

A nádaratás szerepe a tápanyag-körforgásban és a feltöltődési folyamatok szabályozásában a Fertő tavi ökoszisztémában



VARGA SZABOLCS

2025. december 11.

Szerzői összefoglaló

Jelen tanulmány átfogó, multidiszciplináris elemzést nyújt a nád (*Phragmites australis*) aratásának szerepéről a Fertő tó (Neusiedler See) biogeokémiai ciklusaiban, különös tekintettel a tó feltöltődési folyamatainak (eutrofizáció és iszaposodás) lassítására. A Fertő tó, mint Közép-Európa legnagyobb sztyepptava és az UNESCO Világörökség része, egyedülálló, ám rendkívül sérülékeny ökoszisztémát alkot, ahol a vízszint ingadozása, a szél általi keveredés és a kiterjedt nádöv kölcsönhatása határozza meg a vízminőséget és az üledékképződést. A jelentés rávilágít arra, hogy a nádaratás nem csupán gazdasági haszonszerzési tevékenység, hanem kritikus ökoszisztéma-szabályozó eszköz, amely nélkül a tó természetes szukcessziója és feltöltődése drasztikusan felgyorsulna. **Az elemzés bemutatja, hogy a biomassza eltávolítása hogyan befolyásolja a szén, nitrogén és foszfor körforgását, valamint milyen hidrológiai és kémiai mechanizmusokon keresztül képes lassítani a tőzegesedést. A kutatási eredmények szintézise alapján megállapítható, hogy a fenntartható tógazdálkodás kulcsa a térben és időben differenciált, mozaikos aratási stratégia, amely egyensúlyt teremt a tápanyag-kivonás, az üledék-kontroll és a biodiverzitás védelme között.**

Bár egyetemre soha nem jártam, jelen dolgozatomat **Dr. Márkus István** ny. egyetemi docens számára ajánlom, aki nagy hatással volt a Fertő tavi diskurzus iránti szenvedélyem alakulásában.

Témaválasztásom nem a véletlennek köszönhető, jelesül egy magánbeszélgetés inspirálta, amelyet **Takács Gáborral**, a Fertő-Hanság Nemzeti Park munkatársával folytattam az Igazgatóságnak helyet adó Kócsagvár falai között, a Bioszféra rezervátumok kezelésének tapasztalatairól szóló képzés ebédszünetében.

Nem titkolt szándékom, hogy őszinte reményeim szerint ezen dolgozattal szakmailag is megalapozhatóvá válik egy jövőbeli **szakmai - civil együttműködés** megteremtése az **Igazgatóság** és a **Fertő tó Barátai Egyesület** között. Szeretném elérni, hogy civilként is komolyan vehető partnerei lehessünk az Igazgatóságnak. Hiszem, hogy a Fertő tó megmentésében eredményeket elérni csak közös akarattal, kizárólag együtt gondolkodva lehetséges.

A kutatás forrásanyagai nyilvánosan elérhető adatokat tartalmaznak, a dokumentumot mesterséges intelligencia rendszerek felhasználásával készítettem.

1. Bevezetés: A Fertő tó limnológiai helyzete és a kutatás célkitűzései

1.1. A Fertő tó természeti földrajzi és hidrológiai sajátosságai

A Fertő tó Ausztria és Magyarország határán elterülő, endorheikus (lefolyástalan) jellegű sztyepptó, amelynek vízjárását és kémiai karakterét a sekély vízmélység (átlagosan 1,5 méter), a nagyfokú párolgás és a szél általi állandó keveredés határozza meg.¹ A tó teljes területe mintegy 309 km², amelyből a nádöv kiterjedése domináns: az osztrák oldalon a tófelület közel fele, míg a magyar oldalon mintegy 85%-a náddal borított, ami Európa második legnagyobb összefüggő nádasát alkotja a Duna-delta után.³ Ez a hatalmas vegetációs zóna nem csupán élőhely, hanem a tó „veséje” is, amely alapvetően befolyásolja az anyagforgalmat.

A tó hidrológiai mérlege rendkívül érzékeny, és erősen kitett az éghajlati ingadozásoknak. A vízutánpótlást elsősorban a csapadék (kb. 79%) és kisebb vízfolyások (pl. Wulka, Rákos-patak) biztosítják, míg a vízvesztesség döntő hányada – mintegy 90%-a – a párolgásból (evaporáció és a nádas transzspirációja) származik.² Ez a dinamika a sókoncentráció és a lúgosság (alkalinitás) jelentős szezonális és interannuális ingadozásához vezet. A tó vize jellegzetesen szikes, nátrium-hidrogén-karbonát (szóda) dominanciájú, magas pH-értékkel (8,5–9,2) és magas vezetőképességgel, ami speciális kémiai környezetet teremt a lebontó folyamatok számára.⁵

A tó történeti fejlődését vizsgálva látható, hogy a szabályozások (különösen a Hanság-csatorna zsiliprendszerének kiépítése és az 1965-ös vízszintstabilizáció) alapvetően megváltoztatták a rendszer természetes dinamikáját. A korábbi, szélsőséges vízszint-ingadozások (beleértve a teljes kiszáradást is, mint legutóbb 1868-ban) gátolták a nádas túlzott terjeszkedését és lehetővé tették az üledék oxidációját. A stabilizált, magasabb vízszint azonban kedvezett a nádasok horizontális terjeszkedésének és az anaerob üledékfelhalmozódásnak.¹

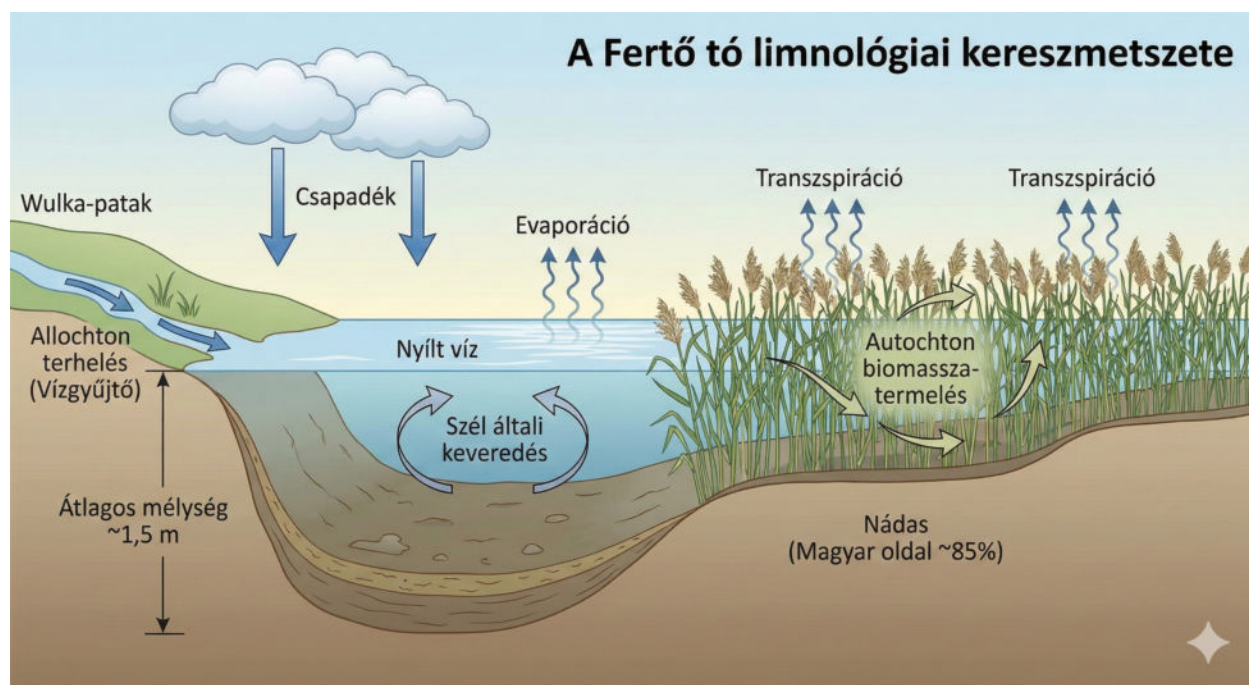
1.2. A feltöltődés (szukcesszió) problémaköre

