

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

ZSEBŐ SÁNDOR

MOSONMAGYARÓVÁR

2025

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

ALBERT KÁZMÉR MOSONMAGYARÓVÁRI KAR

BIOLÓGIAI RENDSZEREK ÉS PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIAI TANSZÉK

**WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER-TUDOMÁNYI
MULTIDISZCIPLINÁRIS**

DOKTORI ISKOLA

HABERLANDT GOTTLIEB NÖVÉNYTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM

DOKTORI ISKOLAVEZETŐ:

PROF. DR. VARGA LÁSZLÓ PhD

EGYETEMI TANÁR

PROGRAMVEZETŐ:

PROF. DR. PINKE GYULA PhD

EGYETEMI TANÁR

TÉMAVEZETŐK:

PROF. DR. KOVÁCS ATTILA JÓZSEF, EGYETEMI TANÁR

PROF. DR. MILICS GÁBOR, EGYETEMI TANÁR

**Távérzékelési adatok alkalmazása tág térállású kultúrák precíziós
növénytermesztése során**

KÉSZÍTETTE:

ZSEBŐ SÁNDOR

MOSONMAGYARÓVÁR

2025

1. BEVEZETÉS

A disszertáció a precíziós gazdálkodás két fontos tématerületével, az NDVI értékek alapján történő őszi búza hozambecslésével és a különböző szenzorok adataiból kinyert NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékek egyidőben történő összehasonlításával foglalkozik.

Kutatómunkám célkitűzései:

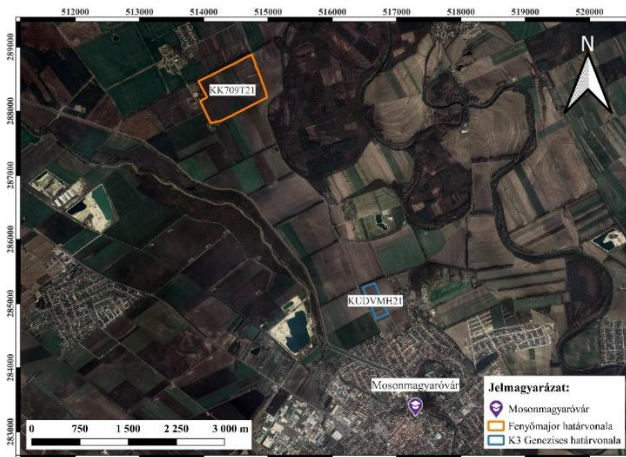
- GreenSeeker és MicaSense RedEdge-MX multispektrális kamera adataiból kalkulált NDVI értékek összehasonlítása különböző tápanyaggal ellátott kezelések esetében a hozampredikációs modellbe való integrálás érdekében.
- Különböző kezelések és a hozam közötti kapcsolat feltárása az NDVI értékek alapján.
- Őszi búza hozambecslése a MicaSense kamera és a GreenSeeker adataiból kalkulált NDVI értékek alapján.
- Hozambecslési modell kidolgozása az NDVI értékek, a vetés utáni napok és a kumulált napi fejlődési hőmérsékleti összeg bevonásával.
- Sentinel-2, MicaSense és Phantom 4 multispektrális kamera és a GreenSeeker adataiból számított NDVI értékek egy időben történő összehasonlítása a hozampredikációs-modellbe bevont szenzorok jövőbeli kibővítésének céljából.

- Optimális mintavételezési szám meghatározása a GreenSeeker és a Sentinel-2 műhold által gyűjtött adatok összehasonlíthatósága érdekében.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Kísérleti területek bemutatása

A vizsgálatok helyszínéül a Széchenyi István Egyetemhez tartozó Uni-Agro-Food Kft. kezelésében lévő Fenyőmajor (MePAR kód: KK709T21) és K3 Genezises (MePAR kód: KUDVMH21) nevű táblák szolgáltak.



1. ábra: Fenyőmajor és K3 Genezises táblák földrajzi elhelyezkedése.

