

Az Öreghegy időszakos vízmegtartását követő környezeti állapotok térinformatikai értékelése, 2024–2026

Magyar fordítás az eredeti angol nyelvű elemzés alapján. A szakmai tartalom, a számszerű eredmények és a szerző óvatos oksági megfogalmazásai változatlan értelemben kerültek átültetésre.

1. Áttekintés és vezetői összefoglaló

Ez az értékelés az Öreghegy Vízmegtartási Projekt területének környezeti állapotát vizsgálja 2024, 2025 és 2026 júniusában, különös tekintettel a táji léptékű vízmegtartás első, 2026-os üzemszerű időszakára.

Az értékelés három elsődleges környezeti indikátort egyesít:

- NDVI - a növényzet zöldességének és aktivitásának mutatója;
- NDMI - a növényzet és a felszíni nedvességi viszonyok mutatója;
- LST - felszínhőmérséklet.

Ezeket kiegészítő indikátorok egészítik ki, amelyek az evapotranszpirációt, a felszíni vízhez kapcsolódó spektrális választ, a radar-visszaszórást, a csapadékot és a talaj víztartalmát írják le.

Az elemzés a tágabb, 412,07 ha kiterjedésű értékelési területre és három kiemelt helyszínre terjed ki:

- Rózsa-lapos - 21,63 ha; 2026-ban megközelítőleg március és május között vízzel borított;
- Nagy Szék déli része - 3,83 ha; 2026-ban megközelítőleg áprilistól május közepéig vízzel borított;
- Mellék tó - 7,13 ha; 2026-ban nem kapott vízborítást, ezért vízzel nem borított összehasonlító területként szerepel.

A 2024-2025 közötti összehasonlítás jelentős környezeti változékonyságot mutat már az első üzemszerű vízmegtartási beavatkozás előtt is. A teljes értékelési területen az átlagos júniusi NDVI 0,403-ról 0,557-re, az NDMI -0,049-ről 0,067-re nőtt, miközben az átlagos LST 37,672 °C-ról 40,837 °C-ra emelkedett.

2025 és 2026 között a teljes értékelési terület ettől eltérő pályát mutatott: az átlagos NDVI 0,494-re, az NDMI -0,033-ra csökkent, az LST pedig 39,994 °C-ra mérséklődött.

A két vízzel borított kiemelt helyszín vegetációs pályája ettől eltért. Rózsa-lapos NDVI-értéke 0,474-ről 0,575-re, a Nagy Szék déli részén pedig 0,504-ről 0,583-ra emelkedett 2025 és 2026 között. A 2026-ban vízzel nem borított Mellék tó NDVI-értéke ezzel szemben 0,467-ről 0,327-re csökkent.

Az NDMI Rózsa-laposon szintén emelkedett, 2026-ban 0,011-et ért el; a Nagy Szék déli részén lényegében stabil maradt, 0,013 körüli értékkel. A Mellék tó esetében -0,179-re csökkent.

Az LST mindhárom kiemelt helyszínen csökkent 2025 és 2026 között, ahogyan a tágabb értékelési területen is. Ezért az LST változása hasznos termikus háttérinformációt ad, de önmagában nem értelmezhető a vízmegtartás hatásának bizonyítékeként.

Az ERA5-Land adatok további klimatikus és talajvíztartalmi háttérrel biztosítanak. A júniusi csapadék 2024-ben 78,10 mm, 2025-ben 2,93 mm, 2026-ban pedig 49,83 mm volt. A 0-7 cm-es talajréteg átlagos víztartalmi értékei rendre 0,182, 0,082 és 0,158; a 7-28 cm-es rétegben pedig 0,167, 0,123 és 0,156 voltak. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a három vizsgált év jelentősen eltérő háttér-nedvességi körülmények között zajlott.

Az eredmények együttesen azt mutatják, hogy a két vízzel borított helyszín 2026-os pályája eltért mind a tágabb táj, mind a vízzel nem borított összehasonlítható terület alakulásától, különösen a vegetációs és nedvességi indikátorok tekintetében. Ezek a mintázatok összhangban állnak azzal a lehetőséggel, hogy a megnövekedett vízellátottság hozzájárult a megfigyelt változások egy részéhez, ugyanakkor a hároméves megfigyeléses vizsgálati felépítés nem bizonyít oksági kapcsolatot a vízmegtartással.

2. Értékelési keretrendszer

2.1. Időbeli keret

Az értékelés 2024, 2025 és 2026 egymással összehasonlítható júniusi megfigyeléseit használja. A három év három eltérő időbeli helyzetet képvisel:

- 2024 - beavatkozás előtti referenciaév;
- 2025 - az üzemszerű vízmegtartást közvetlenül megelőző beavatkozás előtti év;
- 2026 - az első üzemszerű év.

Az első üzemszerű vízmegtartási beavatkozások 2026 februárjában kezdődtek. Az első szivornyát 2026. február 28-án telepítették, ezt követően a vízpótlás a meglévő infrastruktúrán keresztül történt.

A júniusi összehasonlítás így ugyanazon szezonális időszak környezeti állapotait vizsgálja, miközben már magában foglalja a 2026 tavaszi vízmegtartási időszakot követő első vegetációs szezon válaszát is.

Az elemzés nem kontrollált kísérletként készült. Ehelyett egységes, többéves megfigyeléses értékelést nyújt azonos térbeli keret, azonos szezonális időszak, azonos adatkészletek és azonos statisztikai eljárások alkalmazásával.

