaság** 72(32): 32-34.

Bleier, N., Kovács, I., Timmel, E., Medve, I., Csányi, S. (2017): Gazdálkodók a vadkáról (II.). **Magyar Mezőgazdaság** 72(31): 22-23.

Bleier, N., Kovács, I., Csányi, S. (2017): Gazdálkodók a vadkáról (I.). **Magyar Mezőgazdaság** 72(30): 24-25.

Csányi, S., Bleier, N., Kovács, I., Schally, G. (2016): A mezőgazdasági vadkár a gazdák szemszögéből. **NAKlap** 4(9): 18-19.

Nemzetközi konferencián tartott előadás

Kovács, I., Szabó, A., Schally, G., Csányi, S., Norbert, B. (2019): Analysis of game damage estimation methods in Winter wheat (*Triticum aestivum*) through GIS simulations. **17th Wellmann International Scientific Conference**. Hódmezővásárhely, Hungary. 8th May 2019

Kovács, I. (2015): Assessment, improvement and development of agricultural wildlife damage estimation methods. **”Healthy Wildlife, Healthy People” World Forum on Sustainable Hunting**. 62nd CIC General Assembly. Pravets, Bulgaria. 23-25 April 2015

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent absztrakt

Kovács, I., Szabó, A., Schally, G., Csányi, S., Norbert, B. (2019): Analysis of game damage estimation methods in Winter wheat (*Triticum aestivum*) through GIS simulations. pp. 44-45. In: Monostori, T. (ed.): **17th Wellmann International Scientific Conference. Book of Abstracts**. Hódmezővásárhely, Hungary. 8th May 2019

Egyéb publikáció

Csányi, S., Bleier, N., Kovács, I., Schally, G. (2016): A mezőgazdasági vadkár témakörében végzett kérdőíves felmérés értékelése. Jelentés. Megbízó: Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK). SZIE Vadvilág Megőrzési Intézet, Gödöllő, 114+193 pp.