A sekély tavak természetes életútjának elkerülhetetlen része a feltöltődés, ám a Fertő tó esetében ez a folyamat az emberi beavatkozások és a klímaváltozás hatására aggasztó mértékben módosult és felgyorsult. A feltöltődés két fő forrásból táplálkozik, amelyek aránya és jelentősége a nádaratás szempontjából eltérő:

1. **Allochton (külső) terhelés:** A vízgyűjtő területről, különösen a Wulka folyó által beszállított lebegőanyag és tápanyag. Ez a terhelés elsősorban a torkolati zónákban, a

nádöv szegélyén rakódik le, és bár jelentős, a modern vízgazdálkodási tervek (ülepítők, erózióvédelem) igyekeznek mérsékelni.⁷

2. **Autochton (belső) terhelés:** A tóban termelődő biomassa – elsősorban a nád (*Phragmites australis*) és kisebb mértékben az algák – elhalása és helyben történő felhalmozódása. Mivel a nádöv hatalmas biomasszát állít elő (évente mintegy 180 000 tonna szárazanyag a teljes tóra vetítve), ennek lebomlása vagy felhalmozódása a feltöltődés sebességének legfőbb meghatározója.⁷



A nádasok terjedése és az üledék felhalmozódása közötti kapcsolat komplex pozitív visszacsatoláson alapul: a sűrű nádas csapdaként működik a beérkező hordalék számára (csökkentve az áramlási sebességet), ugyanakkor saját elhalt maradványaival (avar, gyökérzet) növeli a mederfenék szintjét. Ez a folyamat tözegesedési mechanizmusokat indít el, amelyek során a szerves anyag nem mineralizálódik teljesen, hanem felhalmozódik. A jelentés központi hipotézise, hogy a nádaratás – mint célzott biomassa-eltávolítás – képes megszakítani vagy lassítani ezt a folyamatot, ezáltal növelve a tó élettartamát.

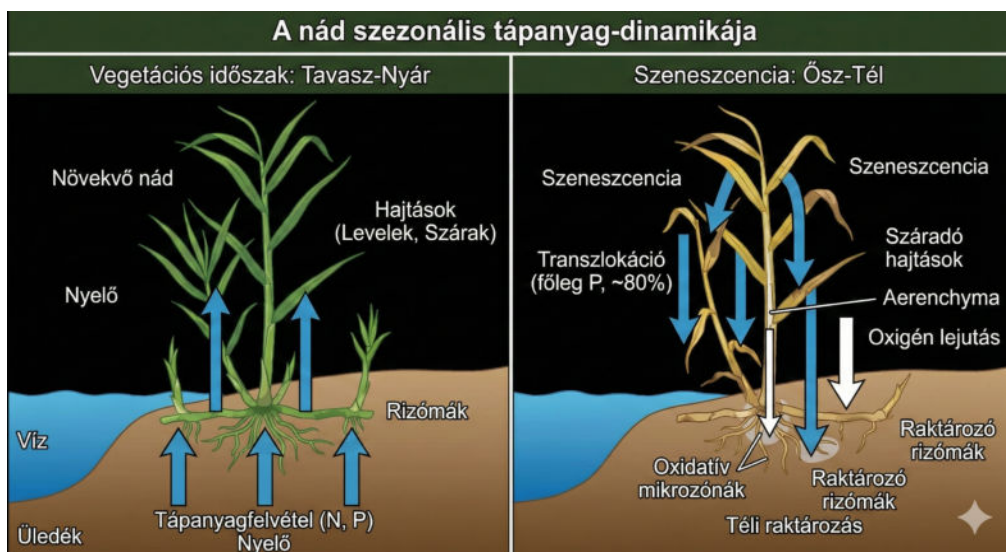
2. A Nád (*Phragmites australis*) biogeokémiai szerepe a Fertő tavon

2.1. A nád mint "tápanyag-szivattyú"

A közönséges nád (*Phragmites australis*) a Fertő tó ökoszisztémájának domináns makrofitája, amely nem csupán fizikai élőhelyet biztosít, hanem a tápanyag-körforgás elsődleges szabályozója is. Szerepe kettős: egyrészt tápanyagokat (Nitrogén - N, Foszfor - P, Kálium - K, valamint mikroelemeket) vesz fel az üledékből és a vízből, beépítve azokat a szöveibe, másrészt elhalása és lebomlása során ezeket visszajuttatja a rendszerbe, hacsak a biomasza nem kerül eltávolításra.⁶

A tápanyagfelvétel és -raktározás dinamikája erősen szezonális jellegű, ami alapvetően meghatározza az aratás időzítésének hatékonyságát:

- **Vegetációs időszak (Tavaszi-Nyári):** A nád intenzív növekedési fázisban van. Ekkor a tápanyagfelvétel a maximális; a növény "kiszívja" a tápanyagokat az üledék pórusaiból és a vízből, csökkentve a víz eutrofizációs potenciálját. A hajtások (levelek és szárak) N- és P-koncentrációja ebben az időszakban a legmagasabb.⁹ A nádasok ebben a fázisban "nyelőként" (sink) viselkednek a tápanyagok számára.
- **Szeneszcencia és Transzlokáció (Őszi-Téli):** A vegetációs időszak végén, a levelek sárgulásával párhuzamosan a növény a mobilis tápanyagok jelentős részét (Nitrogén, Foszfor, Kálium) visszavonja a föld alatti rizómákba, hogy a következő évi növekedéshez raktározza azokat. A foszfor esetében a visszavonás (reszorpció) hatékonysága különösen magas, akár a 80%-ot is elérheti. Ennek következtében a télen állva maradó szárak (szalma) N- és P-tartalma drasztikusan lecsökken, miközben a szén (C) és a strukturális rosttartalom (lignin, cellulóz) dominál.¹¹



2.2. A rizóma-rendszer és az üledék kapcsolata

A nád biomasszájának jelentős része – egyes becslések szerint a Fertő tavon akár 50-70%-a, vagy még több – a föld alatt, a rizómákban és gyökerekben található. Ez a hatalmas föld alatti biomassza (below-ground biomass) stabilizálja az üledéket, és aktívan befolyásolja annak kémiai állapotát.¹³

A nád aerenchyma-szövetén keresztül oxigént szállít a légkörből a gyökérzónába, amelynek egy része a gyökerek felületén diffundálva kijut az üledékbe (radiális oxigénvesztés). Ez a folyamat oxidatív mikrozónákat hoz létre az egyébként anaerob, redukzív üledékben, ami lehetővé teszi a szerves anyagok hatékonyabb lebontását és a toxikus vegyületek (pl. szulfidok) oxidációját.

A Fertő tó nádasaiban végzett összehasonlító vizsgálatok szignifikáns különbségeket mutattak ki az "egészséges" (stabil) és a "degradált" (die-back, pusztuló) nádasok üledéke között. A degradált nádasok üledékében szignifikánsan magasabb a szervesanyag-tartalom, a C, N, S és P koncentráció, valamint az elektron-transzport rendszer (ETS) mikrobiális aktivitása.¹⁵ Ez arra utal, hogy azokon a területeken, ahol a nád pusztul, vagy ahol a biomassza hosszú ideje nem kerül learatásra, felgyorsul a szerves anyag felhalmozódása. Ez a felhalmozódás olyan erős oxigénfogyasztást (anaerob viszonyokat) és intenzív szulfát-redukciót eredményez, amely során toxikus hidrogén-szulfid (H_2S) keletkezik, visszahatva a nád gyökérzetére és további pusztulást okozva. Ez az ördögi kör a feltöltődés és a nádas-degradáció egyik fő motorja.

3. Üledékképződés és Feltöltődés: A "kétlépcsős lebontás" mechanizmusa

A Fertő tó feltöltődésének megértéséhez és a nádaratás szerepének értékeléséhez elengedhetetlen a szerves anyag lebomlási mechanizmusainak mélyreható ismerete. A kutatások egy speciális, a tó lúgos kémhatásához kötődő, pH-függő lebontási mechanizmust azonosítottak, amely magyarázatot ad a feltöltődés térbeli mintázataira.