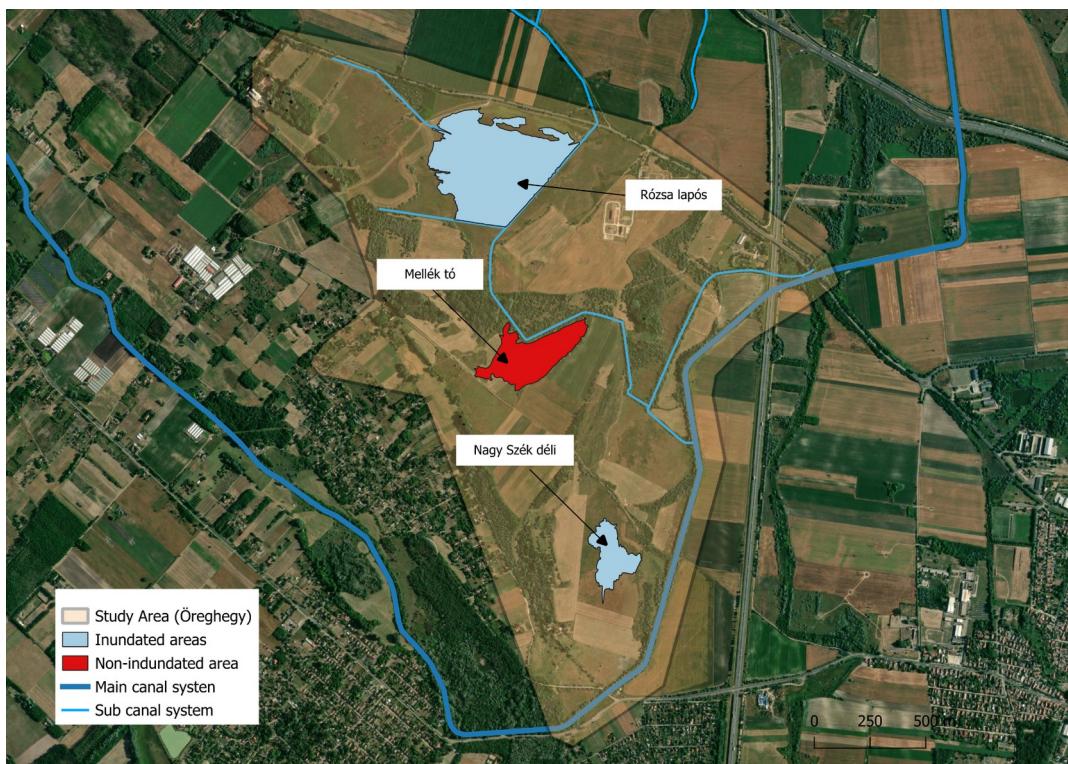
2.2. Térbeli keret

A tágabb értékelési terület 4 120 715 m² (412,07 ha) kiterjedésű, és megfelel a térinformatikai értékeléshez használt térbeli tartománynak.

Három kiemelt poligont külön elemeztünk.

Helyszín	Terület (m ²)	Terület (ha)	2026-os vízmegtartási státusz
Rózsa-lapos	216 276,0	21,63	Megközelítőleg március-május között vízzel borított
Nagy Szék déli része	38 343,2	3,83	Megközelítőleg áprilistól május közepéig vízzel borított
Mellék tó	71 294,0	7,13	Nem kapott vízborítást

A Mellék tó vízzel nem borított összehasonlítható területként szerepel, nem pedig formális kísérleti kontrollként. Jelentősége abban áll, hogy közeli, de 2026-ban eltérő vízmegtartási előzményű területet biztosít, amelyhez a vízzel borított helyszínek pályája viszonyítható.



1. ábra. A vizsgálati terület, a 412,07 ha kiterjedésű értékelési terület és a három kiemelt vizsgálati helyszín.

Magyar jelmagyarázat: Study Area (Öreghegy) = vizsgálati terület (Öreghegy); Inundated areas = vízzel borított területek; Non-inundated area = vízzel nem borított terület; Main canal system = főcsatorna-rendszer; Sub canal system = mellékcsatorna-rendszer.

2.3. Szezonális és területhasználati összehasonlíthatóság

A júniust választottuk közös összehasonlítási időszaknak, mert ez az aktív vegetációs időszak része, és mindhárom évben egységes szezonális referenciát biztosít.

Ugyanazon hónap alkalmazása csökkenti azokat a különbségeket, amelyek pusztán az éves vegetációs ciklus eltérő szakaszainak összehasonlításából adódnának. Emellett közös időbeli viszonyítási pontot ad a gyepvegetáció fejlődésének és a területkezelési tevékenységeknek az értékeléséhez.

Az elemzés ezért ugyanazon szezonális időszak különböző évek közötti relatív eltéréseire összpontosít, nem pedig a folyamatos napi környezeti dinamika rekonstruálására.

3. Indikátorok, adatkészletek és feldolgozás

3.1. Elsődleges környezeti indikátorok

NDVI

A Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, normalizált differenciált vegetációs index) a növényzet zöldességének és aktivitásának elsődleges indikátora.

A magasabb értékek általában nagyobb zöld növényzeti jelenlétre vagy aktivitásra utalnak, ugyanakkor az NDVI-t befolyásolja a növényzet szerkezete, sűrűsége, fajösszetétele, a talaj háttérhatása és más környezeti tényezők is.

NDMI

A Normalized Difference Moisture Index (NDMI, normalizált differenciált nedvességindex) a növényzet és a felszíni nedvességi viszonyokkal kapcsolatos információt szolgáltat.

Az NDVI-val együtt értelmezzük, nem pedig a vízmélység vagy a talajvízszint közvetlen mérőszámaként.

Felszínhőmérséklet

A felszínhőmérséklet (LST) a Föld felszínének termikus műholdas megfigyelésekből származtatott hőmérsékletét írja le.

Az LST nem azonos a levegő hőmérsékletével. Értékét befolyásolja a növényzet, a talajnedvesség, a felszín jellemzői, a sugárzási viszonyok és a légköri állapot.

Alacsonyabb LST jelentkezik nedvesebb vagy sűrűbben vegetált körülmények között, de tágabb meteorológiai különbségek is okozhatják. Ezért az LST-t háttér-információként kezeljük, nem pedig közvetlen vízmegtartási indikátorként.