A Fenyőmajori táblán egy 30×30 méteres rész lett kijelölve a Sentinel-2 műhold haladási irányának és pixelméreteinek megfelelően. Ezen a területen csak a 2023-as évben végeztem méréseket, amikor a termesztett kultúra őszi búza (*Triticum aestivum* L.) volt. A Genezises táblán egy randomizált blokk elrendezésű kísérlet, négy blokkal és négy ismétléssel lett beállítva. Minden blokkban eltérő mennyiségű műtrágya lett kijuttatva. Egy parcella mérete $4,2 \times 22$ méter volt.

2.2. Adatgyűjtő eszközök bemutatása

A disszertációban bemutatott kutatásokhoz összesen négy különböző szenzort alkalmaztam.

A legnagyobb térbeli felbontású adatokat a Sentinel-2 műhold szolgáltatta, míg a legkisebb térbeli felbontású adatokat egy Phantom 4 multispektrális kamerából és egy DJI Matrice 210 V2 típusú drónra szerelt MicaSense RedEdge-MX Dual kamerarendszer adataiból nyertem ki. Végül a földközeli méréseket egy GreenSeeker HCS-250 típusú optikai érzékelővel végeztem.

2.3. Adatok feldolgozása és kiértékelése

A nyers képek összeillesztését az Agisoft Metashape szoftver segítségével végeztem. Az elkészült ortomozaik képekből a QGIS térinformatikai szoftver használatával nyertem ki a további adatelemzéshez szükséges NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékeket.

A statisztikai elemzéseket kezelésenként, időpontként és szenzoronként is külön-külön elvégeztem az R statisztikai szoftver alkalmazásával.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Őszi búza hozama és az NDVI értékek közötti összefüggések különböző egyenleteknél

A két szenzor (MicaSense kamera és GreenSeeker) adataiból kinyert NDVI értékek és a mért hozam összehasonlítása során a GreenSeekeres mérésekből kapott NDVI értékek jóval megbízhatóbb adatokat szolgáltatnak a hozambecsléshez a szárbaindulás kezdetétől (BBCH-30) egészen a betakarítás előtti időszakig (BBCH 80-85). A 1. táblázat alapján minimális eltérések figyelhetők meg a különböző egyenletek között, ezért mindkét szenzor esetében mind a három modell alkalmazható a búza hozamának előrejelzésére a 226. vetés utáni napon (VUN).

1. táblázat: Determinációs együtthatók (r^2) meghatározása a GreenSeeker optikai érzékelő, valamint a MicaSense kamera adataiból kalkulált NDVI értékek és az őszi búza eltérő kezeléseinek (kontroll, környezetkímélő, mérleg,

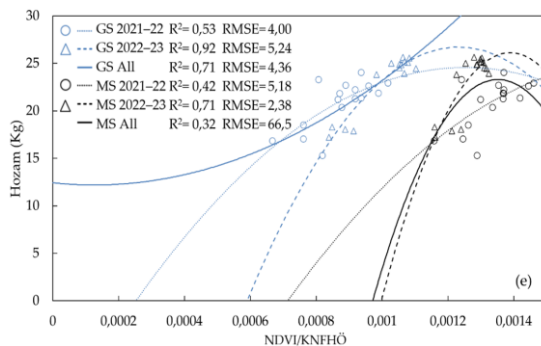
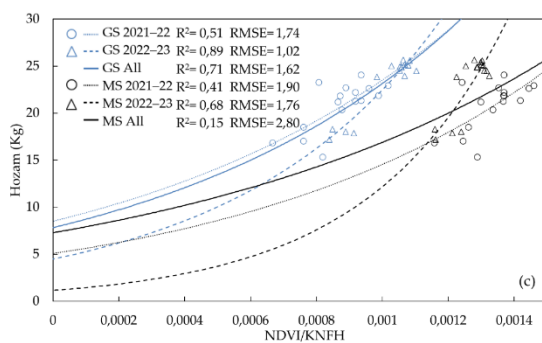
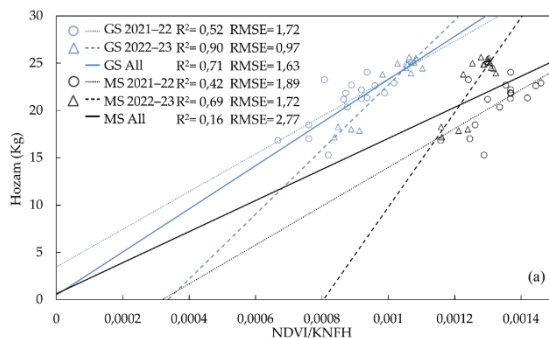
genezis) hozama alapján három különböző egyenlet (exponenciális (E^1), lineáris (L^2), kvadratikus (Q^3)) segítségével.

