

# SENTINEL-2 NDVI ÉRTÉKEK TÁBLASZINTŰ VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ NÖVÉNYKULTÚRÁKBAN

## FIELD-LEVEL STUDY OF SENTINEL-2 NDVI VALUES IN DIFFERENT CROPS

Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Attila

Országos Meteorológiai Szolgálat, 3533 Miskolc, Kerpely Antal utca 12., [molnar.zs@met.hu](mailto:molnar.zs@met.hu), [kovacs.av@met.hu](mailto:kovacs.av@met.hu)

**Összefoglalás.** A precíziós mezőgazdaságban hatalmas lehetőségeket teremt a nagy felbontású, táblaszintű műholdas információk alkalmazása. A távérzékeléssel mért NDVI értékek ugyanis több, az agrometeorológiában fontos mennyiség (többek között a növényi párolgási együtthatók, az evapotranspiráció) becslésére alkalmasak. Egy mezőgazdasági tábla NDVI időSORA alapján elkülöníthetők a főbb termesztett szántóföldi kultúráink, de a növényzet állapotáról, fenológiai fázisáról is fontos következtetéseket vonhatunk le. Cikkünkben 18 mezőgazdasági tábla NDVI értékei alapján az őszi búza, az őszi káposztarepce és a kukorica 2019-es évi idősorait vizsgáljuk a meteorológiai adatok fényében, és összehasonlítjuk a kultúrák különböző tábláit a megfigyelt fenológiai fázisok szerint.

**Abstract.** High-resolution, plots-level satellite information creates enormous opportunities in precision agriculture. Remotely sensed NDVI values are suitable for estimating several important quantities in agrometeorology (including plant evaporation coefficients, evapotranspiration). Based on the NDVI time series of an agricultural table, our main cultivated field crops can be separated, but we can also draw important conclusions about the condition and phenological phase of the vegetation. In our article, on the basis of meteorological data we examine the 2019 annual time series of winter wheat, winter rapeseed, and maize NDVI values of 18 agricultural plots and compare different plots of crops according to the observed phenological phases.

**Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – Normalizált Vegetációs Index.** Az NDVI a legszélesebb körben használt műholdas vegetációs index, mely a felszín „zöldességével”, fotoszintetikus aktivitásával van kapcsolatban ( $NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)$ ). A 0 és 1 között változó, mértékegység nélküli NDVI értékek egy adott helyen a biomaszra mennyiségét tükrözik, nevezetesen a levelek klorofill- és víztartalmát. A csupasz talaj NDVI értéke a legalacsonyabb, míg a legmagasabb a sűrű erdőké. Az index értéke változik a növényállomány fenológiai fázisaival, de akkor is, amikor azt víz- illetve tápanyaghiány, vagy valamilyen betegség, kártevő sújtja. Így az NDVI indexet többek között a növények fejlődésének, egészségének, a legelők állapotának nyomon követésére, a biomaszra mennyiségének becslésére lehet használni.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat a honlapjának agrometeorológiai oldalán az NDVI hazai területi eloszlásáról, a nyolc nap alatt bekövetkezett változásáról és az átlagtól vett eltéréséről nagy felbontásban, operatíván tájékoztat.

A műholdas NDVI értékek szezonális változása a növényzet leírásában fontos szerepet tölt be, többek között a növénytípus és a produktivitás meghatározásában. A NOAA AVHRR nagy felbontású és gyakoriságú méréseinek vizsgálata megállapította, hogy a különböző növényeknek jellegzetes lefutású NDVI mintázata van az év során. Justice et al. (1985) Dél-Amerika, Afrika és Dél-Ázsia növényzetének fenológiáját vizsgálta műholdas mérések segítségével. Tucker et al. (1985) Afrika növényborítottságát osztályozta, Goward et al. (1985) Észak-Amerika növényzetét vizsgálta. A felszínborítás osztályozás mellett az NDVI évi összegek jó korrelációt mutattak az elsődleges növényi produkcióval Észak- és Dél-Amerikában (Goward et al., 1985; Goward és Dye, 1987; Goward et al., 1987). E mellett az AVHRR NDVI segítségével sikerült olyan paramétereket is meghatározni, melyek a növénymodellekben bemenő adatként szerepelnek (Prince and Goward, 1995, Field et al., 1995). Az NDVI évi változása a légköri széndioxid koncentrációval is korrelál (Tucker et al., 1986).

A távérzékeléssel mért NDVI értékek számos, az agro-

meteorológiában fontos mennyiség becslésére alkalmasak. Az NDVI és (mind a tényleges, mind a potenciális) evapotranspiráció között magas a korreláció ( $r \sim 0,8$ ), a vegetációs időszakban összegzett NDVI és a tényleges evapotranspiráció pedig még szorosabban együtt fut ( $r \sim 0,95$ ). A tényleges evapotranspirációt az NDVI értékből és a potenciális evapotranspirációból 10–15 %-os hibával lehet becsülni (Cihlar et al., 1991).

A növényi együtthatók ( $K_c$ ) módszere széles körben használt az öntözés meghatározásához. Az irodalomban kultúránként fixen megadott együtthatók csak egy közelítő becslést adnak a növényi párolgásra, az valójában függ az adott területtől, a művelési módtól, és az egyes évről is. Az ezekkel az együtthatókkal való számítás ezért jelentős eltérést produkálhat a tényleges párolgáshoz képest. (Hunsaker et al., 2005). A precíziós mezőgazdaságban a növények párolgási együtthatóinak gyors, pontos és naprakész ismerete nélkülözhetetlen a hatékony vízfelhasználás szempontjából. Mivel a növényi együtthatók és a műholdas vegetációs indexek görbéi hasonló lefutást mutatnak a vegetációs időszak során, ez lehetőséget ad arra, hogy előbbi az utóbbiból becsüljük. A lineáris összefüggéssel számított együtthatók különböző növények, valamint öntözött és nem öntözött területek esetén is jó korrelációt mutatnak ( $r=0,9$ ) a mért értékekkel (Kamble, et al., 2013). Zhang et al. (2019) a növényi együtthatót az NDVI értékből számított növényborítottságból becsülték, ami a terepi mérésekkel igen jól korrelál ( $r=0,93$ ).

A növényzet fenológiai fázisainak meghatározására a felszíni megfigyelések, empirikus vagy bioklimatikus modellek, illetve távérzékeléses mérések adnak lehetőséget (Soudani et al., 2012). A küszöbértékek alkalmas megválasztásával az NDVI időSOR alkalmas a vegetációs időszak hosszának és a növényzet maximális fejlettségének a meghatározására is (Evans et al., 2014).

A vegetáció fontos szerepet tölt be az időjárási, éghajlati és hidrológiai modellezésben is. A távérzékeléssel mért felszíni reflektanciák segítségével meghatározható a LAI (levélfelületi index) és a Fg (zöld növényborítottság in-

dex), mely paraméterek a növényzet vertikális és horizontális sűrűségét reprezentálják a modellekben (*Gutman and Ignatov, 1997*). Mindkét indexet általában műholdakkal mért NDVI értékekből származtatják, a LAI-t egyszerű empirikus összefüggésekkel (*Qi et al., 2000; Price and Bausch, 1995, Price, 1993*), a Fg-t pedig a csupasz talaj és a sűrű növényzet NDVI értékének lineáris vagy négyzetes kombinációjaként. A csupasz talaj NDVI értékét általában igen alacsonynak ( $\sim 0,05$ ) szokták választani, holott annak értéke közelebb áll a 0,2-es értékhez, ráadásul a különböző típusú és állapotú talajok NDVI értéke meglehetősen nagy különbségeket mutat (szórás: 0,1). A csupasz talaj NDVI értékének jelentős alulbecslése a Fg paraméter jelentős felülbecsléséhez vezet, különösen füves és cserjés területeken (*Mondaton et al., 2008*).