3.2. Kiegészítő környezeti indikátorok

Az értékelés az alábbi kiegészítő indikátorokat is tartalmazza:

- ET - teljes júniusi evapotranszspiráció;
- NDWI - a növényzet és a felszíni vízhez kapcsolódó nedvességre érzékeny spektrális indikátor;
- MNDWI - módosított, vízhez kapcsolódó spektrális index;
- Sentinel-1 VV és VH - a felszín és a növényzet jellemzőire érzékeny radar-visszaszórási mérések;
- ERA5-Land csapadék - táji léptékű csapadék-háttér;
- ERA5-Land talajvíztartalom, 0-7 cm - modellezett felső talajréteg-nedvességi háttér;
- ERA5-Land talajvíztartalom, 7-28 cm - modellezett, mélyebb felszínközeli talajnedvességi háttér.

Az ERA5-Land a Copernicus/ECMWF szárazföldi reanalízis-adatkészlete, hozzávetőlegesen 11,1 km-es térbeli rácsfelbontással. Hosszú időszakokra biztosít egységes meteorológiai és felszínállapot-változókat, ezért alkalmas a műholdas megfigyelések tágabb környezeti hátterének leírására.

Mivel térbeli felbontása jóval durvább a Sentinel-2 és Landsat megfigyelésénél, az ERA5-Land értékeit regionális vagy táji léptékű háttérként értelmezzük, nem pedig az egyes vizes élőhelyi medencék specifikus mérési adataiként.

3.3. Műholdas és környezeti adatok

Sentinel-2

A Sentinel-2 felvételeket az NDVI, NDMI, NDWI és MNDWI számításához használtuk.

Minden évben a június 1. és július 1. közötti megfigyeléseket dolgoztuk fel. A magas felhőborítottságú megfigyeléseket kizártuk, a Sentinel-2 jelenetosztályozási információit pedig a nem megfelelő pixelek eltávolítására használtuk.

A megmaradó megfigyelésekből reprezentatív júniusi kompozitokat készítettünk.

Landsat 8/9

A Landsat 8 és 9 termikus megfigyeléseiből számítottuk a felszínhőmérsékletet. A felhő- és minőségi információkat a nem megfelelő megfigyelések kizárására használtuk. Az LST-értékeket Celsius-fokban adjuk meg.

Sentinel-1

A Sentinel-1 C-sávú radaradataiból júniusi VV és VH visszaszórási kompozitokat készítettünk.

A radaros mérések a felszíni nedvesség, a növényzet szerkezete, a felszíni érdesség és más szórási tulajdonságok kombinációjára reagálnak. Ezért ezeket kiegészítő bizonyítékként használjuk, nem pedig a víz jelenlétének közvetlen mérőszámaként.

MODIS MOD16A2GF

A MOD16A2GF adatkészletet a teljes júniusi evapotranszpiráció becslésére használtuk.

Mivel az adatkészlet térbeli felbontása lényegesen durvább a Sentinel-2 és Landsat adatokénál, az ET-t elsősorban háttér-információként értelmezzük. Ez különösen fontos a viszonylag kis kiterjedésű Nagy Szék déli poligon esetében.

ERA5-Land

Az ERA5-Land adatait a háttér-meteorológiai és talajvíztartalmi viszonyok leírására használtuk.

Az értékelés az alábbi változókat használja:

- teljes júniusi csapadék;
- felszínközeli talajvíztartalom a 0-7 cm-es rétegben;
- talajvíztartalom a 7-28 cm-es rétegben.

Az ERA5-Land ezeket a változókat hozzávetőlegesen 11,1 km-es rácsfelbontással biztosítja.

3.4. Területi statisztikák

Minden indikátorra az alábbi statisztikákat számítottuk:

- Átlag - az értékelési területen vagy kiemelt poligonon belüli érvényes pixelek átlagértéke;
- Szórás (SD) - az átlag körüli térbeli változékonyság mértéke.

Minden évben ugyanazokat a területeket és statisztikai eljárásokat használtuk. Ez lehetővé teszi a 2024, 2025 és 2026 közötti közvetlen összehasonlítást.

3.5. Feldolgozás és reprodukálhatóság

A Google Earth Engine-t használtuk a műholdas adatok elérésére, szűrésére, a felhő- és minőségi maszkolásra, az indexek számítására, az időbeli kompozitok előállítására és a területi statisztikák számítására.

A QGIS-t térbeli ellenőrzésre, raszterkezelésre, térképkészítésre és térbeli kimenetek előállítására használtuk.

A feldolgozási munkafolyamatot minden évben azonosan tartottuk. Ugyanazokat a földrajzi területeket, szezonális időablakot, adatkészleteket és statisztikai eljárásokat alkalmaztuk.

A közös munkafolyamat azért fontos, mert így az évek között megfigyelt különbségek nem pusztán az elemzési eljárások változásából erednek.

A műholdas eredetű adatkészletek térbeli felbontása eltérő. Az ugyanazon poligonon számított statisztikák nem teszik egyenértékűvé a mögöttes térbeli információt. Különösen az ERA5-Land és MODIS durvább felbontású adatai nyújtanak tágabb környezeti háttérrel, nem pedig finomléptékű információt az egyes vizes élőhelyi medencékről.

