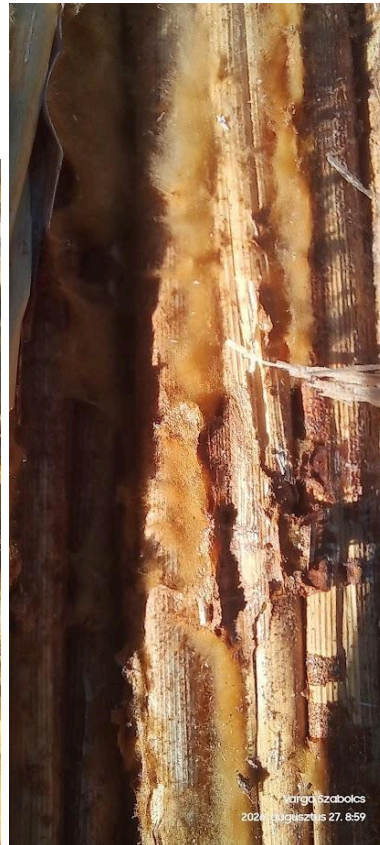


Nádtető-minták mikológiai és anyagromlási elemzése: A korhadást okozó gombafajok azonosítása és károsítási mechanizmusa

A dokumentum mesterséges intelligencia segítségével, a rendelkezésre álló nyilvános forrásanyagok mélyelemzése által került létrehozásra. Minden felelősség kizárva!

Összeállította: Varga Szabolcs, varga.szabolcs@fertotobaratai.eu
2026. augusztus 27.



Makroszkópos diagnosztika és morfológiai kórkép

A benyújtott nádtető-mintákon (*Phragmites australis*, syn. *Phragmites communis*) megfigyelhető elváltozások súlyos, előrehaladott biodeteriorációt és mikrobiális szövetpusztulást mutatnak. A nádszálak felületén és a hosszanti repedések mentén kiterjedt, okkersárga, sárgásbarna, helyenként rozsdabarna árnyalatú micéliumszövedék és kéregszerű gomba-bevonat látható, amely mélyen behatol a szárfalak belső üregrendszerébe is. A növényi szövetek lignocellulóz váza jelentős mechanikai degradációt szenvedett: a szárok hosszanti irányban szálkásan felhasadtak, laminárisan rétegeződnek, elveszítették rugalmasságukat és statikai merevségüket, valamint fokozottan rideggé és morzsalékonnyá váltak.

A kórkép makroszkópos bélyegei a sejtfalszerkezet intenzív enzimatisz hidrolízisére és a kísérő oxidatív bontásra utalnak. A micélium felületi jellege, a színeződés tónusa és a mechanikai roncsolódás mintázata alapján a mintán zajló bomlási folyamat teljes mértékben megegyezik a tetőfedő nádanyagokon leírt felgyorsult, destruktív korhadási formákkal.

Vizsgált morfológiai bélyeg	Makroszkópos megfigyelés a mintán	Diagnosztikai és kártételi értelmezés
Micélium és telepmorfológia	Okkersárga–rozsdabarna, vastag, felületi és rétegek közötti szövedék	A <i>Coniophora puteana</i> vagy reszupinátus <i>Corticaceae</i> telepek tipikus megjelenése
Szárszerkezeti integritás	Hosszirányú felhasadás, szálkásodás, üreges szétnyílás	A cellulóz- és hemicellulóz-láncok kiterjedt lebomlása
Gomba kolonizációs mélysége	Külső epidermisz, szárfalbel és a belső parenchima réteg	Szisztematikus hifa-penetráció a szár teljes keresztmetszetében
Makroszkópos korhadási típus	Sárgás foltosodás, rostos mállás és töredezettség	Primer barnakorhadás, kísérő fehérkorhadási folyamatokkal

A károsító gombafajok taxonómiai besorolása és differenciáldiagnózisa

A makroszkópos elváltozások, a jellegzetes sárgás-okker színű vegetatív szövedék és a nádszövet mélyreható szerkezeti destrukciója alapján a mintán azonosítható primer kórokozó nagy valószínűséggel a **pincegomba** (*Coniophora puteana*, syn. *Coniophora cerebella*), amely mellett a nádtetők jellegzetes kísérő bazídiumos és aszkuszos gombaflórája is jelen van.

A *Coniophora puteana* (Basidiomycota, Coniophoraceae) épületfa- és növényi szerkezetkárosító bazídiumos nagygomba, amely a nádtetők mikrobiális közösségében kiemelkedően agresszív patogénként viselkedik. A fertőzött nádon kezdetben jellegzetes sárgás felületi foltokat, majd a szálak belsejében sárgásbarna, vaskos micéliumot képez. Tipikus barnakorhadást (*Braunfäule*) idéz elő, amelynek során enzimrendszere kizárólag a cellulózt és a hemicellulózt hidrolizálja, a ligninvázat módosított, de nagyrészt emésztetlen formában hagyja hátra. Ez a biokémiai specifikus magyarázza a szárfalak törékennyé válását és hosszanti repedezését. A *Coniophora puteana* virulenciája rendkívüli: kísérleti adatok tanúsága szerint a

nádszövetben négy hónap alatt 40%-os, hat hónap leforgása alatt pedig akár 70%-os száraztömeg-vesztést képes okozni, miközben kiválóan adaptálódott az ingadozó nedvességtartalmú mikroklímához.