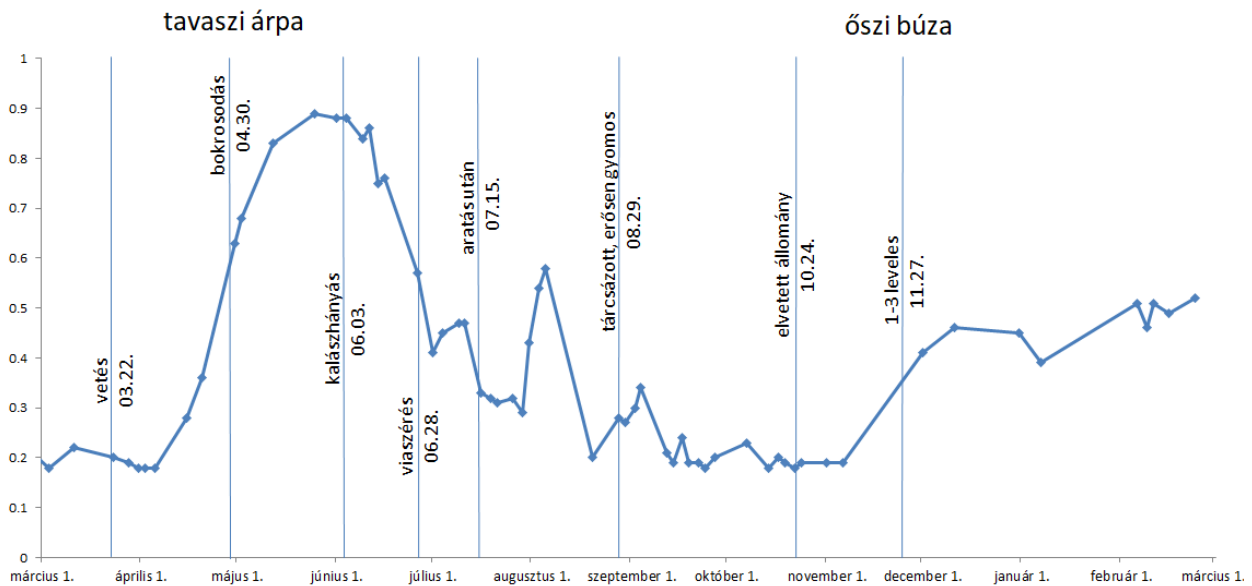
**Vizsgálati módszer.** Vizsgálatunk célja a Sentinel-2 műhold méréseiből származtatott nagy felbontású, táblaszintű NDVI műholdas vegetációs index értékeinek összevetése az általunk megfigyelt, művelés alatt álló mezőgazdasági táblákon. Célunk, hogy terepi megfigyeléseink révén minél többet megtudjunk az NDVI tábla szintű, gyakorlati felhasználhatóságáról. Ennek érdekében 2019. február végétől november végéig körülbelül havi rendszerességgel, kilenc alkalommal végeztünk megfigyeléseket Miskolc közelében. Helyszíneinket véletlenszerűen választottuk ki, három egymáshoz közeli területen összesen 28 mezőgazdasági táblát vizsgáltunk.

Az általunk megfigyelt mezőgazdasági táblákon őszi búzát, őszi árpát, őszi káposztarepcét, tavaszi árpát, kukoricát, napraforgót, valamint lucernát termesztettek, így ezen növények fejlődését vizsgáltuk az NDVI értékek változásának tükrében. A vizsgált mezőgazdasági táblák, egymáshoz viszonylag közel, egy 3,5 km sugarú körön belül helyezkednek el, és a miskolci meteorológiai mérőállomástól a legtávolabbi sincs messzebb, mint 14 km. Ez azért fontos, mert a növényekre ható időjárási körülményeket azonosnak tekinthetjük a különböző táblákon, és a Miskolcon mért meteorológiai adatok reprezentatívnak tekinthetők a területen. Ugyanakkor azt nem tudjuk, hogy azonos fajtaikat vetettek-e az egyes növényekből, és ebből adódnak-e esetleges eltérések a különböző állományok fejlődésében.

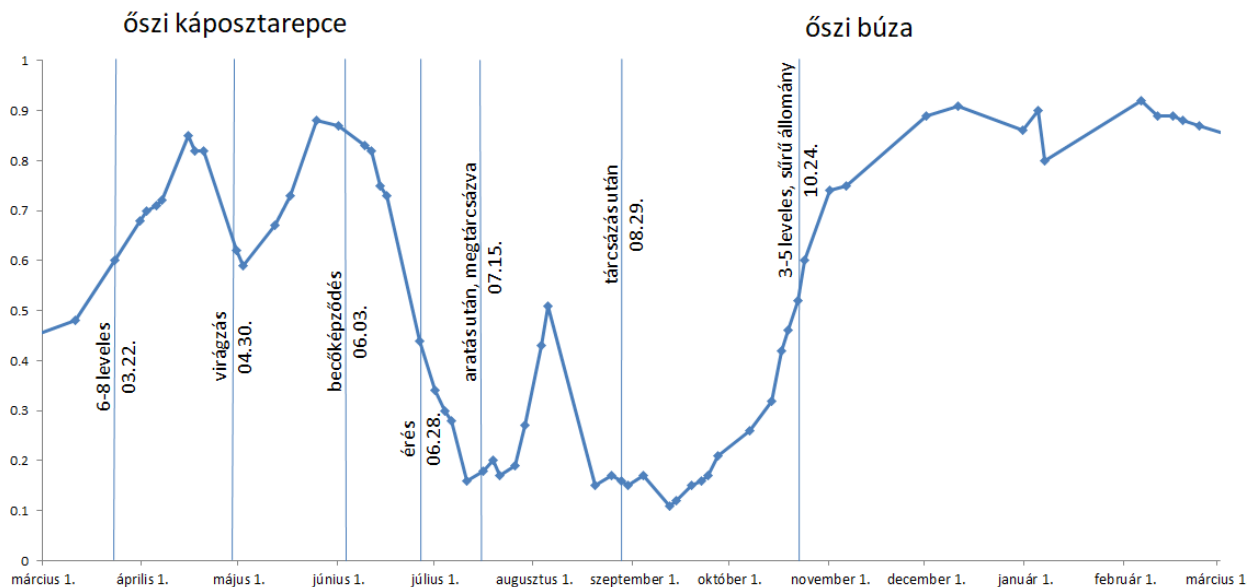
A vegetációs index vizsgálatához a Sentinel-2 műhold L-2A produktumait használtuk. Az L-1C produktum a légkör „tetejéről” érkező sugárzásból számol, míg az L-2A légköri korrekciót tartalmaz. (Az NDVI nem egy abszolút szám, azonos időben, azonos helyről más értékek adódnak a műhold L-1C, illetve L-2A méréseiből. Az utóbbi jóval magasabb értéket ad, mint az előbbi.) Csak azok a műholdképek tekinthetők használhatónak, amikor egyáltalán nem volt felhő vagy felhőárnyék a vizsgált táblarész fölött a felvétel pillanatában. Érdekes megfigyeznünk, hogy a nagyon vékony, áttetsző cirrus felhők gyér növényborítottság esetén növelik, dúsabb növényzet esetén viszont csökkentik az NDVI értékét a tiszta égbolthoz képest. A mezőgazdasági táblákat jellemző NDVI értékek mindig azonos pontból származnak. Ez azért fontos, mert a 10 méteres felbontás lehetővé teszi, hogy a viszonylag kisméretű mezőgazdasági táblák inhomogenitásai is jól érzékelhetőek, egymástól különböző