3.1. A pH szerepe a mineralizációban: Kémiai és biológiai szinergia

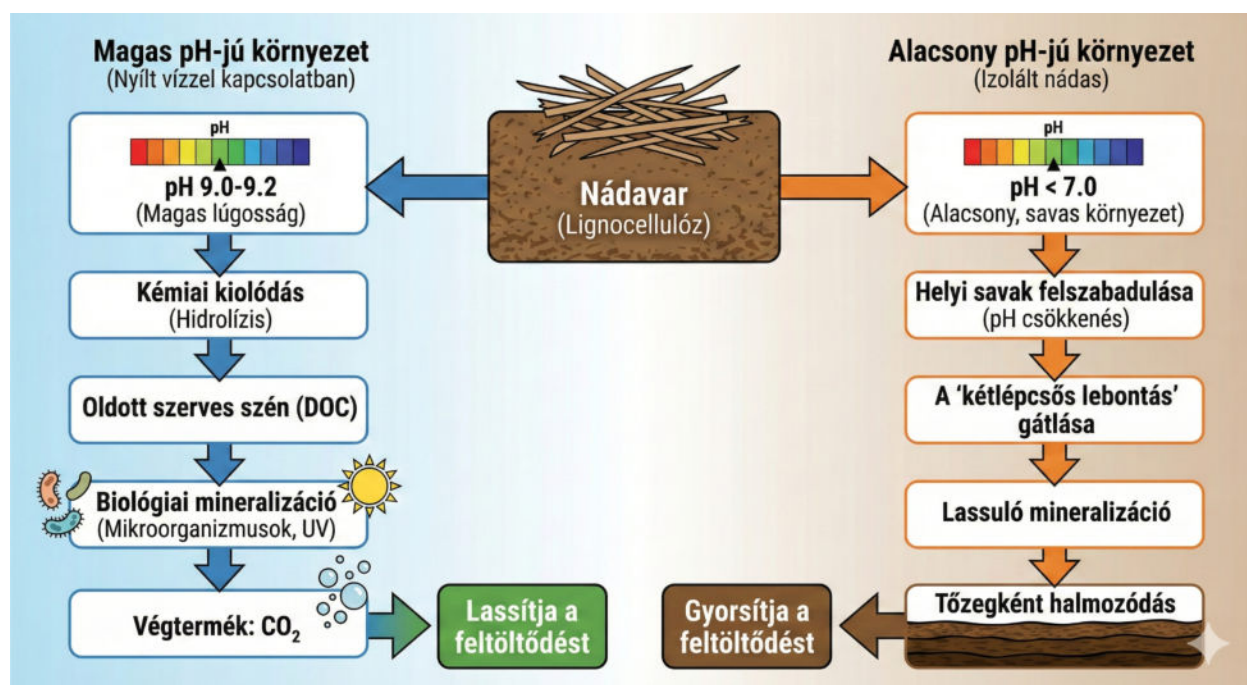
A Fertő tó nyílt vizének kémiai karaktere (szikes, szóda típusú) magas lúgosságot és pH-t (9.0–9.2) biztosít. Ez a környezet kifejezetten kedvez a nádavar (lignocellulóz) lebomlásának, amely egy jellegzetes kétlépcsős folyamatban zajlik¹⁶:

1. **Kémiai Kiolódás (Leaching) és Hidrolízis:** A szilárd növényi maradványokból a magas pH hatására humin anyagok (kolloidok) és oldott szerves szén (DOC) oldódnak ki. A lúgos

közeg, különösen a karbonátok jelenléte, mintegy "kémiai emésztésként" fellazítja a növényi szöveteket és gyorsítja a kolloidok vízbe jutását.

2. **Biológiai Mineralizáció:** A vízben oldott szerves anyagot (DOC) és a kolloidokat a vízi mikroorganizmusok (baktériumok, gombák) és a fotooxidációs folyamatok (UV-sugárzás) segítségével CO_2 -dá mineralizálják.

A kutatások kimutatták, hogy a nádavar lebomlási sebessége lineáris összefüggést mutat a pH-val: minél magasabb a pH, annál gyorsabb a kioldódás és a mineralizáció. Ezzel szemben a savasabb környezet gátolja ezeket a folyamatokat, és a szerves anyag konzerválódását (tőzegesedést) segíti elő.¹⁶



3.2. A nádasok izolációja és a tőzegesedés kockázata

Ez a mechanizmus rávilágít a nádaratás és a nádasban lévő csatornarendszer karbantartásának kritikus fontosságára. A sűrű, kezeletlen nádasok belsejében a vízcsera a nyílt tóval korlátozottá válik. A helyben termelődő hatalmas mennyiségű szerves anyag lebomlása során szerves savak és CO_2 szabadulnak fel, amelyek csökkentik a víz pH-ját (gyakran 8.2–8.4 alá, vagy még alacsonyabbra a pórusvízben).

Ha a nádas "beöregszik", és a sűrű avarréteg miatt megszűnik a hidrológiai kapcsolat a nyílt tó (magas pH, karbonát-puffer) és a nádas belseje között, a belső területek elsavanyodási spirálba kerülnek. Az alacsonyabb pH gátolja a "kétlépcsős lebontást", lelassítja a

mineralizációt, ami a szerves anyag (tőzeg) gyors felhalmozódásához vezet.¹⁶

A feltöltődés üteme ennek megfelelően drámai térbeli különbségeket mutat:

- **Nyílt víz:** Az üledékképződés mértéke minimális, a szél általi állandó felkavarás és az oxidatív viszonyok miatt mindössze kb. **0,2 mm/év**.¹⁸
- **Nádöv:** A felhalmozódás mértéke nagyságrendekkel nagyobb, elérheti a **2–3 mm/év**-et (egyes becslések szerint a magyar oldalon az átlagos iszapvastagság-növekedés még ennél is intenzívebb lehetett a múltban), sőt, a zárt, degradált öblökben extrapolálva akár a **20 mm/10 év** (2 cm/10 év) értéket is.¹⁸

Ezek az adatok egyértelműen bizonyítják, hogy a Fertő tó feltöltődésének fő motorja napjainkban nem a külső hordalék, hanem a nádasban helyben termelődő és ott csapdába eső, le nem bomló biomassa (autochton üledék).

4. A nádaratás hatása a tápanyagmérlegre

A nádaratás a tápanyagok (N, P, K) és a szén (C) ökoszisztémából való fizikai eltávolításának legközvetlenebb és leghatékonyabb módja. A kivonás hatékonysága azonban nagymértékben függ az aratás időzítésétől, a biomassa mennyiségétől és az állomány fenológiai állapotától.

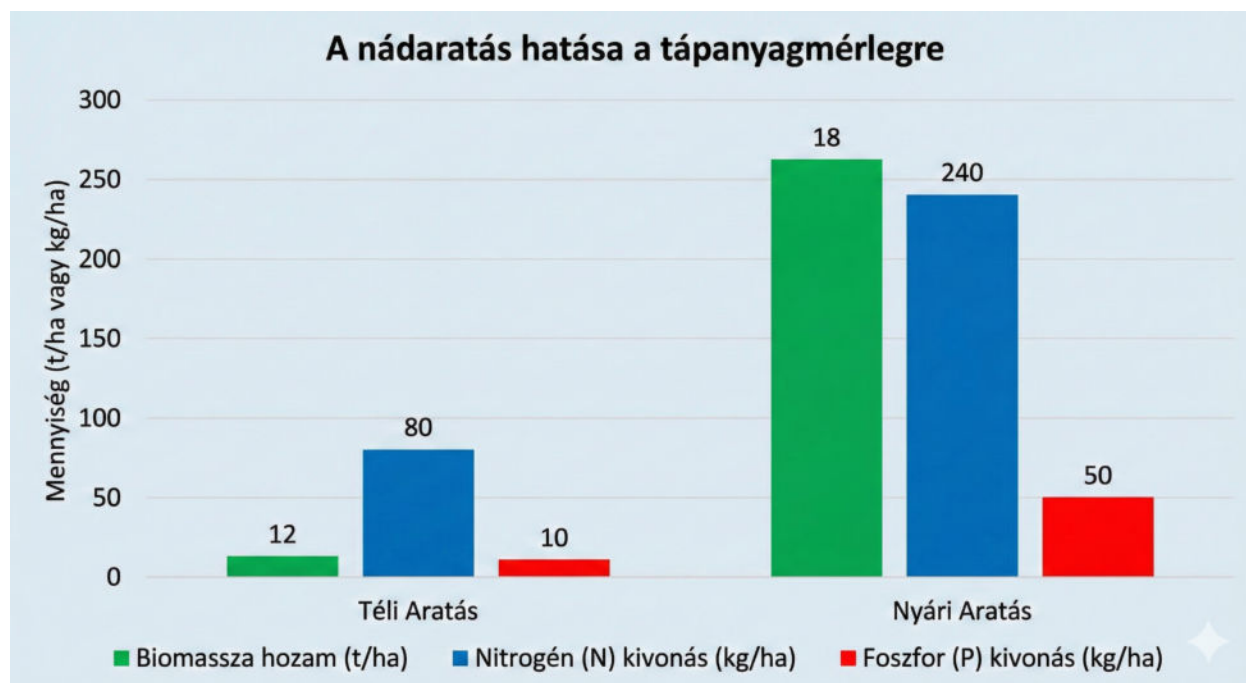
4.1. Tápanyag-kivonási potenciál mennyiségi elemzése