		VUN	170	186	200	212	226	240
Kontroll	E^1	0,09	0,06	0,12	0,25	0,13	0,70**	
	L^2	0,09	0,05	0,11	0,23	0,11	0,70**	
	Q^3	0,09	0,09	0,16	0,47	0,61	0,86**	
GreenSeeker	E^1	0,72**	0,52*	0,78**	0,81**	0,76**	0,44	
	L^2	0,73**	0,53*	0,89**	0,80**	0,77**	0,43	
	Q^3	0,74*	0,78*	0,82*	0,81*	0,82*	0,45	
Mérleg	E^1	0,81**	0,42	0,68*	0,74**	0,90***	0,68*	
	L^2	0,70**	0,44	0,70**	0,77**	0,91***	0,66**	
	Q^3	0,68*	0,75*	0,73*	0,77*	0,91***	0,84**	
Genezis	E^1	0,74**	0,67*	0,77**	0,78**	0,78**	0,53*	
	L^2	0,75**	0,80*	0,78**	0,79**	0,79**	0,53*	
	Q^3	0,76*	0,68	0,85**	0,80*	0,79*	0,57	
Kontroll	E^1	0,13	0,32	0,00	0,07	0,50	0,90**	
	L^2	0,12	0,09	0,00	0,06	0,48	0,89**	
	Q^3	0,23	0,12	0,12	0,25	0,70	0,89**	
MicaSense	E^1	0,74**	0,19	0,08	0,04	0,79**	0,37	
	L^2	0,75**	0,20	0,01	0,04	0,79**	0,35	
	Q^3	0,82**	0,21	0,01	0,30	0,86**	0,38	
Mérleg	E^1	0,71**	0,28	0,07	0,28	0,79**	0,71**	
	L^2	0,72**	0,29	0,08	0,28	0,78**	0,87*	
	Q^3	0,80*	0,88**	0,20	0,28	0,79**	0,69	
Genezis	E^1	0,78*	0,88***	0,15	0,37	0,69*	0,47	
	L^2	0,79**	0,88***	0,15	0,37	0,69*	0,47	
	Q^3	0,86**	0,88***	0,15	0,37	0,69*	0,48	

¹exponenciális egyenlet és képlete: $y_{\text{yield}} = a \times e^{b \times \text{xNDVI}}$; ²lineáris egyenlet és képlete $y_{\text{yield}} = a \times \text{xNDVI} + b$; ³kvadratikus egyenlet és képlete $y_{\text{yield}} = a \times \text{xNDVI}^2 + b \times \text{xNDVI} + c$; az „a” és „b” regressziós paraméter mindegyik egyenletben. *Szignifikanciaszint $p \leq 0,05$; **szignifikanciaszint $p \leq 0,01$; ***szignifikanciaszint $p \leq 0,001$.

3.2. Hozambecslési egyenlet kiegészítése KNFHÖ értékekkel

A három hozampredikációs modell (lineáris, exponenciális, kvadratikus) közül mind a két szenzor (MicaSense kamera, GreenSeeker) évenkénti és összevont adatait figyelembe véve a lineáris modellnél (2.a ábra) kaptam a legalacsonyabb RMSE értékeket (RMSE = 0,97-2,77 kg), ezért ezzel a modellel folytatódtak a további számítások.