NDVI értékek mérhetőek a táblák különböző helyein. Egy mezőgazdasági tábla NDVI időszora alapján elkülöníthetők a főbb termesztett szántóföldi kultúráink, de a növényzet állapotáról, fenológiai fázisáról is fontos következtetéseket vonhatunk le.

**Az NDVI index alakulása két mezőgazdasági táblán egy év során.** Az egyik, Miskolctól keletre, a Sajó és a Csorba-tó közötti területen található, általunk vizsgált táblán tavaszi árpa volt a termesztett kultúra (*1. ábra*). 2019. február 27-én még szántás volt a területen kukorica szármaradványokkal, majd március 22-én éppen vetettek, április 30-án pedig már 10–15 cm magas, a bokrosodás fenológiai fázisában járó tavaszi árpát figyelhettünk meg. Az NDVI értékeken jól látszik, hogy április elején kelt ki a növény, ekkor kezdett intenzíven növekedni az index értéke. Bő egy hónappal később, június 3-án 50–70 cm magasra nőtt már az árpa. A kalászhányás fázisában egyenetlen fejlődésének találtuk az állományt, a csapadékos május után belvízfoltot is láttunk a táblában. Ekkor az NDVI értéke a maximuma körül járt, június első dekádja után már folyamatosan csökkent, ami az érés kezdetét mutatja. Június 28-án az érés vége felé járt már a növény, a viaszérés fenofázisában. Ekkor az árpa mellett gyom is megjelent az állományban a sok eső hatására, amit az NDVI értékének kismértékű növekedése is jelez. Július 10. és 15. között megtörtént az aratás, amit a vegetációs index lecsökkenése mutat. Július végén intenzív növekedésnek indult az NDVI értéke, amit a tarlóhántás utáni gyomosodás okozott a csapadékos időben. Augusztus 5. és 20. között a felhőzet miatt sajnos nem készült értékelhető műholdkép, valamikor ebben az időszakban megtárcsázták a táblát, valószínűleg nem sokkal 20-a előtt, mert akkor alacsony volt a vegetációs index értéke. Augusztus 29-re ismét begyomosodott a tábla, melyet szeptember 4-e után újabb tárcsázás követett. Október közepén őszi búzát vetettek, mely megfigyelésünk szerint 24-én még nem kelt ki. November 6-a után a tartósan felhős idő miatt nem készült értékelhető műholdképek, valamikor ez után kelt ki a növény, és november 27-i terepbejárásunk során már 1–3 leveles állapotú őszi búzát találtunk a táblában, és a december 1-én készült műholdkép NDVI mérése is megnövekedett értéket mutatott. Egészen december közepéig növekedett a zöld tömeg értéke, fejlődött a vetés az enyhe időben. Egy másik mezőgazdasági táblán, Onga és Arnót települések között 2018 őszi repcét vetettek (*2. ábra*). Első megfigyelésünk (2019. február 27.) alkalmával tipikus tél végi állapotban volt az állomány, sok megsárgult levéllel a növény tövével. Ennek megfelelően az NDVI értéke is ekkor érte el a minimumát a tél során. Március elejétől fokozatosan zöldült az állomány, és így az index értéke is folyamatosan növekedett egészen április közepéig. Április 22-én már teljes virágzásban találtuk a táblát, ekkor átmenetileg az index értéke is lecsökkent, május elején érte el lokális minimumát. Az elvirágzással ismét nőni kezdett az NDVI érték, ami május utolsó dekádjában volt a legmagasabb a tenyészidőszak során. Június elején elkezdődött a növény száradása, és június 28-i ottjártunkkor a becők már megsárgultak, a szár töve viszont még zöld volt. Július 10-e körül történt a betakarítás, 15-én



1. ábra: Az NDVI értékek alakulása 2019. március 1. és 2020. március 1. között a Csorba-tó 2-es táblán



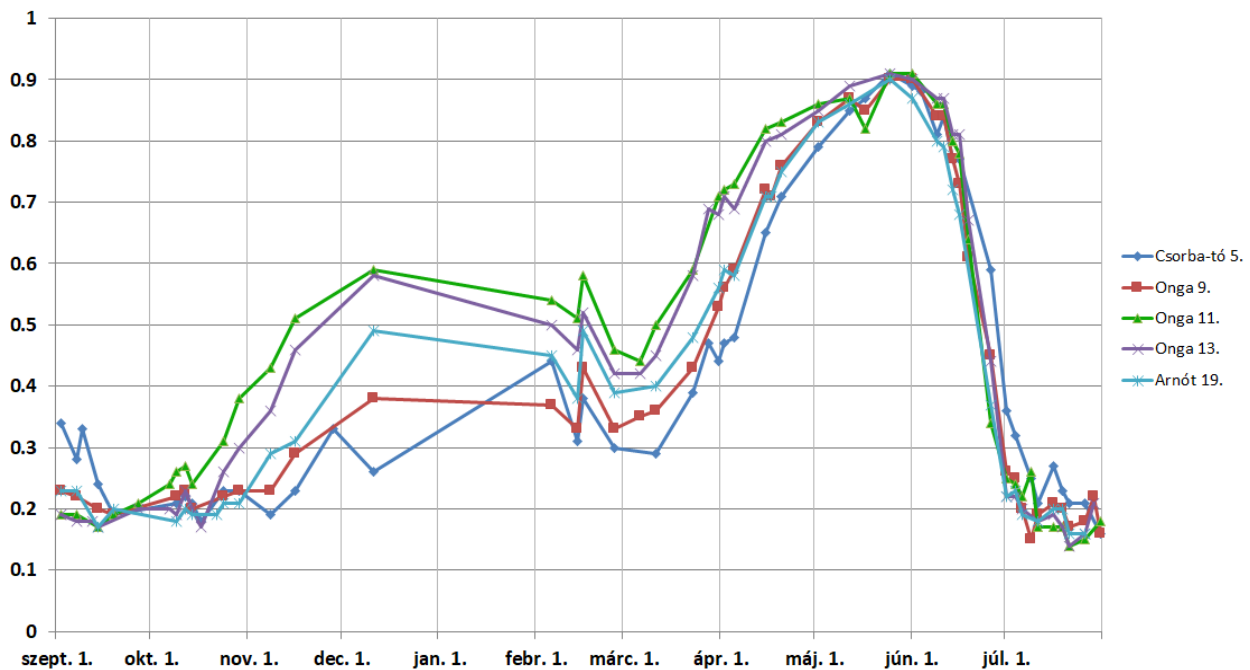
2. ábra: Az NDVI értékek alakulása 2019. március 1. és 2020. március 1. között az Onga 14-es táblán őszi káposztarepccével, majd őszi búzával