A szakirodalmi adatok és a Fertő tóra vonatkozó mérések alapján a nád biomasszájával eltávolítható tápanyagmennyiség jelentős különbségeket mutat a téli és a nyári betakarítás között. Az alábbi táblázat a releváns tartományokat foglalja össze:

Paraméter	Téli Aratás (Hagyományos)	Nyári Aratás (Zöld nád - Kísérleti)	Magyarázat és Hatásmechanizmus	Forrás
Biomassa hozam (szárazanyag)	10 – 15 t/ha	12 – 20 t/ha	Nyáron a nedvességtartalom magas, de a teljes föld feletti biomassa is ekkor a	⁹

			legnagyobb. Télen a levélzet egy része már lehullott.	
Nitrogén (N) kivonás	20 – 60 kg/ha	150 – 250 kg/ha	Nyáron a N a metabolikusan aktív levelekben koncentrálódik . Télen a transzlokáció miatt a 70-80%-a visszahúzódik a rizóma-rendsz erbe.	⁹
Foszfor (P) kivonás	2 – 6 kg/ha	15 – 25 kg/ha	A foszfor a legmobilisabb elem; ősszel a növény rendkívül hatékonyan menti át a rizómákba. A nyári aratás 4-5-ször több foszfort von ki.	⁹
Kálium (K) kivonás	20 – 50 kg/ha	150 – 450 kg/ha	A kálium nem épül be szerves kötésekbe, így az elhalt sejtekből ősszel az esőzések hatására gyorsan	⁹

			kimosódik (leaching).	
--	--	--	--------------------------	--



4.2. Téli vs. Nyári Aratás: Stratégiai előnyök és hátrányok

A tápanyagmérleg szempontjából a két időpont eltérő kezelési célokat szolgál:

Téli Aratás (Domináns gyakorlat):

- **Fő cél:** Szén-kivonás és üledék-kontroll. Bár a N és P eltávolítása fajlagosan alacsony, a téli aratás távolítja el a legnagyobb mennyiségű nehezen lebomló szerves szenet (lignin, cellulóz), amely a tőzegképződés vázát alkotja.²³
- **Technológiai előny:** Fagyott talajon vagy jégen végezhető, ami védi a talajszerkezetet és a rizómákat a taposási kártól. A téli nád minősége teszi lehetővé az ipari (tetőfedő nád) hasznosítást is.⁹

Nyári Aratás (Zöld aratás):

- **Fő cél:** Maximális tápanyag-kivonás (eutrofizáció elleni küzdelem). Egy hektár nyári aratás a vízminőség szempontjából kritikus foszforból annyit távolít el, mint 4-5 hektár téli aratás.

- **Ökológiai kockázat:** Súlyosan zavarja a fészkelő madarakat és a nádasban ívó halakat, ezért a természetvédelmi zónákban általában tilos. Továbbá gyengíti a nádállományt ("kifárasztás"), mivel megvonja a rizómáktól a téli tartalék képzéséhez szükséges asszimilátákat, ami a nádas ritkulásához vezethet. Ez egyes helyeken (pl. monokultúrák feltörése) cél lehet, de a nádas megőrzése szempontjából kockázatos.¹
-

5. A Nádaratás Szerepe a Feltöltődés Lassításában: Mennyiségi Elemzés

A feltöltődés (feliszapolódás) lassítása a Fertő tó kezelésének egyik legkritikusabb vízgazdálkodási feladata. A nádaratás e téren kifejtett hatása közvetlen (fizikai biomassza eltávolítás) és közvetett (áramlási és kémiai viszonyok javítása) komponensekre bontható.

5.1. A biomassza-mérleg és az üledékképződés

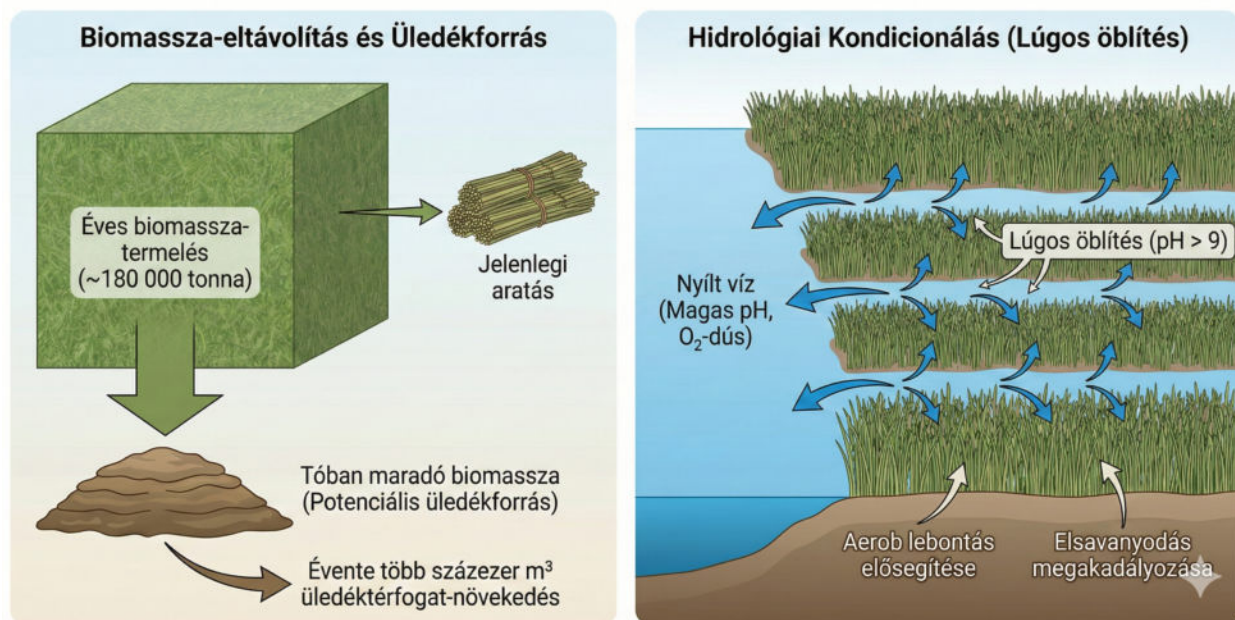
Becslések szerint a Fertő tó teljes nádövében (kb. 180 km²) évente mintegy 180 000 tonna (szárazanyag) biomassza termelődik.⁷ Ez a hatalmas mennyiségű szerves anyag potenciális üledékforrás. Ebből a mennyiségből jelenleg csak töredéket aratnak le és távolítanak el a rendszerből:

- **Osztrák oldal:** Kb. 10 000 tonna/év kerül betakarításra.
- **Magyar oldal:** A korábbi évtizedekben (1970-80-as évek) kb. 14 000 tonna/év volt a betakarítás, de ez az arány a piacszükülés és a technikai nehézségek miatt drasztikusan csökkent.¹

A le nem aratott 150 000 - 160 000 tonna biomassza jelentős része a tóban marad. Ha feltételezzük, hogy 1 tonna száraz nádanyag el nem távolítása – a tömörödés, vízzel telítődés és részleges lebomlás után – hosszú távon kb. 3-5 m³ szerves üledéket (tőzeget/iszapot) eredményezhet, akkor a le nem aratott biomassza évente több százezer köbméterrel növeli a tómeder üledékének térfogatát.