2. ábra: KNFHÖ adatokkal módosított lineáris (a), exponenciális (c), kvadratikus (e) hozampredikációs egyenlet a GreenSeeker (GS) és a MicaSense (MS) adataiból kalkulált NDVI értékek alapján. Az ábrák mindkét szenzor esetében a 2021-22-es és a 2022-23-as időszak mérési eredményeit szemléltetik. A KNFHÖ értékek a vetéstől az adatgyűjtés időpontjáig a kumulált napi fejlődési hőmérsékleti összeget fejezik ki, amikor a napi fejlődési hőmérsékleti összeg (NFHÖ) > 0.

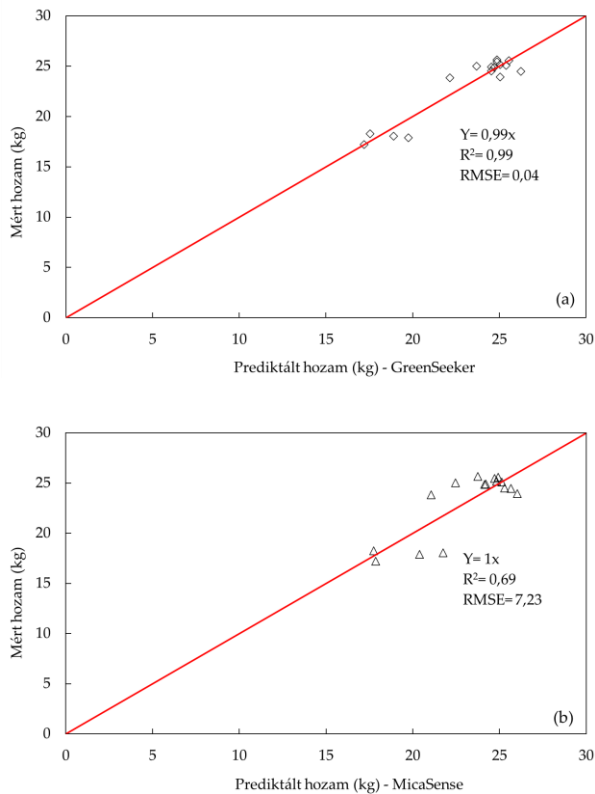
3.3. Modell validáció

Az NDVI értékek kumulált napi fejlődési hőmérsékleti összeggel (KNFHÖ) módosított lineáris egyenletével határozható meg legpontosabban a várható terméshozam (2. táblázat) a vetéstől számított 226. napon, amikor a napi fejlődési hőmérsékleti összeg > 0 . A GreenSeekeres hozampredikciós-modell nagyon erős összefüggést ($r^2 = 0,90$) és viszonylag alacsony RMSE-t (0,97) mutatott. A MicaSense kamera hozamelőrejelzési-modelljében (2. táblázat) is erős a két változó illeszkedésének mértéke, azonban itt már magasabb RMSE (1,72) értékek láthatók. A hozampredikciós-modellek validálási eredményei alapján (3. ábra) a GreenSeekeres mérésekkel jóval pontosabban (RMSE = 0,04) lehet előre jelezni az őszi búza várható hozamát, mint MicaSense kamerával (RMSE = 7,23) végzett felmérések esetében.

2. táblázat: Regressziós együtthatók (a , b), determinációs együttható (r^2) és átlagos négyzetgyökhiba (RMSE) használata az őszi búza hozampredikciós-modelljének kialakításához a két szenzor esetében.