4. Táji léptékű környezeti állapotok, 2024-2025-2026

4.1. Az elsődleges indikátorok alakulása

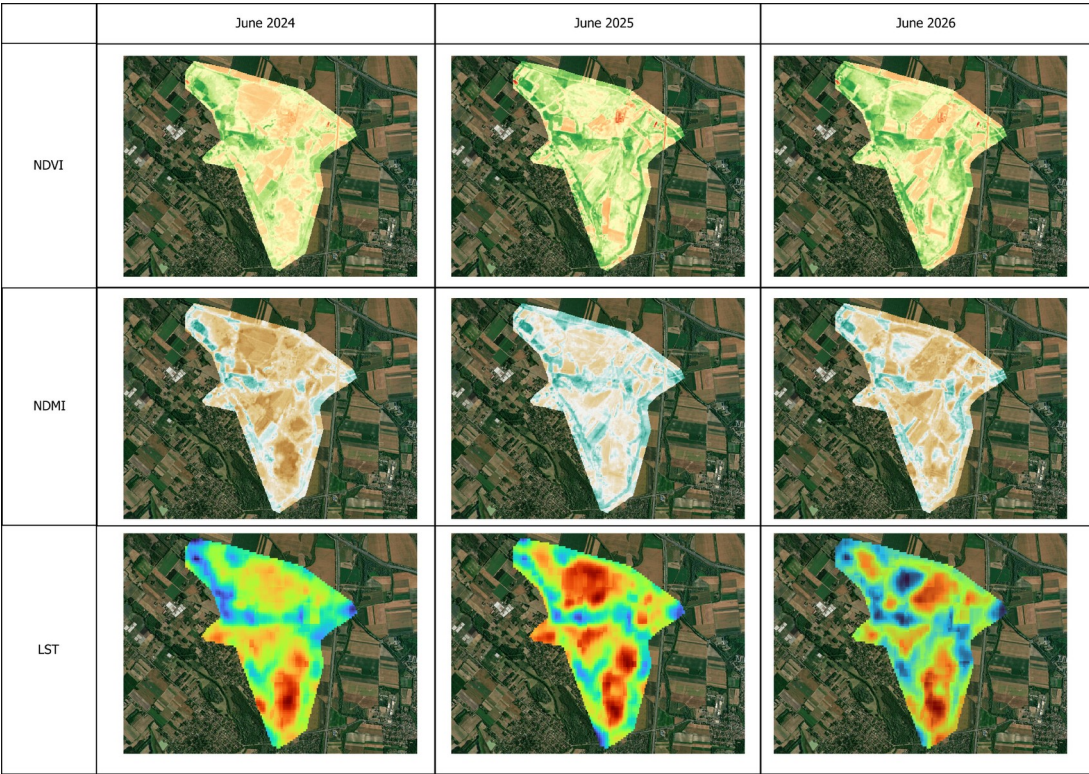
A három elsődleges indikátor jelentős változást mutat a három vizsgált év között.

Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
NDVI	0,403	0,125	0,557	0,160	0,494	0,173
NDMI	-0,049	0,114	0,067	0,131	-0,033	0,152
LST (°C)	37,672	2,294	40,837	2,569	39,994	2,260

2024 és 2025 között az átlagos NDVI 0,154-del, az NDMI 0,116-tal nőtt, az átlagos LST pedig 3,165 °C-kal emelkedett.

2025 és 2026 között az átlagos NDVI 0,063-del, az NDMI 0,100-zal, az LST pedig 0,843 °C-kal csökkent.

Az egymással ellentétes éves pályák azt mutatják, hogy a környezeti állapotok már az üzemszerű vízmegtartás kezdete előtt is jelentősen változtak. Ez a meglévő változékonyság fontos a 2026-os helyszínszintű mintázatok értelmezéséhez.



2. ábra. A teljes értékelési terület elsődleges indikátorainak alakulása 2024-2025-2026 között.

4.2. Kiegészítő indikátorok

Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
ET (mm)	53,032	8,608	58,320	7,324	52,277	11,575

Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
MNDWI	-0,474	0,053	-0,539	0,070	-0,548	0,057
NDWI	-0,432	0,088	-0,579	0,102	-0,517	0,110
VH (dB)	-19,857	3,159	-20,096	3,155	-20,055	2,928
VV (dB)	-12,937	2,541	-13,526	2,793	-13,285	2,510

A kiegészítő indikátorok azt mutatják, hogy a tágabb tájban is jelentős évek közötti változások történtek. Az ET 2025-ben volt a legmagasabb, miközben a radar-visszaszórás és a vízhez kapcsolódó spektrális indexek is változtak az évek között.

Ezeket az indikátorokat elsősorban a három fő indikátor környezeti háttérének kiegészítésére használjuk.

4.3. ERA5-Land környezeti háttér

Az ERA5-Land további leírást ad a három júniusi megfigyelési időszak meteorológiai és talajvíztartalmi viszonyairól.

ERA5-Land változó	2024 átlag	2025 átlag	2026 átlag
Csapadék (mm)	78,10	2,93	49,83
Talajvíztartalom, 0-7 cm	0,182	0,082	0,158
Talajvíztartalom, 7-28 cm	0,167	0,123	0,156

2025 júniusa az ERA5-Land csapadékadatai alapján különösen száraz volt: mindössze 2,93 mm csapadék hullott, szemben a 2024-es 78,10 mm-rel és a 2026-os 49,83 mm-rel.

A modellezett felső talajréteg víztartalma szintén 2025-ben volt a legalacsonyabb. A 0-7 cm-es réteg értéke 0,082-ről 0,158-ra, a 7-28 cm-es réteg pedig 0,123-ról 0,156-ra emelkedett 2025 és 2026 között.

Ezek az értékek azt mutatják, hogy a műholdas megfigyelések eltérő háttér-környezeti viszonyok között készültek. A 2026-os eredmények különösen nem értelmezhetők a csapadék és a modellezett talajvíztartalom évek közötti jelentős különbségeinek figyelembevétele nélkül.

Az ERA5-Land ezért hasznos a háttér-környezeti kontextus meghatározásához, ugyanakkor hozzávetőlegesen 11,1 km-es rácsa miatt az értékek nem értelmezhetők a Rózsa-lapos, a Nagy Szék déli része vagy a Mellék tó területén végzett specifikus talajnedvesség-mérésként.