A kutatási adatok és modellszámítások szerint a nádas terület minden 1%-ának learatása és a biomassza eltávolítása mintegy 1000 tonnával csökkentené a feltöltődést okozó szerves anyag mennyiségét. Ez lokálisan évi kb. 1 mm-es iszapvastagság-növekedés elkerülését jelentené az adott területen.¹⁹ Bár ez a szám kicsinek tűnhet, évtizedes távlatban (10 év alatt 1-2 cm) a tó sekély volta miatt (ahol a vízmélység sokszor csak 100-150 cm) a hajózhatóság és az ökológiai állapot szempontjából meghatározó.

A nádaratás hatása a feltöltődésre: Biomassza-mérleg és hidrológiai öblítés



5.2. A hidrológiai "öblítés" és a kémiai kondicionálás hatása

A nádaratás közvetett hatása a feltöltődés lassításában talán még a biomassza-eltávolításnál is jelentősebb. A rendszeresen aratott területeken, illetve a karbantartott csatornáknban (pásztákban) biztosított a víz áramlása és keveredése.

1. **Oxigénellátás (Aerob lebontás):** A friss, oxigéndús, hullámozás által kevert víz beáramlása a nádas belsejébe elősegíti az aerob mikrobiális lebontást. Az aerob lebontás nagyságrendekkel gyorsabb és hatékonyabb, mint az anaerob rothadás, és kevesebb szilárd maradékot hagy hátra.¹⁵
2. **Lúgosítás és pH-kontroll:** Ahogy a 3. fejezetben bemutatottuk, a szerves anyag mineralizációja lúgos közegben a leghatékonyabb. Az aratással megnyitott folyosók lehetővé teszik, hogy a nyílt víz magas pH-jú, karbonátokban gazdag vize bejusson a nádas izolált zónáiba (a "barna vízű" területekre). Ez a lúgos beáramlás semlegesíti a helyben keletkező savas bomlástermékeket, fenntartja a pH-t a kritikus szint felett, és ezzel biztosítja a humin anyagok folyamatos kioldódását és mineralizációját, megelőzve a tőzeg felhalmozódását.¹⁶

Következésképpen a "mozaikos aratás" és a belső csatornahálózat fenntartása nem csupán a nád mint anyag eltávolítása miatt fontos, hanem azért is, mert ez az egyetlen eszköz a nádas belső területeinek kémiai "karbantartására" és az elzáródás okozta elsavanyodás/tőzegesedés megakadályozására.

6. Nádaratási technológiák és stratégiák a Fertő tavon

A Fertő tó speciális morfológiai viszonyai – extrém sekély víz, mély és laza iszapréteg, változó vízállás – speciális technológiai megoldásokat követelnek meg. A klímaváltozás (enyhe telek) új kihívások elé állítja a hagyományos betakarítást.

6.1. Hagyományos és Gépi Aratás (Téli üzemmód)

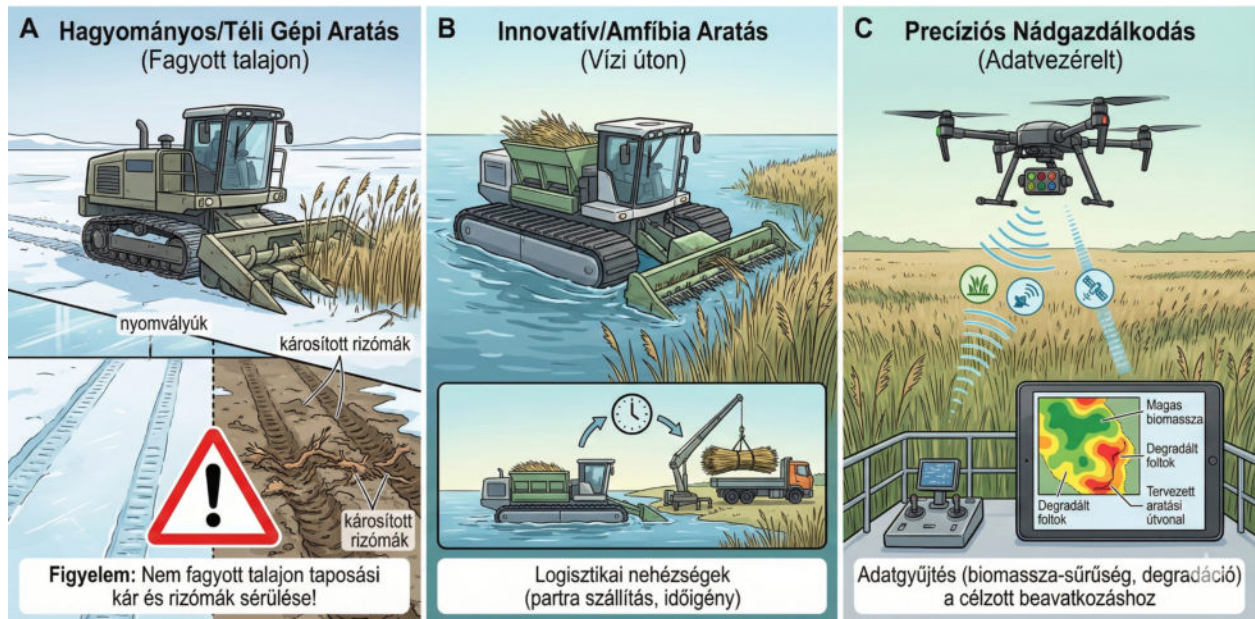
- **Kézi és kisméretű gépi aratás:** Ma már ritka, és csak marginális jelentőségű. Főként a különleges minőségű, exportra szánt tetőnád kinyerésére, vagy természetvédelmi szempontból kiemelten érzékeny, géppel megközelíthetetlen foltokon alkalmazzák.⁹
- **Seiga és speciális lánctalpas gépek:** Jelenleg ezek a legelterjedtebbek. Széles, alacsony talajnyomású ballonkerekekkel vagy lánctalpakkal rendelkeznek a süppedés elkerülése érdekében.
 - *Kockázatok:* Ezek a gépek optimálisan csak fagyott talajon vagy stabil jégen működnek. Ha a talaj nem fagyott át (ami a klímaváltozás miatt egyre gyakoribb), a gépek mély nyomvályúkat vágnak az érzékeny iszapba és a rizóma-matracba. Ez megsérti a nád föld alatti szártagjait, és ún. "lékeket" hoz létre, ahol a nád kipusztul, és helyét mocsaras, oxigénhiányos, degradált vízterek veszik át. A magyarországi nádasok egy részének degradációját (die-back) részben a nem megfelelő időben végzett gépi aratás okozta mechanikai sérülésekre vezetik vissza.¹

6.2. Innovatív Technológiák (Amfibia és Úszó Aratók)

A jégmentes telek számának növekedése miatt elengedhetlenné válik a technológiai váltás az úszó (pl. Truxor, Conver) vagy kételtű (amfibia) munkagépek irányába.²⁵

- **Előnyök:** Képesek vízről, úszva aratni, így függetlenek a jégvastagságtól és a talaj fagyottságától. Nem okoznak taposási kárt a rizómákban, mivel nem nehezednek a mederfenékre.
- **Korlátok:** Teljesítményük elmarad a szárazföldi gépektől. A legnagyobb kihívást a logisztika jelenti: a levágott nád partra szállítása vízen keresztül (uszályokkal vagy úszva) lassú és költséges folyamat, különösen a Fertő tó hatalmas kiterjedése és a kikötőktől való nagy távolságok miatt. A nád partra juttatása jelenleg a kapacitás szűk keresztmetszete.⁹

Nádatatási Technológiák és Stratégiák



6.3. Távérzékelés és Precíziós Gazdálkodás

A legújabb kutatások (pl. az osztrák-magyar REBEN projekt keretében) drónos felméréseket (UAV), légi fotókat és műholdas adatokat (Sentinel-2) használnak a nádas állapotának monitorozására. Ezek segítségével térképezhető fel a biomassa-sűrűség, a nádas kora és a "die-back" (pusztuló) foltok elhelyezkedése.⁵ Ez lehetővé teszi a precíziós aratási tervek (Management Plan) készítését: az erőforrásokat oda lehet koncentrálni, ahol a legnagyobb a biomassa-felhalmozódás, vagy ahol a legsürgetőbb a beavatkozás a degradáció megállítása érdekében.