már learatott, megtárcsázott táblát találtunk. Az NDVI érték július vége felé ismét intenzíven nőni kezdett, ami az árvakelések megjelenésére utal, majd augusztus 5. és 20. között újra tárcsáztak, mert 20-ára lecsökkent az index értéke. Augusztus 29-én enyhén szármaradványos szántásról készítettünk felvételeket. Szeptember második felében történt az őszi vetés, a zöld tömeg a hónap végétől ismét intenzíven emelkedni kezdett. Október 24-én már 3–5 leveles fenológiai fázisban levő, sűrű, jó állapotú őszi búzavetés volt a területen. Az enyhe időben egészen december közepéig növekedett az NDVI értéke, ami ekkorra igen magas, 0,9-es értéket ért el, és az átlagosnál jóval enyhébb tél folyamán sem sokat veszített zöld tömegből az állomány.

#### Azonos szántóföldi kultúrák összehasonlítása a 2018–2019-es tenyészidőszakban

**Őszi búza.** Öt őszi búzával vetett táblát vizsgáltunk a vegetációs időszakban (3. ábra). Az NDVI értékekkel

együtt érdemes az adott tenyészidőszak miskolci, őszi búzára vonatkozó *agrogram*\*-ját is megnézni (4. ábra), mert így könnyen áttekinthető, hogy milyen időjárás hatott a növény fejlődésére, illetve a zöld tömegének alakulására. Az *agrogram*ról leolvasható, hogy 2018 őszen meglehetősen száraz időjárás uralkodott Miskolc térségében is. Október elején ugyan volt egy jelentősebb eső, amikor az összegzett csapadékmennyiség átmenetileg megközelítette a búza számára optimális értéket, de az ősz második felében, egészen november utolsó napjaiig jelentősen elmaradt attól, és novemberben már a talaj felső 20 cm-es rétegének nedvességtartalma is a növények számára hasznosítható mennyiség 40%-a alá csökkent, ami már kritikusan száraznak számít (Dunay és Kalmár, 1993, Varga et al., 2008). November végén ugyan csapadékosra fordult az idő, de december elején a lehülés is megérkezett, ezért számottevően nem fejlődhettek már az állományok. A vetés és a kelés pontos időpontját egyik tábla esetén sem ismerjük, de az NDVI alakulását ábrázoló



3. ábra: 5 különböző Miskolc környéki őszi búza-tábla NDVI értékei a 2018–19-es tenyészidőszak során

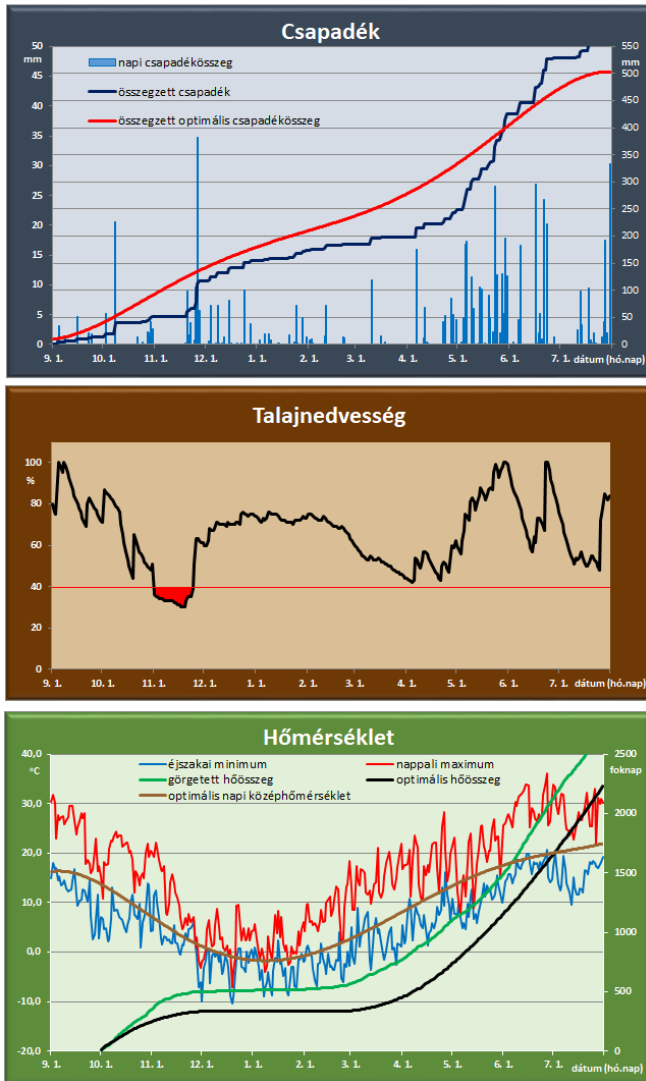
grafikonon jól látszik, hogy október második felétől – amikor a kelést körülbelül tehetjük – meglehetősen nagy különbségek alakultak ki a különböző táblák zöld tömeg értékeiben a vetés időpontjának, a kelés sűrűségének és egyöntetűségének függvényében. A korábban vett állományok jellemzően jobban meg tudtak erősödni a tél beállta előtt. Február 27-én, amikor először jártunk a területen 1–3 leveles fázisban járó őszi kalászos táblákról készítettünk fényképeket. Az agrogram szerint bár december elejére a talaj nedvességtartalma jelentősen javult, de a téli hónapok sem hoztak nagy mennyiségű csapadékot, az összegzett csapadék a tél végén is az optimális alatt alakult. Ezzel szemben a görgetett hőösszeg meghaladta az ideális értéket. Az általunk megfigyelt búzatáblák NDVI értékeiben mutatkozó különbségek még február végén is a kelés körüli eltéréseket tükrözték. A zöld tömeg jelentős növekedése, vagyis a növény fejlődése március elején indult meg. Április utolsó dekádjáig nem esett jelentősebb eső, és a száraz időben, bár minden állomány fejlődött, de a kezdeti eltérések az NDVI értékekben továbbra is megmaradtak. Április végén, május elején csapadékosra, bár ezzel együtt hűvösre is fordult az idő, és ettől kezdve az összes állomány zöld tömeg értéke közel azonossá vált. A maximumát, 0,9 körüli értéket május utolsó hetében, illetve június legelején érte el. Június 3-i ottjártunkkor minden táblán 80–90 cm magas, virágzásban lévő, szép, egyenletes állományt fényképeztünk. Június elején elkezdődött az érés folyamata, az NDVI értéke júniusban napról napra jelentősen csökkent. Az érés fenológiai fázisában a vegetációs index értéke nagyon jól mutatja a folyamat előrehaladottságát. Június 28-án a Csorba-tónál elhelyezkedő táblán még zöld részek is megfigyelhetők az állományban, és ennek megfelelően magas, 0,59 az NDVI értéke, ugyanakkor Onga mellett, a 11-es táblán már nem voltak zöld részek, az állomány a viaszérés fenológiai fázisában járt, és az NDVI értéke is csak 0,34 volt. A teljes éréskor az NDVI értéke már a csupasz talajával egyezik meg, vagyis 0,2 körüli.