A nádtetők biodeteriorációja során a primer fertőzést gyakran szinergikus vagy szukcessziós gombaközösségek kísérik, amelyek tovább gyorsítják a szár teljes szétesését. A *Mycena* nemzetség fajai – különösen a *Mycena epipterygia*, a *Mycena arcangeliana*, a *Mycena galopus* és a *Mycena sanguinolenta* – a tetőfedő nád természetes és opportunista lebontói közé tartoznak. Ezek a fajok fehérkorhadást okoznak, és képesek mind a lignint, mind a poliszacharidokat bontani, mintegy 7,8–17,2%-os tömegvesztést indukálva 70 nap alatt. Hasonlóan agresszív fehérkorhadást idéz elő a *Phlebia tremellosa* (syn. *Merulius tremellosus*), amelynek nádtetőkről izolált törzsei alig 96 óra leforgása alatt képesek bevonni a szárak külső és belső felszínét, és 70 napos expozíció során 20–73%-os szárazanyag-csökkenést eredményeznek.

Ezek mellett a kérgestapló-félék és kéregképző gombák (*Corticiaceae* család) lapos, felületi termőtestjeikkel és felületi micéliumukkal közvetlenül felelősek a szárfalak fehérkorhadás-jellegű szálkásodásáért, míg az *Antrodia* és *Trametes* fajok a tartósan nedves belső nádrétegek lokális pusztulását mélyítik el.

Kórokozó taxon	Rendszertani csoport	Korhadási típus	Támadott polimer komponens	Diagnosztikai morfológia a nádon	Lebontási kapacitás és dinamika
<i>Coniophora puteana</i>	Basidiomycota, Coniophoraceae	Barnakorhadás	Cellulóz, hemicellulóz	Sárgás foltok, sárgásbarna micélium a szálak belsejében, rideg szártörés	40–70% tömegvesztésig 4–6 hónap alatt
<i>Mycena spp.</i>	Basidiomycota, Mycenaceae	Fehérkorhadás	Lignin, cellulóz, hemicellulóz	Apró kalapos bazídiometestek, fehéres szálkásodás a szárvégeken	7,8–17,2% tömegvesztésig 70 nap alatt
<i>Phlebia tremellosa</i>	Basidiomycota, Meruliaceae	Fehérkorhadás	Lignin (MnP enzimút), cellulóz	Reszupinátus/edős felületi bevonat, csúcsi szárrészek szétesése	20–73% tömegvesztésig 70 nap alatt
<i>Corticiaceae spp.</i>	Basidiomycota, Corticiaceae	Fehérkorhadás – szerű	Lignocellulóz mátrix	Kéregszerű, sima vagy rücskös felületi bevonat a nádkévék mélyén	Közepes–gyors lokális szövetszétesés
<i>Antrodia spp.</i>	Basidiomycota, Fomitopsidaceae	Barnakorhadás	Cellulóz, hemicellulóz	Sűrű mikroszkopikus micéliumkötegek a szárfalban	Hosszanti szétnyílás, strukturális teherbírásveszt

Kórokozó taxon	Rendszertani csoport	Korhadási típus	Támadott polimer komponens	Diagnosztikai morfológia a nádon	Lebontási kapacitás és dinamika
					és

Biokémiai és anyagszerkezeti lebontási folyamatok

A tetőfedő közönséges nád szárának szilárdságát a lignocellulóz kompozit szerkezet biztosítja, amelynek átlagos kémiai összetétele nyerscellulózból (51,5 \pm 2,3\%), nyers hemicellulózból (26,9 \pm 2,3\%) és nyers ligninből (11,9 \pm 1,3\%) áll, hozzávetőlegesen 290-es átlagos C/N arány mellett. A lignin hidrofób, merevítő hálózatként védi a poliszacharid láncokat a mikrobiális támadásokkal szemben.

A gombás kolonizáció során az enzimatikus destrukció két egymást kiegészítő útvonalon halad. A *Coniophora puteana* által dominált barnakorhadási útvonalon a gomba hidrolitikus endo- és exo-glükánázokat, valamint xilanázokat választ ki, amelyek mélyen behatolnak a szekunder sejtfalba, és szelektíven depolimerizálják a cellulóz- és hemicellulóz-molekulákat. Mivel a merevítő ligninváz nagyrészt intact marad, a nádszál belső kohéziója megszűnik, és az anyag mikroszkopikusan törékennyé, makroszkóposan hosszanti bordák mentén szétesővé válik. A kísérő fehérkorhadást okozó gombák (*Mycena*, *Phlebia*) jelenléte a lebomlás sebességét drasztikusan felerősíti. Ezek a bazídiumos taxonok extracelluláris ligninolitikus enzimeket – mangán-peroxidázt (MnP, aktivitása elérheti a 635,9 \text{nmol} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} értéket), lakkázt és lignin-peroxidázt (LiP) – termelnek. Az oxidatív lignindegeneráció áttöri a nád sejtfalának természetes védőgátját, aminek hatására a hozzáférhetővé vált cellulóz és hemicellulóz azonnal masszív hidrolízist szenved. Ez a szinergia megmagyarázza, hogy a nádtetőkön mért teljes száraztömeg-veszteség (>70\%) miért haladja meg jelentősen a nyers nád eredeti lignintartalmát (ca. 12\text{--}15\%).