7. Ökológiai és Természetvédelmi Konfliktusok

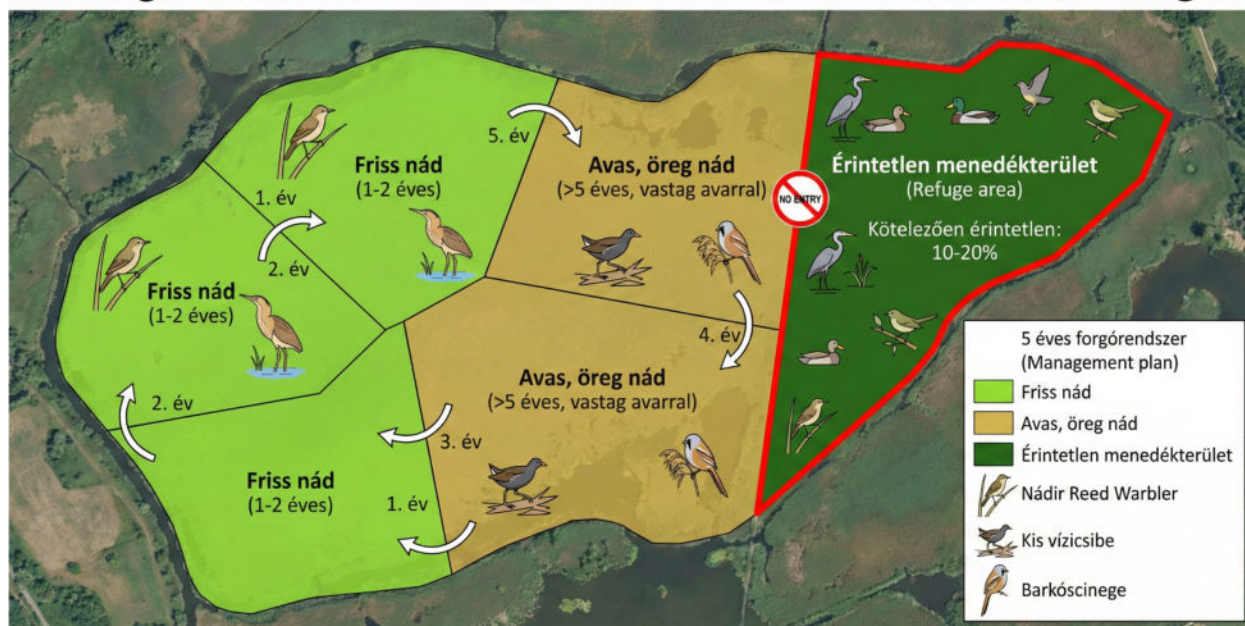
A Fertő tó mind osztrák (Nationalpark Neusiedler See-Seewinkel), mind magyar oldalon (Fertő-Hanság Nemzeti Park) szigorú természetvédelmi oltalom alatt áll, emellett Natura 2000 terület és Bioszféra Rezervátum. A nádatatás gazdasági és vízgazdálkodási céljai gyakran ütköznek a specifikus fajvédelmi célokkal.

7.1. A madárvilág habitat-igényeinek paradoxona

A nádas számos védett és fokozottan védett madárfaj fészkelőhelye, amelyek habitat-igényei eltérőek, sőt, néha ellentétesek:

- **"Fiatal nád" kedvelők:** Bizonyos fajok, mint a nádirigó (*Acrocephalus arundinaceus*) vagy a bölömbika (*Botaurus stellaris*), a friss, erős szálú, avartól mentes nádat (1-2 éves állományok) preferálják, amely stabil tartást ad a fészkeknek. Számukra a rendszeres aratás előnyös.
- **"Öreg nád" (Old Reed) kedvelők:** Más fajok, mint például a kis vízicsibe (*Zapornia parva*) vagy a barkóscinege (*Panurus biarmicus*), kifejezetten az idős, több éve nem aratott, avas nádasokat (Old Reed) igénylik, ahol sűrű a "szőnyegszerű" avarréteg és a rovarvilág. Kutatások kimutatták, hogy a kis vízicsibe preferálja a 14 évnél idősebb, bolygatatlan állományokat.²⁷
- **Aratási tilalom:** A költési időszakban (tavasz-nyár) az aratás szigorúan tilos. Ez gyakorlatilag kizárja a leghatékonyabb tápanyag-kivonási időszakot (nyári aratás) a védett zónákban, kompromisszumra kényszerítve a vízminőség-védelmet.

Ökológiai és természetvédelmi konfliktusok: Mozaikos aratási stratégia



7.2. A "Nádpusztulás" (Die-back) és a konzerválás csapdája

Paradox módon a természetvédelem érdekében (pl. a zavarás elkerülése végett) fenntartott teljes "nem-aratás" hosszú távon az élőhely minőségének romlását okozhatja. A nádaratás hiánya az állomány előregedéséhez vezet. A felhalmozódó, vastag avarréteg elzárja a fényt az

új hajtások elől, a talajban pedig toxikus bomlástermékek (H_2S , szerves savak) halmozódnak fel. Ez a folyamat vezet a "die-back" jelenséghez, amikor a nádállomány összeomlik, ritkul, és helyét jellegtelen, fajszegény mocsári növényzet vagy nyílt víz veszi át. A monitoring adatok szerint az aratott területek arányának csökkenése az elmúlt évtizedekben egybeesik a degradált nádasok kiterjedésének növekedésével.¹

Megoldás: A szabályozás a **rotációs, mozaikos aratást** írja elő. Nagyobb nádasok (5 ha felett) esetén kötelező a terület 10-20%-át évente érintetlenül hagyni ("menedékterületek" vagy refuge areas), és egy 5 éves forgórendszert (management plan) alkalmazni. Ez biztosítja, hogy minden évben rendelkezésre álljon friss, 1-2 éves, valamint többéves, avas nádas is, kielégítve a különböző madárfajok igényeit.²⁹

8. Gazdasági hasznosítás és fenntarthatóság

A nádaratás költséges tevékenység. Fenntarthatósága azon múlik, hogy a learatott biomassa rendelkezik-e piaci értékkel, vagy a tevékenységet ökoszisztéma-szolgáltatásként (vízminőség-védelem) támogatják-e.