Az aratásra váró és a már learatott táblák vegetációs indexe július 15-i ottjártunkkor nem mutatott számottevő különbséget. Aratás után a zöld tömeg értékének újbóli növekedése már a gyomok megjelenését jelzi.

**Kukorica.** A vizsgált hat kukoricatáblát (5. ábra) a miskolci, kukoricára vonatkozó *agrogram*\*-mal együtt tekintjük át (6. ábra). Az agrogramról leolvasható, hogy a vetést megelőző időszakban szárazság volt a területen. Április elején a talaj felső 20 cm-ének nedvességtartalma a növények számára hasznosítható vízkészlet 40%-át sem érte el, ami kritikusan száraznak számít. Április utolsó dekádjában többször is esett, de a vetés óta kumulált csapadékösszeg csak május elején érte el a kukorica optimális fejlődéséhez szükséges értékeket. Április 30-án mind a hat táblán 1–3 leveles állapotú frissen kelt növényeket találtunk, elég egységes, 0,2–0,26 közötti NDVI értékekkel. A május bőséges csapadékot hozott, ugyanakkor hűvös időt is, ekkor a növény fejlődésének fő korlátozó tényezője az alacsony hőmérséklet volt. A kukorica számára az optimálisnál hidegebb időjárás azonban nem vetette vissza a gyomok fejlődését. Májusban a korábban hasonló NDVI értékeket mutató táblák zöld tömegében jelentős különbségek keletkeztek. Az Arnót környéki 17-es tábla NDVI értéke is jelentősen megnőtt májusban, ami a gyomok elszaporodására utal, majd a területen sikeresen megfékeztek a nem kívánatos növényzet elterjedését. A Csorba-tó közelében lévő 6/1-es táblán azonban június 3-án a többinél fejletlenebb, de gázos állományt találtunk. A vegetációs index értékeinek tanúsága szerint még június első hetében ezen a táblán is elvégezték a gyomirtást, mert a hónap közepétől már hasonló értékeket mutatott, mint a többi kukorica állomány. A kukoricával vetett mezőgazdasági táblák a tenyészidőszak során a maximális NDVI értékeiket – ami 0,78 és 0,92 között volt attól függően, hogy mennyire sűrűn kelt a növény – június utolsó hetében érték el. A címerhányás időszakában kis visszaesés következett be az értékekben, de a július má-

## Agrogram - őszi vetések

Miskolc - 2018-2019.



4. ábra: Őszi búzára vonatkozó agram Miskolc térségére a 2018–19-es tenyészidőszakra

sodik felét jellemző csökkenés az átmeneti csapadékhiánynak tudható be. A hónap végi esők hatására július–augusztus fordulóján megfigyelhető egy másodlagos maximum a vegetációs index értékeiben. Augusztus elejétől a legtöbb táblán lassú száradásnak indult a kukorica. A száradás ütemétől függően augusztusban ismét nagyobb eltérések alakultak ki az egyes állományok NDVI értékeiben. Az augusztus végi megfigyeléseink szerint minden táblán a viaszérés fenológiai fázisában járt a kukorica, de különböző mértékben száradtak el az egyes állományok. A Csorba-tó 6/1-es táblán még a kezdetén járt a száradási folyamat, az NDVI értéke is 0,72 volt ebben az időszakban, de például az Onga 16/1-es és 16/2-es táblákon már 2/3 részben száraz volt az állomány és ennek megfelelően az NDVI értékük is csak 0,49 és 0,42 volt. Az érési folyamat végére, szeptember második felére jellemzően 0,3 körüli értékekre csökkent le a vegetációs index értéke. Október 24-re a hat táblából négy helyen már le volt aratva a kukorica, kettőn még nem. Az NDVI értékeikben ettől függetlenül már nem volt számottevő különbség, legfeljebb annak kapcsán, hogy két táblán már megjelent a gyomosodás.

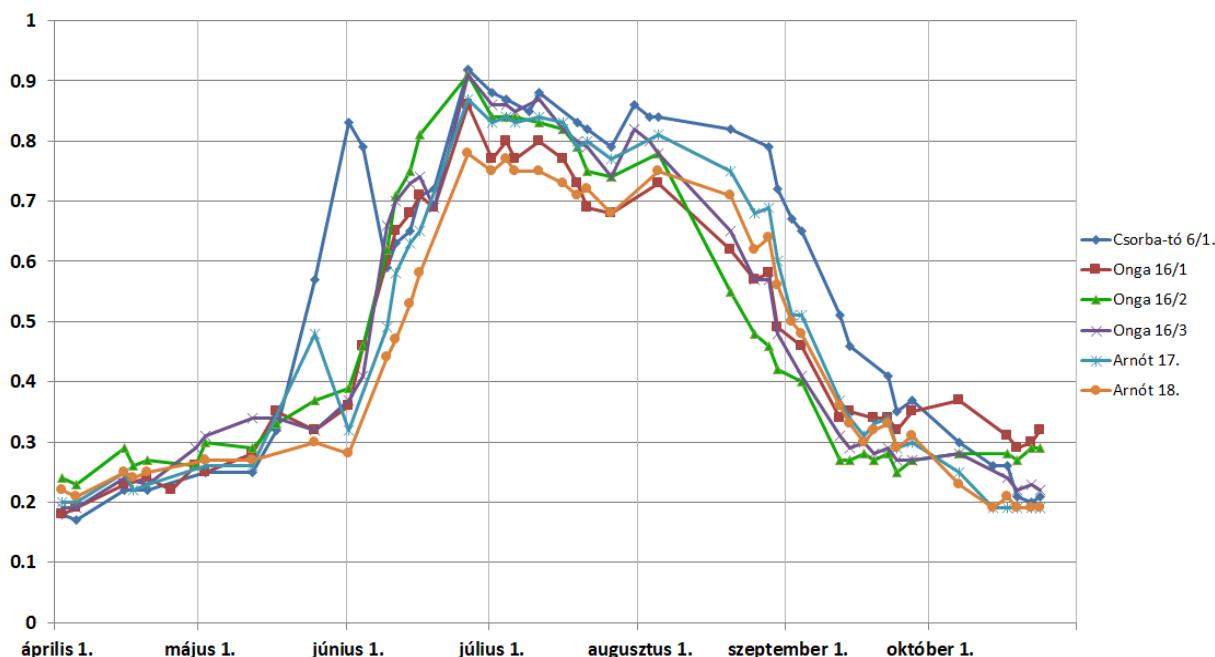
A kukoricával vetett mezőgazdasági táblák megfigyelése és NDVI értékeik összevetése kapcsán azt állapítottuk meg, hogy a vegetációs index értéke függ az állomány sűrűségétől, ritkábban kelt állományok esetén a tenyészidőszak fejlődési szakaszában mindvégig alacsonyabb marad az érték. Az érés kezdetétől, mikor már veszít zöld tömegéből a növény, ez a különbség eltűnik. Nem függ azonban a vegetációs index értéke az állomány magasságától: sem a különböző táblák összevetésében, de egy állományon belül sem akkor érte el a vegetációs index a maximumát, amikor a legmagasabb volt a növény.