5. Kiemelt helyszínek értékelése

5.1. Rózsa-lapos

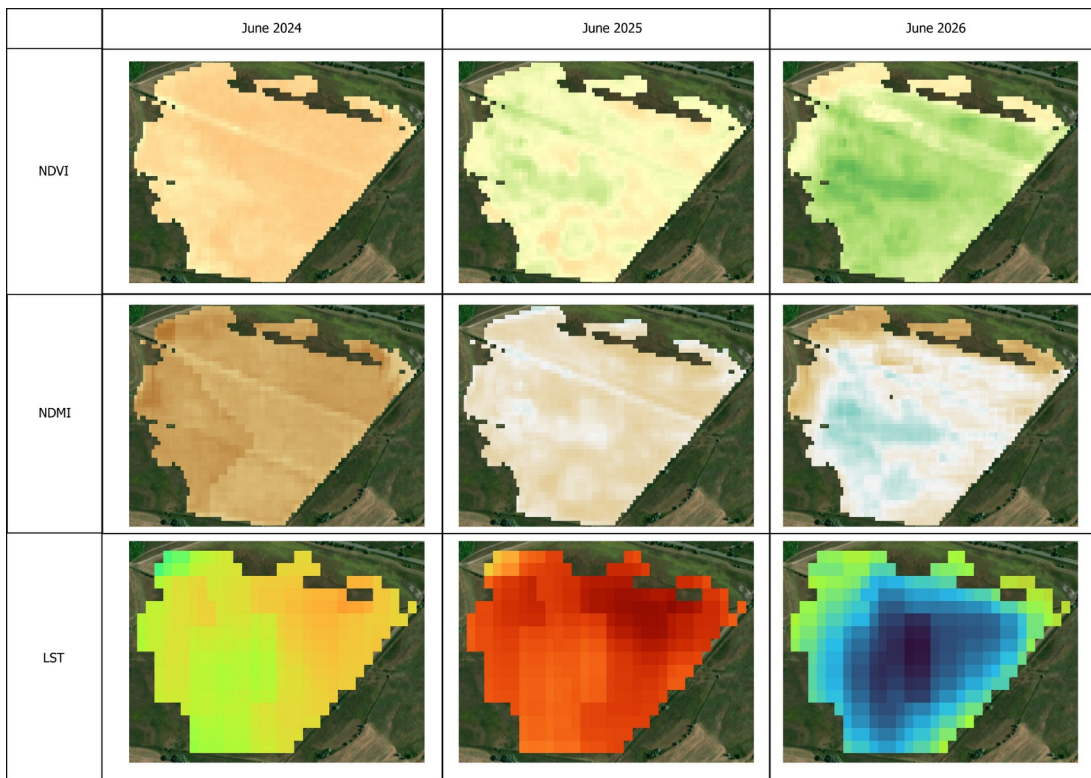
Rózsa-lapos megközelítőleg 2026 márciusától májusáig kapott vízborítást.

Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
ET (mm)	42,380	9,694	59,457	7,145	50,588	17,305
LST (°C)	38,896	0,734	44,559	0,765	37,400	1,784
MNDWI	-0,484	0,029	-0,572	0,029	-0,544	0,035
NDMI	-0,171	0,024	-0,054	0,048	0,011	0,110
NDVI	0,267	0,028	0,474	0,048	0,575	0,104
NDWI	-0,342	0,023	-0,534	0,028	-0,550	0,061
VH (dB)	-25,076	2,084	-25,278	2,012	-21,271	2,177
VV (dB)	-16,504	1,100	-17,685	1,269	-14,174	2,080

A három elsődleges indikátor közül Rózsa-lapos mutatja 2026-ban a legegységesebb együttes irányú változást.

Az NDVI 2024-ben 0,267-ről 2025-ben 0,474-re, majd 2026-ban 0,575-re nőtt. Az NDMI -0,171-ről -0,054-re, majd 0,011-re emelkedett. Az LST 2025-ben jelentősen emelkedett, majd 2026-ban 37,400 °C-ra csökkent, ami a három év közül a legalacsonyabb érték.

Az NDVI és NDMI pályája már 2024 és 2025 között változni kezdett. Ezért a 2026-os mintázat nem tulajdonítható kizárólag a beavatkozásnak. Ugyanakkor a vegetációs és nedvességi indikátorok további javulása az első üzemszerű évben összhangban áll azzal a lehetőséggel, hogy a nagyobb vízellátottság hozzájárult a megfigyelt állapotok egy részéhez.



3. ábra. Rózsa-lapos elsődleges indikátorainak alakulása 2024-2025-2026 között.

5.2. Nagy Szék déli része

A Nagy Szék déli része megközelítőleg 2026 áprilisától május közepéig kapott vízborítást.