8.1. Tetőfedő nád: A prémium termék

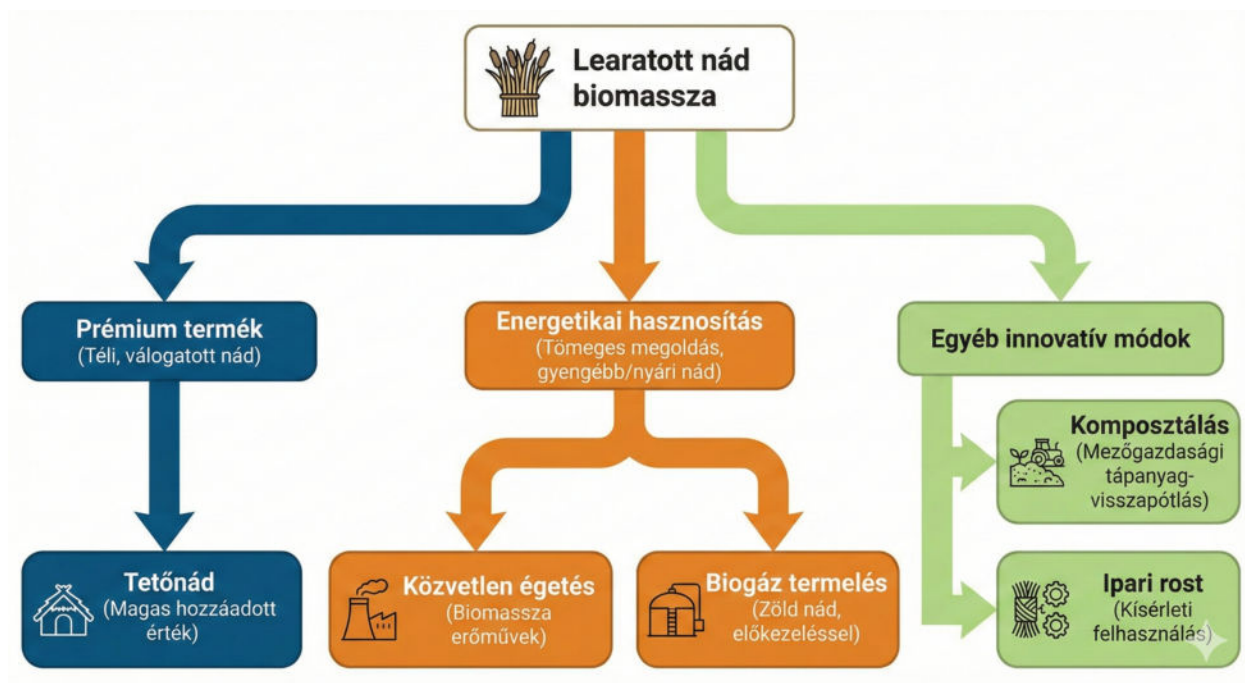
A nádaratás hagyományos gazdasági alapja a tetőnád. Ez a legmagasabb hozzáadott értékű termék. Csak a télen aratott, válogatott, egyenes szálú, érett, 3,5-4 mm falvastagságú nád alkalmas erre. A Fertő tó nádjának minősége (keménysége, szilícium-tartalma) kiváló, világhírű. Ugyanakkor a piacot az olcsó import (kínai, török nád) nyomása és a betakarítás magas költségei jellemzik. A tetőnád-piac igényei (csak a legjobb minőségű nád kell) nem fedik le a tó egészének kezelési igényét (a gyengébb nádat is le kellene vágni a feltöltődés lassítása miatt).⁸

8.2. Energetikai Hasznosítás: A tömeges megoldás

A tetőnádnak nem alkalmas (törött, görbe, rövid), illetve a potenciális nyári aratásból származó nád energetikai hasznosítása jelenti a kiutat a biomassa-felesleg kezelésére.

- **Égetés (Biomassa erőművek):** A nád fűtőértéke (kb. 14-17 MJ/kg szárazanyag) vetekszik a tűzifáéval.³⁰ Közvetlen égetése erőművekben (pl. aprítékként vagy brikettként) lehetséges. Kihívást jelent a nád magas szilícium-, kálium- és klórtartalma, amely az égetőkazánokban salakosodást és korróziót okozhat, ezért gyakran fával keverve (co-firing) alkalmazzák.³²
- **Biogáz:** A nyári, zöld nád biogáz-potenciálja magasabb, mivel a C/N arány kedvezőbb a

fermentációhoz. A téli, fásodott nád lignintartalma magas, ami nehezíti a baktériumok általi bontást a biogáz-üzemekben. Előkezelési technológiákkal (pl. gőzrobbanás, enzimes kezelés) azonban a metánkihozatal növelhető, így a nád a térség (Burgenland) energiafüggetlenségi törekvéseinek részévé válhat.³³



8.3. Egyéb innovatív hasznosítási módok

A körforgásos gazdaság elveit követve kísérletek folynak a nád komposztálására és talajjavítóként való visszajuttatására a mezőgazdaságba (tápanyag-visszapótlás).³⁵ Emellett kutatják az ipari felhasználást: papíripari rostként, építőipari szigetelőanyagként vagy biokompozitok alapanyagaként való alkalmazását.⁹

9. Következtetések és Javaslatok

A Fertő tó nádaratásával kapcsolatos kutatások szintézise alapján a következő akadémiai szintű következtetések és javaslatok fogalmazhatók meg:

9.1. A nádaratás szerepe a feltöltődés lassításában

A nádaratás **bizonyítottan és szignifikánsan képes lassítani a Fertő tó feltöltődését**. Hatásmechanizmusa komplex:

1. **Közvetlen tömegcsökkentés:** Az évi potenciálisan több tízezer tonna biomassza eltávolítása megakadályozza annak tözegesedését a tómederben. Minden 1% aratott terület kb. 1000 tonnával csökkenti a potenciális üledék-képző anyagot.¹⁹
2. **Kémiai kondicionálás (pH-pufferolás):** Az aratással fenntartott nyílt vízfelületek és átjárható csatornák biztosítják a magas pH-jú tóvíz bejutását a nádasba. Ez a "lúgos öblítés" elengedhetetlen a szerves anyag "kétlépcsős lebontási mechanizmusának" fenntartásához, ami mineralizálja a szerves anyagot ahelyett, hogy tőzegként raktározódna.¹⁶



9.2. Tápanyag-körforgás értékelése

Bár a domináns téli aratás kevésbé hatékony a Nitrogén és Foszfor közvetlen eltávolításában, mint a nyári aratás, az *összesített* tápanyag-kivonás mégis jelentős a nagy biotomassza-tömeg miatt. A nyári aratást – a magasabb fajlagos tápanyag-koncentráció miatt – célzottan, vízminőség-védelmi beavatkozásként (pl. befolyó vizek szűrése, degradált zónák rehabilitációja) érdemes alkalmazni, de csak szigorú térbeli és időbeli korlátozások mellett, elkerülve a védett fajok zavarását.

9.3. Kezelési Javaslatok (Management Plan)

A Fertő tó jövője szempontjából elengedhetetlen egy adaptív nádgazdálkodási terv következetes végrehajtása:

1. **Aratási felületek növelése:** A jelenlegi (becsült 10-15%-os) aratási arány növelése szükséges az üledékképződés érdemi lassításához. A beavatkozásokat célzottan a degradálódó ("die-back") területekre és a hidrológiai szempontból kritikus áramlási útvonalakra kell fókuszálni.
2. **Technológiai adaptáció:** A klímaváltozás okozta jégmentes telek miatt elengedhetetlen az állami/pályázati támogatás biztosítása a kisebb talajnyomású, úszó vagy kételtű gépek beszerzésére. Ez biztosítaná, hogy az aratás fagymentes teleken is folytatódhasson a rizómák és az iszapfelszín károsítása nélkül.
3. **Hidrológiai menedzsment:** A nádaratást szervesen össze kell kötni a belső csatornák, tisztások (pászták) és a belső tavak karbantartásával a vízcserre (és a pH-kontroll) biztosítása érdekében. A pangó vizek felszámolása kulcsfontosságú.
4. **Támogatási rendszer reformja:** Mivel a nádaratás közérdekű vízgazdálkodási (feltöltődés lassítása) és természetvédelmi (élőhely-rehabilitáció) szolgáltatás, de piaci alapon egyre kevésbé rentábilis (az olcsó import és a magas költségek miatt), elengedhetetlen a tevékenység célzott állami vagy EU-s támogatása (pl. terület alapú kifizetések az ökológiai célú, nem haszonelvű aratásért).⁷
5. **Kísérleti nyári aratás:** Kisebb, kontrollált területeken (ahol nincs fészkelés, pl. technikai zónák, szennyvíz-bevezetések közelében) érdemes bevezetni a nyári aratást a maximális P-kivonás és a vízminőség javítása érdekében.

Záró gondolat: A Fertő tó nádasainak kezelése nem a "természetbe való durva beavatkozás", hanem egy évezredes, ember és táj közötti egyensúly fenntartása. Aratás és kezelés nélkül a tó jelenlegi formájában – mint nyílt vízfelületekkel tagolt, mozaikos sztyepp-tó – megszűnne létezni, és a szukcesszió felgyorsulásával átadná helyét egy homogén, elmocsarasodó, majd tőzeglappá alakuló rendszernek. A szakszerű, ökológiai alapú nádaratás tehát a tó limnológiai "életbiztosítása".