Az NDVI értékének vizsgálata során mindig számolni kell azzal, hogy az adott területen nem feltétlenül csak a vetett növény van jelen, a nemkívánatos gyomok megjelenése megtévesztő lehet. A növény adott fenológiai fázisában nagyon különböző NDVI értékekkel rendelkezhet különösen a növekedés időszakában, amikor az index értéke erősen függ a kelés sűrűségétől.

**Repce.** Repcét 2018-ban az általunk megfigyelt mezőgazdasági táblák közül 6 helyen vetettek (7. ábra). Amíg az állomány kicsi, addig az NDVI értékek közti különbségeket a vetésből, illetve a kelésből adódó különbségek adják. A 12-es táblát nagy sortávval vetették, a 14-es tábla esetén pedig hiányos a kelés, ez magyarázza a zöld tömeg mennyiségének elmaradását a többi állományhoz képest a tenyészidőszak első felében. A kelés ideje az NDVI tanúsága szerint szeptember első felére esett, leg hamarabb az Onga 14-es táblán kelt ki a növény. Miskolc térségében 2018 őszen elég száraz, de meleg időjárás volt jellemző. A még kimondottan jó talajnedvességi viszonyok közt elvetett repce a kelés után nem sokkal elég magas NDVI értékeket ért el a legtöbb táblán. Ebben ugyan volt egy kis megtorpanás, de egy október eleji nagyobb mennyiségű eső sokat segített az állományok fejlődésén. November elejétől a hónap utolsó hetéig a talaj felső rétege ugyan már kritikus mértékben kiszáradt, ekkorra azonban a legtöbb táblán már elég magas 0,75 és 0,9 közötti értékeket vett fel az index értéke, vagyis az állományok igen fejlett állapotba kerültek.

November végén ugyan megérkezett a nedvesség-utánpótlás a talajba, de ezzel csaknem egyidőben hidegebbre is fordult az idő, így ekkortól március elejéig fokozatosan veszítettek zöld tömegükből az állományok, legnagyobb mértékben februárban, a lokális minimumot (0,4–0,65) február március fordulóján érték el. Az átlagosnál ugyan kissé szárazabb, de melegebb tél során valamelyest feltöltődött nedvességgel a talaj, és március elejétől április közepéig folyamatos növekedés volt megfigyelhető valamennyi állomány zöld tömeg mennyiségében. Az NDVI értékek alapján jól látszik, hogy április második felében kezdett el virágozni a repce, ekkor a hónap közepi 0,8–0,9 közötti értékekről 0,5–0,65 közé csökkent az index. A virágzás után, május utolsó dekadjára valamennyi általunk megfigyelt repce állomány elérte zöld tömegének érés előtti maximumát, 0,85 és 0,9 közötti értéket. Ekkorra eltűntek a táblák közötti korábbi különbségek, virágzás után a nagy sortávval vetett növény zöld tömege, illetve az egyenetlenül kelt, majd fejlődött állomány zöld tömege ugyanolyan magasnak adódott, mint a többi állományé.

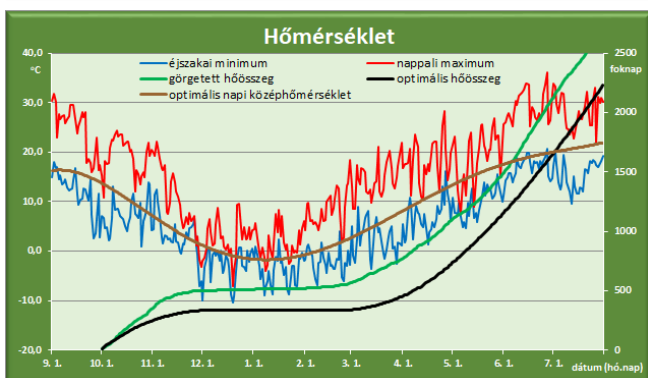
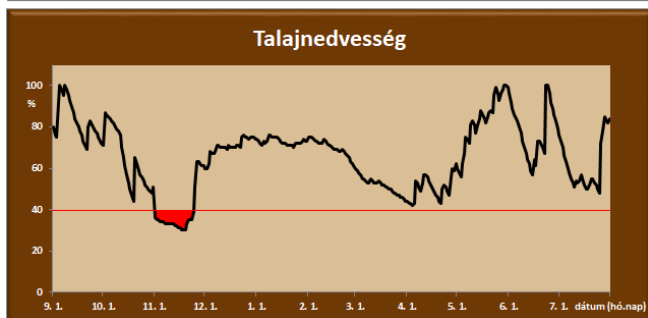
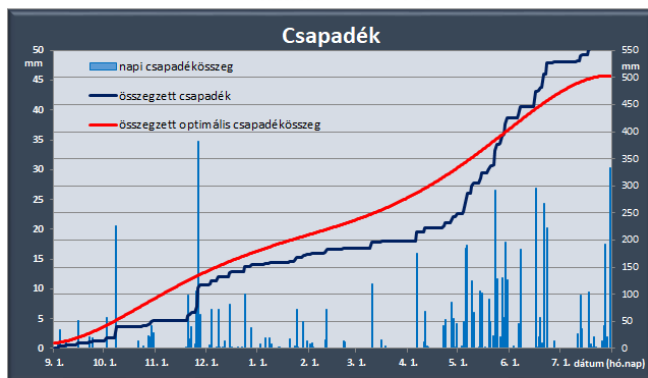
Ennek oka abban keresendő, hogy a 2-nél kisebb nö-



5. ábra: 6 különböző Miskolc környéki kukoricatábla NDVI értékei a 2019-es tenyészidőszak során

## Agrogram - őszi vetések

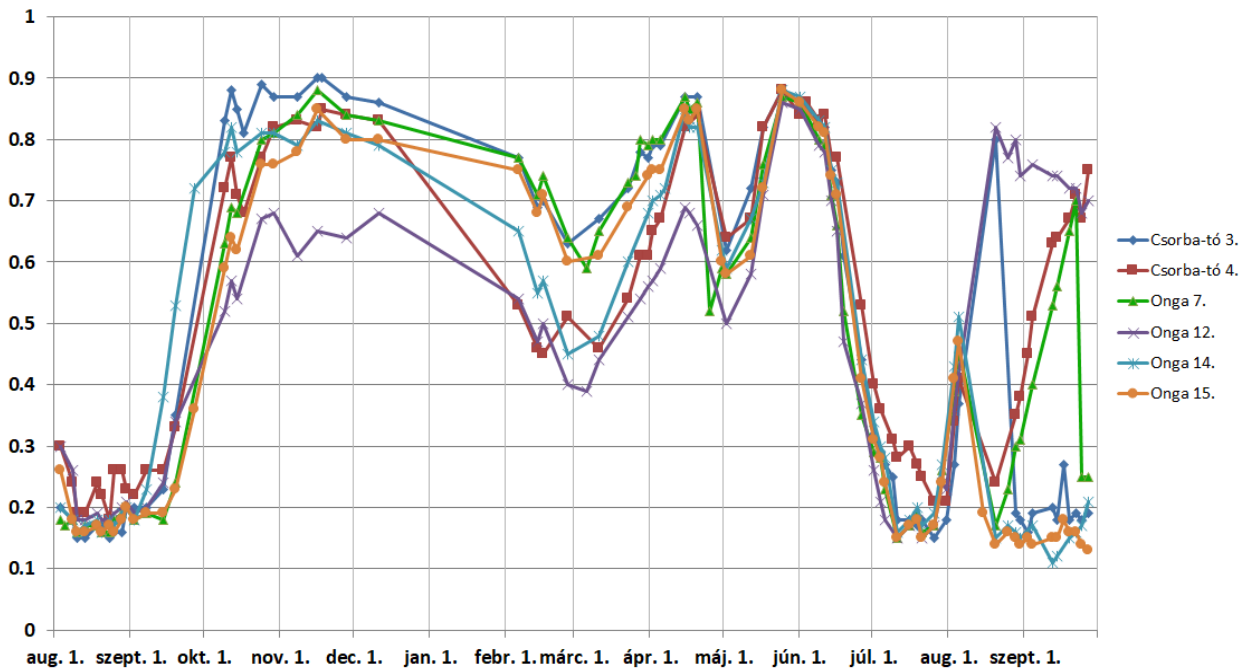
Miskolc - 2018-2019.