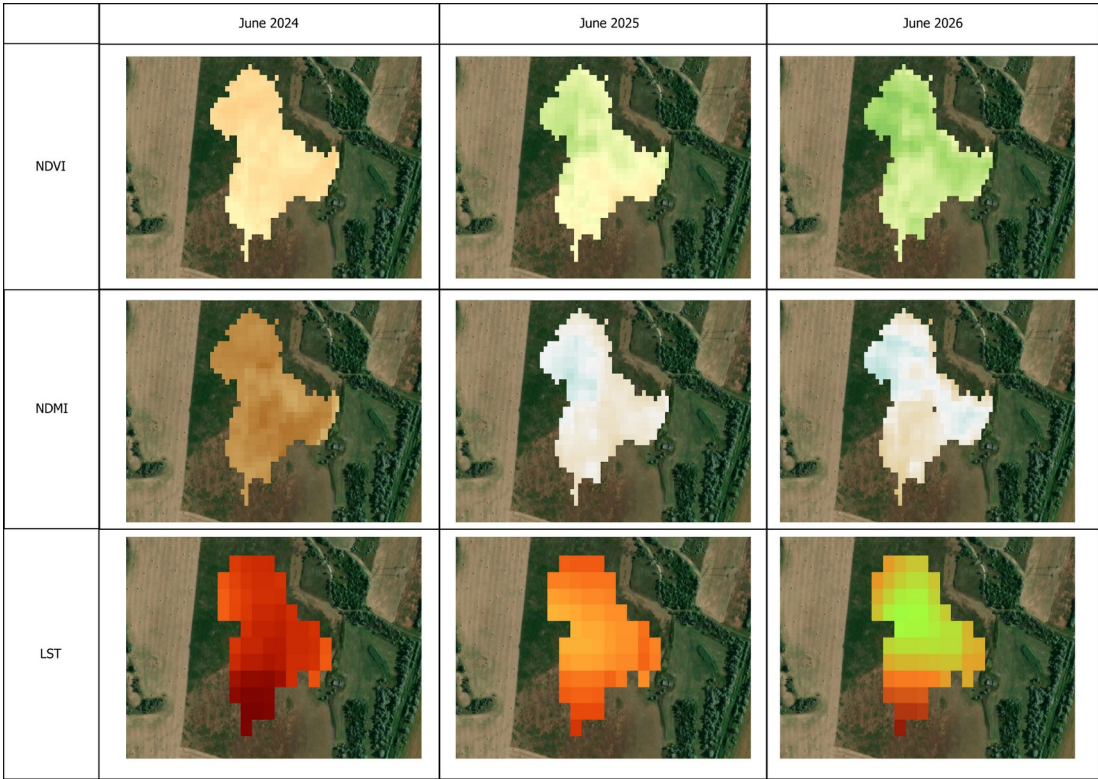
Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
ET (mm)	56,277	5,773	57,284	2,098	48,788	3,401
LST (°C)	43,159	0,763	43,229	0,603	41,797	1,221
MNDWI	-0,543	0,020	-0,582	0,021	-0,581	0,024
NDMI	-0,218	0,023	0,011	0,050	0,013	0,075
NDVI	0,297	0,025	0,504	0,063	0,583	0,071
NDWI	-0,369	0,018	-0,589	0,029	-0,589	0,040
VH (dB)	-22,978	1,406	-24,529	1,293	-24,427	1,086
VV (dB)	-15,449	0,886	-18,245	0,964	-17,695	0,839

A Nagy Szék déli részén az NDVI folyamatos növekedést mutat: 0,297-ről 0,504-re, majd 0,583-ra emelkedett 2024, 2025 és 2026 között.

Az NDMI 2024 és 2025 között erősen emelkedett, majd 2026-ban lényegében stabil maradt, 0,011-ről 0,013-ra változva.

Az LST 43,229 °C-ról 41,797 °C-ra csökkent 2025 és 2026 között.

Az elsődleges indikátorok tehát 2026-ban további vegetációs fejlődést és összességében stabil nedvességi viszonyokat mutatnak. Rózsa-laposhoz hasonlóan a vegetációs pálya itt is már a beavatkozás előtt megkezdődött, ezért a megfigyeléseket többéves környezeti pályaként, nem pedig a beavatkozás elszigetelt hatásának bizonyítékaként kell értelmezni.



4. ábra. A Nagy Szék déli részének elsődleges indikátorai 2024-2025-2026 között.

5.3. Mellék tó

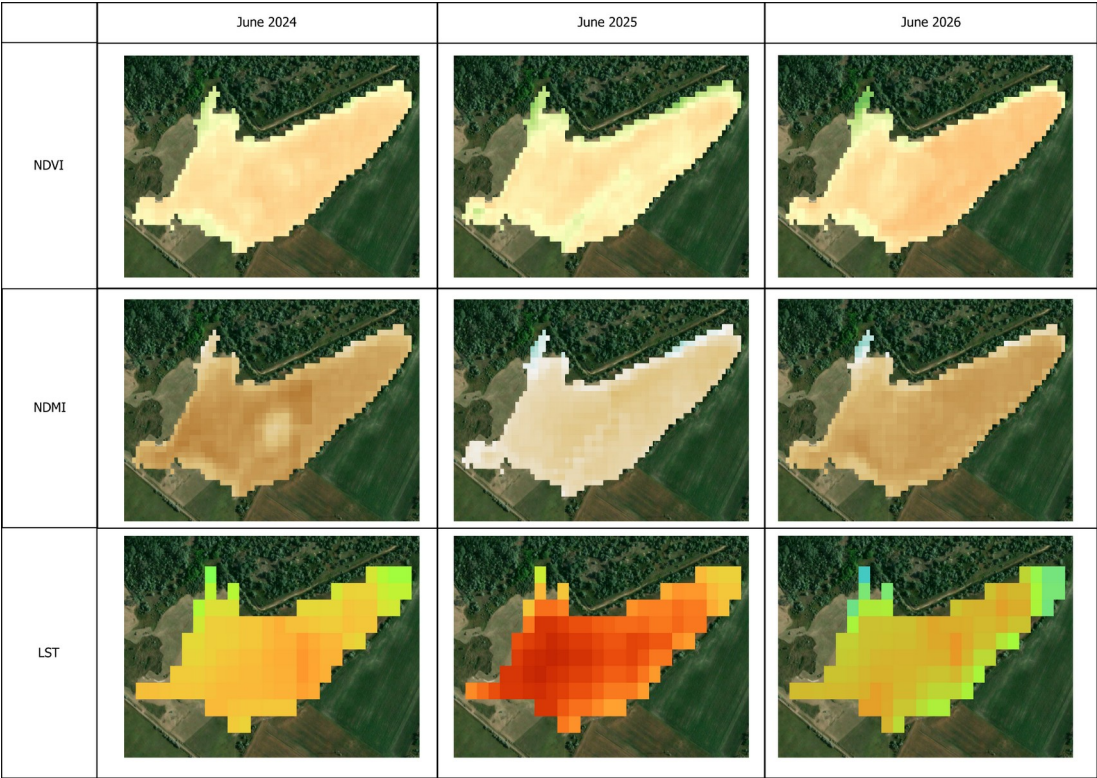
A Mellék tó a 2026-os üzemszerű időszakban nem kapott vízborítást, ezért vízzel nem borított összehasonlító területként szerepel.