	Növény index	Felvételezés ideje	R^2	Regressziós paraméterek ^a		RMSE
				a	b	
Hozam-predikciós modell (GreenSeeker)	NDVI/KNFHÖ	226. VUN	0,90*	34206	-11,483	0,97
Hozam-predikciós modell (MicaSense)	NDVI/KNFHÖ	226. VUN	0,69*	50110	-40,336	1,72

^a Regressziós paraméter, várható hozam = $a \times e^{b \times \text{indexérték}}$. Az integrált hozampredikciós-modell négy kezelés (kontroll, környezetkímélő, mérleg, genezis) és két érzékelő (GreenSeeker, MicaSense kamera) adataiból épült fel, amelyek a 2021-22-es és a 2022-23-as vegetációs periódusban lettek begyűjtve. * $p \leq 0,001$

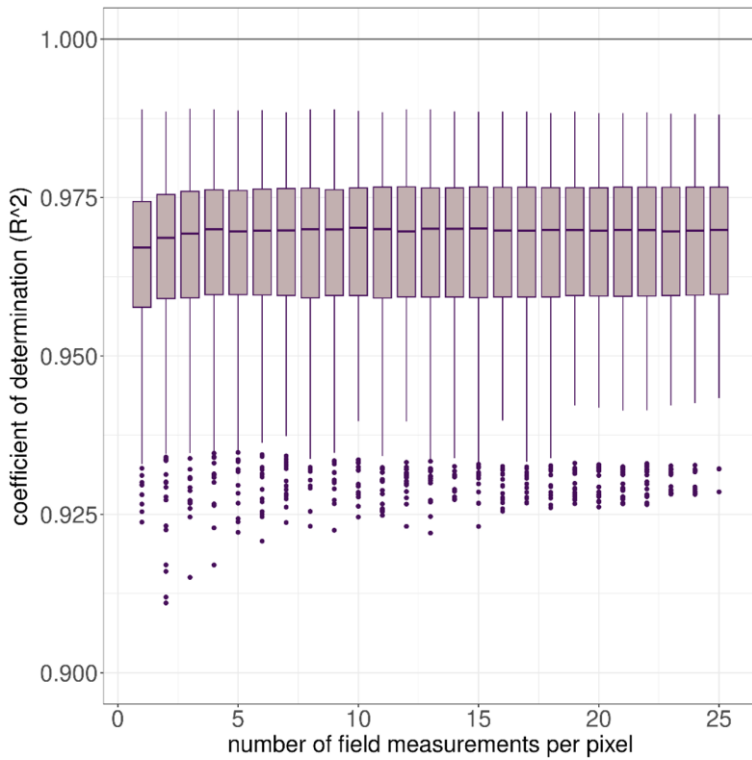


3. ábra: Őszi búza várható hozamának becslésére szolgáló lineáris hozampredikációs-modell, amelyen a mért és prediktált hozama közötti kapcsolatot mutatja meg (a) GreenSeeker adatai (b) MicaSense kamera adatai alapján.

3.4. GreenSeeker és Sentinel-2 műhold adataiból számított NDVI értékek összehasonlítása.

A két szenzor NDVI értékének determinációs együtthatója alapján történő összehasonlítása során a mintavételezések számának növelése minimálisan ($r^2 \leq 0,003$) befolyásolta a két adat közötti összefüggést (4. ábra). Ezen eredmények alapján a GreenSeekeres mérések számának emelésével javuló tendencia figyelhető meg (4. ábra) a hatodik mérési

pontra, azonban ezt követően már nem javult a modell a mintaszámok növelésével.



coefficient of determination (r^2)=determinációs együttható (r^2); number of field measurements per pixel=pixelen belüli mérések száma

4. ábra: A GreenSeeker mérések (1-25-ig) és a Sentinel-2 műhold adataiból kinyert pixelenkénti NDVI értékek összehasonlítása és determinációs együtthatói.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

1. A két szenzorral (GreenSeeker és MicaSense kamera) történő vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a Mosoni-sík kistájon a műtrágyázott őszi búzák várható hozamát a szemképződés (BBCH 70-75) időszakában lehet a legpontosabban meghatározni ($p \leq 0,05$ szignifikanciaszinten).

2. Statisztikai számításokkal bebizonyítottam, hogy a szemképződés (BBCH 70-75) időszakában a különböző kezelések hozamai és a kutatási területre vonatkoztatott NDVI értékek közötti összefüggések vizsgálatánál (lineáris, exponenciális, kvadratikus) a GreenSeeker adatai ($r^2 = 0,15-0,85$) pontosabb hozambecslést eredményeznek a MicaSense kamera adataihoz ($r^2 = 0,15-0,78$) képest.