6. ábra: Őszi búzára vonatkozó agrogram Miskolc térségére a 2018–19-es tenyészidőszakra

vényfelületi indexű (LAI) növényállományokban az NDVI index érzékeny indikátora a zöld növényborítottságnak, a növényi struktúrának és a kémiai összetételnek (zöld biomassza, zöld levélfelületi index, klorofill tartalom, levél nitrogén tartalom), ennél sűrűbb növényzetnél azonban már nem. Június elején elkezdődött az érés folyamata, a hónap végére egyes állományok már egyáltalán nem rendelkeztek zöld levéllel, a becők nagy része ekkorra már elszáradt. Július 15-re a legtöbb helyen learatták a repcét, az NDVI értéke ekkor kevéssel 0,2 alatt alakult. A Csorba-tó 4-es elnevezésű táblán azonban még nem történt meg az aratás, bár az állomány már teljesen érett volt, itt a vegetációs index értéke 0,3-nek adódott. A learatott, megtárcsázott táblákon már augusztus elején 0,4 fölé emelkedett az NDVI értéke, ami az árvakelések, illetve a gyomok megjelenésére utal. Augusztus és szeptember folyamán a megfigyelt táblák vegetációs index értékei már nagyon különbözően alakultak a gyomok mennyiségének, illetve az utolsó tárcsázás időpontjától eltelt időnek a függvényében.

**\*Agrogram.** Az őszi vetésű kalászosok számára ideális, illetve a tényleges időjárási paraméterek (csapadék, talajnedvesség, hőmérséklet) összevetése látható az agrogramnak elnevezett ábrán. A legfelső, a csapadékot ábrázoló grafikonon megjelenik a napi csapadék (bal oldali tengelyen), az időszak során összegzett és a növény számára optimális összegzett csapadék (jobb oldali tengelyen). Így jól látszik a két utóbbi érték közötti eltérés, ami a csapadékhiányt vagy -többletet mutatja. A talajnedvesség ábrán a növények számára felvehető hasznos vízkészlet százalékában vannak megadva az értékek. Szeptember és október hónapokban a talaj felső 20 cm-es rétegét, a későbbiekben a felső 50 cm-es rétegét ábrázoljuk. A már kritikusnak tekinthető 40%-os érték alatti időszakot pirossal emeljük ki. A hőmérséklet ábrán a napi hőmérsékleti szélsőértékek mellett a növény számára optimális napi középhőmérsékletet (bal oldali tengelyen), valamint a görgetett hőösszeget (2



7. ábra: 6 különböző Miskolc környéki őszi káposztarepce tábla NDVI értékei a 2018–19-es tenyészidőszak során

Celsius fokos bázissal) és ennek optimális értékeit mutatjuk be (jobb oldali tengelyen). A kukoricára vonatkozó agrogram az erre a növényre jellemző optimális értékekhez viszonyítja a ténylegesen mért környezeti adatokat a növény vegetációs időszakában. A talajnedvesség május 15-ig a felső 20 cm-es, majd ez után a felső 50 cm-es réteg nedvességét mutatja. A hőösszeget 10 Celsius fokos bázishőmérséklettel számítjuk.

**Összegzés.** Vizsgálataink során együttesen figyeltük meg adott mezőgazdasági táblákon a különböző növényi állományok fejlődését és az NDVI vegetációs index alakulását. Ennek során vizsgáltuk, hogy az egyes szántóföldi növényi kultúrák, mint például az őszi búza, őszi káposztarepce, tavaszi árpa vagy kukorica a fejlődésének különböző fenológiai fázisaiban jellemzően milyen NDVI értékeket mutat, illetve a tenyészidőszak során mikor és milyen értékeken veszi fel az index a maximumát, mikor és milyen értékek melletti lokális maximumok, illetve minimumok jellemzik. Ennek alapján lehet az NDVI értékekből az állomány vízellátottságára, egészségére vonatkozó következtetéseket levonni, az optimális NDVI értékektől való eltérések okát keresni. Egy-egy mezőgazdasági táblát vizsgálva az NDVI index értéke jól tükrözi a növény fenológiai fázisát, az adott fázis, például a virágzás vagy az érés előrehaladottságát. Túl magas érték jelezheti a gyomok megjelenését akár a kultúrnövény állományában, akár aratás után a már megtárcsázott vagy szántott területen. Az NDVI vegetációs index táblaszintű megfigyelése során arra jutottunk, hogy a ritkábban kelt állományok esetén a tenyészidőszak során mindvégig alacsonyabb marad az index értéke, mint a sűrűbben kelt állományoknál, tehát ezt figyelembe kell venni az index menetéből levont következtetéseknél. Nem függ azonban a vegetációs index értéke az állomány magasságától.

A rendelkezésre álló nagy felbontású adatokból már nemcsak az egyes táblák közötti különbségek, hanem a táblákon belüli inhomogenitások is jól megfigyelhetők.

## Irodalom

- Cihlar, J., St.-Laurent, L and, Dyer, J. A., 1991: Relation Between the Normalized Difference Vegetation Index and Ecological Variables. *Remote Sensing of Environment* 35, 279–298
- Dunay, S. és Kalmár, E., 1993: A talajvízszint szerepe a talajok vízháztartásában. *Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok*. 1, 43–84.
- Evans, S. G., Small, E. E. and Larson, K. M., 2014: Comparison of vegetation phenology in the western USA determined from reflected GPS microwave signals and NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 35:9, 2996–3017.
- Field, C. B., Randerson, J. T. and Maimstrom, C. M., 1995: Global net primary production- Combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51, 74–88
- Gutman, G. and Ignatov, A., 1997: Satellite-derived green vegetation fraction for the use in numerical weather prediction models. *Advanced Space Research*, 19, 477–480.
- Goward, S. N., Tucker, C. J. and Dye, D. G., 1985: North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer. *Vegetatio*, 64, 3–14.
- Goward, S. N. and Dye, D. G., 1987: Evaluating North American net primary productivity with satellite observations. *Advances in Space Research* 7, 165–174.
- Goward, S. N., Kerber, A., Dye, D. G. and Kalb, V., 1987: Comparison of North and South American biomes from AVHRR observations. *Geocarto* 2, 27–40.
- Hunsaker, D. J., Pinter, P. J. and Kimball, B. A., 2005: Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. *Irrigation Science* 24, 1–14.
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Holben, B. N. and Tucker, C. J., 1985: Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 6, 1271–1381.