Indikátor	2024 átlag	2024 SD	2025 átlag	2025 SD	2026 átlag	2026 SD
ET (mm)	46,324	4,646	50,578	6,809	47,470	2,262
LST (°C)	39,196	1,209	42,934	1,595	40,784	1,405
MNDWI	-0,491	0,041	-0,574	0,037	-0,551	0,024
NDMI	-0,149	0,073	-0,065	0,096	-0,179	0,108
NDVI	0,307	0,083	0,467	0,109	0,327	0,124
NDWI	-0,368	0,058	-0,527	0,062	-0,409	0,080
VH (dB)	-22,784	3,018	-23,303	3,620	-23,624	3,287
VV (dB)	-15,122	2,169	-15,933	2,891	-15,579	2,564

A Mellék tó 2025-2026 közötti pályája eltért a két vízzel borított területétől.

Az NDVI 2024-ben 0,307-ről 2025-ben 0,467-re emelkedett, majd 2026-ban 0,327-re csökkent. Az NDMI hasonlóképpen -0,065-ről -0,179-re változott, miközben az LST 42,934 °C-ról 40,784 °C-ra csökkent.

Az eltérő vegetációs és nedvességi pálya hasznos összehasonlítási háttérrel ad, mivel a terület a 2026-os beavatkozási időszakban nem kapott vízborítást.



5. ábra. A Mellék tó elsődleges indikátorainak alakulása 2024-2025-2026 között.

6. Összehasonlító hároméves értelmezés

6.1. Elsődleges indikátorok

Helyszín	Indikátor	2024	2025	2026
Rózsá-lapos	NDVI	0,267	0,474	0,575
Rózsá-lapos	NDMI	-0,171	-0,054	0,011
Rózsá-lapos	LST (°C)	38,896	44,559	37,400
Nagy Szék déli része	NDVI	0,297	0,504	0,583
Nagy Szék déli része	NDMI	-0,218	0,011	0,013
Nagy Szék déli része	LST (°C)	43,159	43,229	41,797
Mellék tó	NDVI	0,307	0,467	0,327
Mellék tó	NDMI	-0,149	-0,065	-0,179
Mellék tó	LST (°C)	39,196	42,934	40,784

A kiemelt helyszínek közötti legegységesebb eltérés az NDVI-ban látható.

Mindkét vízzel borított területen nőtt az NDVI 2025 és 2026 között, miközben a Mellék tó esetében csökkent. A tágabb értékelési terület NDVI-ja szintén csökkent.

Az NDMI hasonló, de kevésbé egységes képet mutat. Rózsá-laposon nőtt, a Nagy Szék déli részén lényegében stabil maradt, a Mellék tónál pedig csökkent.

Az LST mindhárom helyszínen és a tágabb értékelési területen csökkent. Ez arra utal, hogy a termikus jel nem kizárólag a vízzel borított helyszínek sajátossága.

6.2. A 2025-2026 közötti változás

Helyszín / terület	Δ NDVI	Δ NDMI	Δ LST (°C)
Rózsa-lapos	+0,101	+0,065	-7,159
Nagy Szék déli része	+0,079	+0,002	-1,432
Mellék tó	-0,140	-0,114	-2,150
Teljes értékelési terület	-0,063	-0,100	-0,843

A 2025-2026 közötti kontraszt különösen figyelemre méltó az NDVI esetében. Rózsa-lapos és a Nagy Szék déli része 0,101, illetve 0,079 értékkel nőtt, miközben a Mellék tó 0,140 értékkel csökkent.

A teljes értékelési terület NDVI-ja szintén 0,063 értékkel csökkent.

Az NDMI esetében Rózsa-lapos 0,065-tel nőtt, a Nagy Szék déli része csak nagyon kis mértékben változott, a Mellék tó pedig 0,114-gyel csökkent.

Ezek a különbségek azt jelzik, hogy a vízzel borított helyszínek 2026-os pályája nem volt azonos sem a tágabb táj, sem a vízzel nem borított összehasonlító terület pályájával.

6.3. Az NDVI százalékos változása

Az abszolút változások kiegészítéseként az NDVI százalékos változását is kiszámítottuk a 2024-2025, 2025-2026 és 2024-2026 időszakokra. A százalékos változást mindig az adott időszak kezdőértékéhez viszonyítva számítottuk.

Helyszín / terület	NDVI 2024-2025	NDVI 2025-2026	NDVI 2024-2026
Rózsa-lapos	+77,5%	+21,3%	+115,4%
Nagy Szék déli része	+69,7%	+15,7%	+96,3%
Mellék tó	+52,1%	-30,0%	+6,5%
Teljes értékelési terület	+38,2%	-11,3%	+22,6%

A százalékos változások további lehetőséget adnak az NDVI-pályák nagyságrendjének leírására. 2024 és 2025 között az NDVI mindhárom kiemelt helyszínen és a teljes értékelési területen nőtt. 2025 és 2026 között azonban mindkét vízzel borított helyszínen tovább nőtt, miközben a Mellék tónál és a teljes értékelési területen csökkent.

A teljes 2024-2026 időszakban az NDVI mindhárom kiemelt helyszínen és a teljes értékelési területen magasabb maradt a 2024-es értéknél. A legnagyobb relatív növekedést Rózsa-lapos mutatta (+115,4%), ezt követte a Nagy Szék déli része (+96,3%). A Mellék tó jóval kisebb összesített növekedést mutatott (+6,5%), mivel a 2025-2026 közötti csökkenés nagyrészt ellensúlyozta a korábbi emelkedést.