3. Igazoltam, hogy a GreenSeeker kézi optikai szenzor adataira alapozott hozampredikációs egyenletekkel (lineáris, exponenciális, kvadratikus) pontosabb (RMSE = 0,56-1,03) hozammeghatározásra van lehetőség, mint a MicaSense kamera (RMSE = 0,73-1,34) adatainak alkalmazásával.

4. Statisztikai számításokkal alátámasztottam, hogy a lineáris egyenlet (RMSE = 0,97-2,77) alkalmazása a leghatékonyabb a hozamok prediktálására, mivel az exponenciális (RMSE = 1,02-2,80) és a kvadratikus (RMSE = 2,38-66,5) egyenletnél magasabb RMSE értékeket kaptam.

5. Vizsgálataim során igazoltam, hogy a négy különböző szenzor (Sentinel-2, MicaSense multispektrális kamera, Phantom 4 multispektrális kamera, GreenSeeker) adataiból kalkulált NDVI értékek egy időben történő összehasonlításakor a legtöbb esetben egymástól szignifikánsan ($p \leq 0,05$) eltérő NDVI értékeket kaptam az őszi búza felvételezésnél. Ebből következően megállapítottam, hogy az eltérő szenzorok egymással bizonyos esetekben nem összemérhető értékeket mérnek.

6. Lineáris modell segítségével alátámasztottam, hogy a GreenSeeker optikai érzékelő és a Sentinel-2 műhold adataiból kalkulált NDVI értékek alapján a GreenSeekeres mintavételezések számának növelése kezdetben minimálisan ($r^2 \leq 0,003$) befolyásolta, a két adat közötti determinációs együtthatót $p \leq 0,001$ szignifikanciaszinten. Azonban a hatodik mérési ponttól már nem javul tovább a modell pontossága.

5. Gyakorlatnak átadható eredmények

1. Az őszi búza zászlóslevélének megjelenése és a kalászhányás kezdete (BBCH 37-50) közötti időszakban nem érdemes a MicaSense multispektrális kamera adataiból kalkulált NDVI értékekkel hozambecslést végezni. Más szenzorok vagy más vegetációs indexek alkalmazásával érdemes további vizsgálatokat végezni ezen kritikus időszakban.

2. NDVI értékek alapján az őszi búza szemképződés (BBCH 70-75) fejlődési szakaszában becsülhető meg legpontosabban Mosonmagyaróvár vonzáskörzetében a várható hozam.

3. Az őszi búza várható hozama a lineáris egyenlet és a kumulált napi fejlődési hőmérsékleti összeg modellbe történő integrálásával becsülhető meg legpontosabban.

4. A Phantom 4 multispektrális kamera, a MicaSense multispektrális kamera és a kézi GreenSeeker szenzor adatiból kalkulált NDVI értékeket nem érdemes a zászlóslevél megjelenése és a kalászhányás kezdete (BBCH 37-50) közötti időintervallumban egymással összehasonlítani, mivel ezen periódusban figyelhető meg a leggyengébb összefüggés az adatok között.

5. A Sentinel-2 műhold és a GreenSeeker kézi érzékelő adataiból számított NDVI értékek összehasonlításakor, elég hat darab mintavételezést végrehajtani a GreenSeekerrel.

6. Publikációk

6.1. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

6.1.1. Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

Zsebő, S.; Kukorelli, G., Milics, G.; Vona, V.M.; Kulmány, I.M. (2023): GreenSeeker és MicaSense kamera NDVI értékeinek összehasonlítása, valamint kapcsolatuk a hozammal. Acta Agronomica Óváriensis Vol. 64. (1) 95-111 p.

Zsebő, S.; Milics, G.; Kovács, A. (2022): Képfeldolgozási eljárások a precíziós gazdálkodásban. Acta agronomica Óváriensis Vol. 63. (2) 125-157 p.