Felhasznált Források:¹

Idézett munkák

1. A FERTŐ TÓ MAGYARORSZÁGI NÁDASAINAK MINŐSÍTÉSE ÉS OSZTÁLYOZÁSA
THE QUALIFICATION AND CLASSIFICATION OF THE REED STANDS, hozzáférés
dátuma: december 10, 2025,
https://epa.oszk.hu/05500/05592/00012/pdf/EPA05592_mv_k_2013_23-001-032.pdf
2. A Fertő tó földrajza, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.ferto-to.hu/foldrajz.html>
3. A FERTŐ TÓ NÁDÖVE: A TERMÉSZETES SZUKCESSZIÓ ÉS AZ ANTROPOGÉN
KÁROS HATÁSOK KÖZÖTT A különféle nádasok mozaikjának helyreállítása - Issuu,
hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://issuu.com/esterhazy/docs/est22004_neusiedlerseebuch_kurzfassung_hun_einzels/s/21323597
4. Alkalmazott hidrológiai és alapvető limnológiai vizsgálatok Osztrák-magyar
szintézisjelentés - Interreg AT-HU, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.interreg-athu.eu/fileadmin/be_user_uploads/REBEN/REBEN_Szintezisjelentés_HU.pdf
5. Spatial Analysis of Intra-Annual Reed Ecosystem Dynamics at Lake Neusiedl Using
RGB Drone Imagery and Deep Learning - MDPI, hozzáférés dátuma: december
10, 2025, <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/16/3961>
6. Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság 9435 Sarród, Rév-Kócsagvár Tel: 0036
99 537620 e-mail: fhnp@fhnp.kvvm.hu web: fert, hozzáférés dátuma: december
10, 2025,
https://www.ferto-hansag.hu/upload/document/638/nadas_ok_zarojelentes_print_0w29.pdf
7. Water management plan - Wasserportal Burgenland, hozzáférés dátuma:
december 10, 2025,
https://wasser.bglld.gv.at/fileadmin/user_upload/Studien/Neusiedler_See/REBEN_Bericht_8_Managementplan_EN.pdf
8. The utilisation of reed (Phragmites australis): a review - Mires and Peat,
hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.mires-and-peat.net/article/129325.pdf>
9. nádaratási technológiák 2.pdf
10. Appropriate Nutrient Economy in Phragmites australis at Different Phases of
Estuarine Succession - Science Publishing Group, hozzáférés dátuma: december
10, 2025,
<https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.jps.20140204.11>
11. Nutrient retention and nutrient-use efficiency in Phragmites australis stands after
wastewater application | Request PDF - ResearchGate, hozzáférés dátuma:
december 10, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/225788172_Nutrient_retention_and_nutrient-use_efficiency_in_Phragmites_australis_stands_after_wastewater_application
12. Újragondolt Fertő-tó - Rendhagyó kiállítás a Líceumban – Fotók - KISALFOLD, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, <https://www.kisalfold.hu/helyi-kozelet/2025/03/ferto-tervek-epitesz>
 13. *Phragmites australis* + *Typha latifolia* Community Enhanced the Enrichment of Nitrogen and Phosphorus in the Soil of Qin Lake Wetland - PMC - NIH, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5337397/>
 14. Changes of reed parameters and biomass at Lake Fertő/Neusiedler See. - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://www.researchgate.net/figure/Changes-of-reed-parameters-and-biomass-at-Lake-Fertoe-Neusiedler-See_tbl1_225341866
 15. Changes in sediment and sediment interstitial water characteristics in Lake Fertő/Neusiedler See, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, http://opuscula.elte.hu/PDF/Tomus35/Agoston_final.pdf
 16. Effects of pH on aquatic biodegradation processes - BG, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, <https://bg.copernicus.org/preprints/6/491/2009/bgd-6-491-2009-print.pdf>
 17. (PDF) Effects of pH on aquatic biodegradation processes - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://www.researchgate.net/publication/26636840_Effects_of_pH_on_aquatic_biodegradation_processes
 18. Reed Belt Neusiedler See/Fertő - Land Burgenland, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://wasser.bgld.gv.at/fileadmin/user_upload/Studien/Neusiedler_See/REBEN_Bericht_7a_nationale_Synthese_EN.pdf
 19. JELENTŐS VÍZGAZDÁLKODÁSI KÉRDÉSEK 1-2 Rábca és Fertő tó vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység - VIZEINK.HU, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2020/04/1_2_Rabca_Ferto_JVK_2020_EDU_VIZIG_TVT_jovahagyott.pdf
 20. Nutrient removal potential and biomass production by *Phragmites australis* and *Typha latifolia* on European rewetted peat and mineral soils - PubMed, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32795788/>
 21. „A Fertő tó vége?” - Rövid változat by Esterhazy - Issuu, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://issuu.com/esterhazy/docs/est22004_neusiedlerseebuch_kurzfassung_hun_einzels
 22. Munkalapok a természetvédelmi területtel kapcsolatban - Interreg AT-HU, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, https://www.interreg-athu.eu/fileadmin/be_user_uploads/PaNaNetPlus/03_Nationalpark_Ferto-Hansag_HU.pdf
 23. Changes in Nutrient and Fibre Content of Decomposing *Phragmites australis* Litter | Request PDF - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/260670896_Changes_in_Nutrient_and_Fibre_Content_of_Decomposing_Phragmites_australis_Litter
24. Effects of the introduction of pre-treated wastewater in a shallow lake reed stand, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/294138758_Effects_of_the_introduction_of_pre-treated_wastewater_in_a_shallow_lake_reed_stand
 25. Új nádaratási technológiákkal kísérleteztek a Balatonnál - balaton.hu, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://balaton.hu/uj-nadaratasi-technologiakkal-kiserleteztek-a-balatonnal/>
 26. Spatial Analysis of Intra-Annual Reed Ecosystem Dynamics at Lake Neusiedl Using RGB Drone Imagery and Deep Learning - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/373060714_Spatial_Analysis_of_Intra-Annual_Reed_Ecosystem_Dynamics_at_Lake_Neusiedl_using_RGB_Drone_Imagery_and_Deep_Learning
 27. Burning or cutting? Comparing methods for bird conservation in the reedbeds of Lake Neusiedl/Fertő - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/397112550_Burning_or_cutting_Comparing_methods_for_bird_conservation_in_the_reedbeds_of_Lake_NeusiedlFerto
 28. Reed die-back and conservation of small reed birds at Lake Neusiedl, Austria | Request PDF - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/358894749_Reed_die-back_and_conservation_of_small_reed_birds_at_Lake_Neusiedl_Austria
 29. Nádasok használata :: Fertő-Hanság Nemzeti Park -, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.ferto-hansag.hu/hu/gazdalkodoknak/nadasok-hasznalata.html>
 30. A biomassza-dilemma - Magyar Természetvédők Szövetsége, hozzáférés dátuma: december 10, 2025, <https://mtvsz.hu/dynamic/biomassza-dilemma2.pdf>
 31. A biomassza-dilemma - Magyar Természetvédők Szövetsége, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://mtvsz.hu/dynamic/biomassza_dilemma_2010.pdf
 32. Combustion of Reeds in a 3 MW District Heating Plant - Volume 3 Number 4 (Aug.2012), hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.ijesd.org/show-38-501-1.html>
 33. Comparing the Biomass Yield and Biogas Potential of *Phragmites australis* with *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* Grown in Canada - MDPI, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.mdpi.com/1996-1073/11/9/2198>
 34. (PDF) The utilisation of Reed (*Phragmites australis*) – a review - ResearchGate, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/258438591_The_utilisation_of_Reed_Phragmites_australis_-_a_review
 35. BalticReed - Central Baltic Programme, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://centralbaltic.eu/project/balticreed/>
 36. KISLEXIKON | Föld Napja Alapítvány, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,

<https://fna.hu/tudastar/46>

37. Dating of lake sediments by determination of the polonium-210 (lead-210) content - INIS-IAEA, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://inis.iaea.org/records/89hfg-4vn65>
38. Evaluation of the Biomass of Arundo donax L. in the Context of Regional Bioenergetics, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.pjoes.com/pdf-145413-76377?filename=Evaluation%20of%20the%20Biomass.pdf>
39. NP Neusiedler See - Seewinkel | Nationalparks Austria - nationalparksaustria.at | DE, hozzáférés dátuma: december 10, 2025,
<https://www.nationalparksaustria.at/de/nationalpark-neusiedler-see-seewinkel.html>