Ezek a százalékos értékek a megfigyelt változások nagyságrendjét írják le, de nem bizonyítanak oksági kapcsolatot. Különösen fontos, hogy 2024 és 2025 között minden helyszínen jelentős NDVI-növekedés történt már az üzemszerű vízmegtartás megkezdése előtt.

7. Többindikátoros értelmezés

7.1. Táji háttér

A teljes értékelési terület jelentős évek közötti környezeti változékonyságot mutat.

2024 és 2025 között az NDVI és NDMI nőtt, miközben az LST is emelkedett. 2025 és 2026 között mindhárom indikátor az ellenkező irányba változott.

Az ERA5-Land adatai ezt tovább erősítik. A júniusi csapadék jelentősen eltért a három évben: 2024-ben 78,10 mm, 2025-ben mindössze 2,93 mm, 2026-ban pedig 49,83 mm volt. A modellezett talajvíztartalmi viszonyok is eltértek.

A 2026-os helyszínszintű eredményeket ezért változó klimatikus és hidrológiai háttérhez viszonyítva kell értelmezni, nem pedig állandó referenciaállapot mellett.

7.2. A 2026-os kiemelt helyszínek eltérő pályája

A két vízzel borított helyszín az NDVI 2025-2026 közötti változásában azonos irányt mutat:

- Rózsa-lapos: +0,101
- Nagy Szék déli része: +0,079

A Mellék tó ezzel szemben:

- -0,140

Az NDMI azonos összehasonlítása:

- Rózsa-lapos: +0,065
- Nagy Szék déli része: +0,002
- Mellék tó: -0,114

Ez az eltérés azért fontos, mert olyan helyszínek között jelentkezik, amelyek 2026-ban eltérő vízmegtartási viszonyoknak voltak kitéve.

A különbségek ugyanakkor nem értelmezhetők kontrollált kezelési hatásként, mivel a helyszíneket nem véletlenszerűen választottuk ki, a beavatkozást nem kísérleti módon kontrolláltuk, és a vegetációs pályák már 2026 előtt is eltértek egymástól.

7.3. A kiegészítő indikátorok szerepe

A kiegészítő indikátorok további környezeti háttérrel biztosítanak, de önmagukban nem bizonyítják a vízmegtartás hatását.

Az ET évek és helyszínek között változott. A radar-visszaszórás Rózsa-lapon jelentősen változott, míg a többi helyszínen kisebb változások jelentkeztek. Az NDWI és MNDWI szintén változott az évek között.

Az ERA5-Land fontos tágabb háttérrel biztosít, mivel a három júniusi időszak eltérő csapadék- és talajvíztartalmi viszonyok között zajlott.

Az adatkészletek együttesen azt mutatják, hogy a megfigyelt környezeti mintázatok többdimenziósak, és nem vezethetők vissza egyetlen indikátorra.

7.4. Értelmezés az időszakos vízmegtartással összefüggésben

A legerősebb leíró mintázat az alábbi elemek együtteséből áll:

1. az NDVI mindkét vízzel borított helyszínen nőtt;
2. az NDMI Rózsa-lapon nőtt, a Nagy Szék déli részén pedig lényegében stabil maradt;
3. a vízzel nem borított Mellék tó területén az NDVI és NDMI egyaránt csökkent;
4. a teljes értékelési terület NDVI-ja csökkent.

Ez a kombináció összhangban áll azzal a lehetőséggel, hogy a megnövekedett vízellátottság hozzájárult a vízzel borított területeken megfigyelt vegetációs és nedvességi változások egy részéhez.

Az adatok ugyanakkor nem bizonyítják, hogy e változások kizárólagos vagy közvetlen oka a vízmegtartás volt. A 2024-2025 időszak már az üzemszerű vízmegtartás előtt is jelentős környezeti változást mutatott, a 2026-os tájat pedig tágabb meteorológiai és talajvíztartalmi körülmények is befolyásolták.

Az eredményeket ezért leginkább az első üzemszerű vízmegtartási időszakot követő, térben eltérő környezeti pályák kezdeti megfigyeléses bizonyítékeként célszerű értelmezni.

8. Következtetések

A 2024-2026 közötti térinformatikai értékelés jelentős környezeti változékonyságot dokumentál az Öreghegy tájában, és 2026-ban elkülönülő pályát azonosít a két vízmegtartásban részesült helyszínen.

Rózsa-lapos és a Nagy Szék déli része egyaránt növekvő NDVI-t mutatott 2025 és 2026 között, miközben a vízzel nem borított Mellék tó és a teljes értékelési terület csökkenést mutatott.

Rózsa-lapason az NDMI szintén nőtt, a Nagy Szék déli részén pedig megközelítőleg stabil maradt. A Mellék tó NDMI-értéke csökkent.

Az LST valamennyi kiemelt helyszínen és a teljes értékelési területen csökkent, ami azt mutatja, hogy a termikus jel nem volt kizárólag a vízzel borított helyszínek sajátossága.

Az ERA5-Land adatai azt is mutatják, hogy a három vizsgált év eltérő csapadék- és modellezett talajvíztartalmi viszonyokkal járt. Ezek a tágabb környezeti különbségek lényegesek a műholdas eredetű indikátorok értelmezéséhez.

Az együttes bizonyítékok ezért arra utalnak, hogy az első üzemszerű év a vízzel borított helyszíneken elkülönülő környezeti pályákkal járt együtt, különösen a vegetációval kapcsolatos indikátorok tekintetében. A mintázatok összhangban állnak azzal a lehetőséggel, hogy a megnövekedett vízellátottság hozzájárult e változások egy részéhez, ugyanakkor a rendelkezésre álló hároméves megfigyeléses adatsor nem állapít meg oksági kapcsolatot.

Az értékelés reprodukálható kiindulási alapot biztosít az Öreghegy tájának további monitoringjához, ahogy újabb vízmegtartási beavatkozások és az azokat követő vegetációs időszakok megfigyelései rendelkezésre állnak.