6.1.2. Tudományos közlemény, idegen nyelvű, lektorált folyóiratban:

Zsebő, S.; Bede, L.; Kukorelli, G.; Kulmány, I.M.; Milics, G.; Stencinger, D.; Teschner, G.; Varga, Z.; Vona, V.; Kovács, A.J. (2024): Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology. Drones, 8, 88. <https://doi.org/10.3390/drones8030088>

Q1 – IF: 4,4

6.1.3. Proceedings, idegen nyelven:

Zsebő, S.; Kukorelli, G.; Horváth, B.; Hegedüs, G.; Abdinoor, A.J.; Vona, V.; Bede, L.; Stencinger, D.; Kovács, A.J.; Milics, G.; Kulmány M.I. (2024). Comparison of NDVI values at different phenological stages of winter wheat (*Triticum Aestivum* L.). Proceedings of the 16th International Conference on Precision Agriculture, Manhattan, Kansas USA.

Milics, G.; **Zsebő, S.**; Stencinger, D.; Kovacs; A. J. (2021): Creating augmented reality spaces for digital farming. IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications [szerk.]. 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2021): Proceedings. 753-756 p.

6.2. Egyéb témakörben megjelent publikációk:

6.2.1. Impakt faktoros:

Kalocsai, R.; Giczi, Z.; Szakál, T.; Centeri, C.; Biró, Z.; Vona, M.; Kubina, L.; **Zsebő, S.**; Kulmány, I.; Vona, V. (2024): Effect of pH, Carbonate and Clay Content on Magnesium Measurement Methods on Hungarian Soils. *Soil Syst.* 2024, 8, 49. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8020049> Q2 – IF: 2,9

Kulmány, I.M.; Bede, L.; Stencinger, D.; **Zsebő, S.**; Csavajda, P.; Kalocsai, R.; Vona, M.; Jakab, G.; Vona, V.M.; Bede-Fazekas, Á. (2024): Challenges in mapping soil variability using apparent soil electrical conductivity under heterogeneous topographic conditions *Agronomy* 14, 1161. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061161> Q1 – IF: 3,3

Hashim, Z.K., De Silva, A.G.S.D., Hassouni, A.A., Vona, V.M., Bede, L., Stencinger, D., Horváth, B., **Zsebő, S.**, Kulmány, I.M. (2024): Effects of Various Herbicide Types and Doses, Tillage Systems, and Nitrogen Rates on CO₂ Emissions from Agricultural Land: A Literature Review. *Agriculture* 14, 1800. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101800> Q1 – IF: 3,3

6.2.2. Proceedings, idegen nyelven:

Kulmány, I.; **Zsebő, S.**; Nyéki, A.; Milics, G.; Kovács, A. J.; Neményi, M. (2018): Improving yield prediction accuracy using energy balance trial, on-the-go and remote sensing procedure. Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, Montreal, Quebec, Canada, 24-27. 9 p.

Milics, G.; **Zsebő, S.**; Szabó, Sz.; Búdi, K.; Takács, A.; Láng, V. (2018): Increasing corn (*Zea Mays L.*) profitability by sitespecific seed and nutrient management in Igmand-Kisber Basin, Hungary. Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, Montreal, Quebec, Canada, 24-27. 7 p.

6.2.3. Ismeretterjesztő közlemények:

Zsebő S. (2023): Különböző eszközök NDVI értékeinek összehasonlítása, az NDVI kapcsolata a hozammal. ÚNKP Tanulmánykötet 2022/2023. Széchenyi István Egyetem, Győr, 231-239 p.

Csepregi A.; **Zsebő S.**; Kauser J.; Milics G. (2020): Érdemes-e automatikus szakaszvezérléssel felszerelni a vetőgépeinket? Beszéljenek a számok! Agroforum: 31. évf. 4. sz. / 2020, pp. 18-20.

Milics G.; **Zsebő S.**; Varga A.; Pörneczi A. (2017): Egyről a kettőre: Precíziós gazdálkodás gazdaszemmel IV. rész –Tapasztalatok a kelés során – Tő- és sortávellenzés. AgroNapló: 21. évf. 7.sz pp. 70-71.