- Kamble, B., Kilic, A. and Hubbard, K., 2013: Estimating Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index. *Remote Sensing* 5, 1588–1602.
- Montandon, L. M. and Small, E. E., 2008: The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment* 112, 1835–1845.
- Price, J. C., 1993: Estimating leaf area index from satellite data. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing* 31, 727–733.
- Price, J. C., and Bausch, W. C., 1995: Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote Sensing of Environment* 52, 55–65.
- Prince, S. D. and Goward, S. N., 1995: Global primary production: A remote sensing approach. *Journal of Biogeography* 22, 815–835.
- Qi, J., Kerr, Y. H., Moran, M. S., Weltz, M., Huete, A. R. and Sorooshian, S., 2000: Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF models in a semiarid region. *Remote Sensing of Environment* 73, 18–30.
- Soudani, K., Hmimina, G., Delpierre, N., Pontailleur, J.-Y., Aubinet, M., Bonal, D., Caquet, B., de Grandcourt, A., Burban B., Flechard, C., Guyon, D., Granier, A., Gross, P., Heinesh, B., Longdoz B., Loustau, D., Moureaux, C., Ourcival, J.-M., Rambal, S., Saint André, L. and Dufrene, E., 2012: Ground-based network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes. *Remote Sensing of Environment* 123, 234–245.
- Tucker, C. J., Townshend, J. R. G. and Goff, T. E., 1985: African land-cover classification using satellite data. *Science* 227, 369–375.
- Tucker, C. J., Fung, I. Y., Keeling, C. D. and Gammon, R. H., 1986: Relationship between CO<sub>2</sub> variation and a satellite-derived vegetation index. *Nature* 319, 195–199.
- Varga-Haszonits, Z., Varga, Z., Lantos, Zs., Enzsölné, G. E. és Milics, G., 2008: A talajok vízellátottságának hatása a gazdasági növények vízigényének alakulására. *Agrokémia és talajtan* 57, 7–18.
- Zhang, Y., Han, W., Niu, X. and Li, G., 2019: Maize Crop Coefficient Estimated from UAV-Measured Multispectral Vegetation Indices. *Sensors* 19, 5250.

## KISLEXIKON

### POCKET ENCYCLOPAEDIA

#### Sarkadi Noémi

Pécsi Tudományegyetem, TTK, FFI, [sarkadin@gamma.ttk.pte.hu](mailto:sarkadin@gamma.ttk.pte.hu)

**Aeronautika** <gör.+lat.> a légi járművek tervezésével, működésével és mozgásával foglalkozó tudományág. (*Baranka Györgyi: Történelmi Arcképek*)

**Agrogram** <lat.+gör.> mezőgazdasági kultúrák számára az ideális, illetve a tényleges időjárási paramétereket (csapadék, talajnedvesség, hőmérséklet) együttesen bemutató ábra. Felül a csapadékot ábrázoló grafikonon megjelenik a napi csapadék (bal oldali tengely), az időszak során összegzett és a növény számára optimális csapadékösszeg (jobb oldali tengely). A középső ábra a talajnedvesség alakulását mutatja. Az alsó ábrán a napi minimum és maximum hőmérséklet, az optimális napi középhőmérséklet (bal oldali tengely), a tényleges és az ideális hőmérsékletösszeg (jobb oldali tengely) van feltüntetve. (*Erdődiné Molnár Zsófia és Kovács Attila: SENTINEL-2 NDVI értékek táblaszintű vizsgálata különböző növénykultúrákban.*)

**Aviatika** <lat el.>, ~ *repüléstan*, a repülés elméletével, az ember alkotta repülő szerkezetekkel foglalkozó tudományág. (*Baranka Györgyi: Történelmi Arcképek*)

**Csőbőr modell**, *bucket model*, a talaj és növényzet vízforgalmát leíró egyszerű modell. A modellben egy 1 m mély és 1 m<sup>2</sup> alapterületű talajtömböt tekintünk, amelyben a növényzet számára felvehető vízmennyiség 100 mm. A csőbőr vízháztartását a csapadék és a párolgás viszonya határozza meg, azzal a feltétellel, hogy nincs benne oldalirányú mozgás, és vízvesztés nem érheti lefelé irányuló vízárammal. A csőbőr aljába az alsóbb rétegekből viszont áramolhat nedvesség. (*Szalai Viktor, Weidinger Tamás és Dezső József: Párolgásbecslések hazai spárga- és szőlőültetvényeken*)

**Éjszakai világító felhők**, *noctilucent clouds, NLC*, 80–90 km-es magasságban kialakuló felhők, kozmikus eredetű porszemcsékre, vagy mikrometeoritokra fagyott vízpára. A felhőről visszaverődő napfény az igen apró jégkristályokon történő szóródás és az ózonréteg hullámhossz függő fényelnyelése miatt általában kékes árnyalatú. Elsősorban napnyugta után/napkelte előtt kb. 1 órával, és inkább az 50°–65° szélességi körök között lehet megfigyelni őket. (*Évszakos Fotógaléria*)

**Ködív**, *fog bow, cloud bow*, látványos elhajlási jelenség, amelynek feltétele kisméretű (10–100 µm), egyenletes méretű és eloszlású vízcseppek jelenléte. A fényforrással átellenes oldalon, a ködöt alkotó apró vízcseppek felületén a fény elhajlást szenved. A jelenség a fény hullámhosszának függvénye, a szivárvánnyal rokon látványos jelenség. (*Évszakos Fotógaléria*)

**Naposzlop**, *light pillar*, olyan oszlopszerű fényjelenség, ami nagyméretű, lap alakú kristályokról történő visszaverődés következtében alakul ki. A halójelenség kialakulási körülményeihez hasonló feltételek mellett fordul elő. Főként napkelte és napnyugta körül jelentkezik. Az oszlop hossza átlagosan 5–10°. (*Évszakos Fotógaléria*)

**NEOWISE üstökös** <röv., ang.>, *C/2020 F3 (NEOWISE)*, egy hosszú periódusú szabad szemes, közel parabolikus pályán keringő égitest. 2020. március 27-én fedezték fel a NASA NEOWISE (Near Earth Objects-Wide-field Infrared Survey Explorer) programja keretében. 2020. július 3-án 50 millió kilométerre volt napközben, 0,5 magnitúdó körüli fényességgel. 2020 egész júliusában látható volt, 23-án volt Föld közelben, 70 millió kilométernyi távolságban. (*Évszakos Fotógaléria*)

**Peremfelhő**, *arcus cloud*, a zivatarláncok (*squall line*) jellemző felhőfajtája. A zivatarfelhőhöz kapcsolódó kifutószél (*gust front*) emelkedésre kényszeríti az előtte levő meleg, nedves levegőt. A zivatarfelhő szerves része, attól nem különül el. (*Évszakos Fotógaléria*)