Környezeti, épületfizikai és anyagminőségi kockázati tényezők

A nádtetők mikrobiális fertőződését és a korhadás gyorsulását alapvetően meghatározzák a tetőszerkezet épületfizikai paraméterei és a nád alapanyagának tulajdonságai. A természetes körülmények között 40–60 évig tartó élettartam nem megfelelő környezeti feltételek mellett 3–10 évre csökkenhet.

A legfontosabb károsító tényező a tartós nedvességtartalom és az elégtelen száradás. A modern tetőfedési hibák – mint a túltömörített nádréteg, a nem megfelelő szellőző légrések kialakítása, vagy a párafékező fóliák hibás beépítése – miatt a csapadékvíz 15–20 cm mélyre hatolhat a fedésbe. Ez a mély zóna nem képes kiszáradni, így állandó mikroklimát és nedvességet nyújt a farontó gombák szaporodásához.

A tető hajlásszöge közvetlen kapcsolatban áll a belső kárzónák migrációjával. A nádtető rétegeiben három jól elkülöníthető zóna alakul ki: a belső mikrobiális zóna, a középső biológiai zóna és a külső abiotikus eróziós zóna. Míg a meredek (45\text{--}60^\circ) lejtésű tetőkön a belső mikrobiális zóna stabilan a tető mélyén (ca. 20\text{ cm}-re a felszíntől) marad, addig az alacsony lejtésű (30^\circ) tetőkön a zónák gyorsan befelé vándorolnak, és a teljes

keresztmetszet átfertőződik.

A mikrobiális degradáció intenzitása szorosan összefügg a hőmérséklettel és a nád kémiai tulajdonságaival is. A lebontó gombák aktivitása pH 4 és 8 között stabil, optimális hőmérsékletük pedig 25 és 30 °C közé esik. A környezeti nitrogénterhelés és az eutrofizálódott vizekből származó, magas N-tartalmú (alacsony C/N arányú), vastag szárú nádak lignifikációja gyengébb, ami 9–16%-kal fokozza a gombás tömegveszteség ütemét a természetes, magasan fásodott nádtípusokhoz képest.

Épületfizikai / Kémiai paraméter	Optimális érték a szerkezetvédelemhez	Kockázati érték a gomba megtelepedéséhez	Károsodási mechanizmus a nádszövetben
Nedvességtartalom és száradás	Időszakos nedvesedés, gyors felületi kiszáradás	Tartós nedvesség $15\text{--}20\text{ cm}$ mélységben	Állandó hifanövekedés a belső légrésekben
Tető hajlásszöge	$45^\circ\text{--}60^\circ$	30° (start_span)[span_99](end_span) 40°	Lassú felületi lefolyás, a degradációs zónák gyors mélyülése
Réteghőmérséklet	Szélsőséges ingadozás, időszakos átszellőzés	$25\text{--}30^\circ\text{C}$ tartós állandóság	Csúcsra járatott enzimm kiválasztás és szárroncsolás
Alapanyag lignifikációja	Magas lignintartalom ($>12\%$), vékony szárfal	Alacsony lignintartalom, vastag/puha szár	Fokozott érzékenység a celluláz és lakkáz támadásra
Nitrogénterhelés (NH₄⁺ tartalom)	Alacsony tápanyagszint, magas C/N arány	Eutrofizált termőhely, alacsony C/N arány	Akár 16%-os tömegveszteség-gyorsulás

Kárfelszámolás, megelőzés és szerkezetvédelmi stratégiák

A bemutatott minták súlyos szerkezeti károsodása alapján a tető állagmegóvása összetett kárfelszámolási és megelőzési intézkedéssorozatot tesz szükségessé.

A fertőzött, felpuhult és sárgásbarna micéliummal átszőtt nádréteget mechanikusan vissza kell bontani a teljesen ép, száraz és szerkezetileg szilárd rétegegig. A lokális javítások során meg kell szüntetni az összes olyan beázási pontot és szerkezeti torlódást, amely gátolja a csapadékvíz gyors lefutását.

A mechanikai tisztítást követően a felületet és a határoló nádrétegeket speciális, mélyre hatoló, a farontó és növényi rostokat károsító gombák ellen bevizsgált biocid készítménnyel, valamint kombinált gomba- és tűzgátló impregnálószerrel kell kezelni. Az impregnálás jelentősen lecsökkenti a spórák csírázási képességét és megakadályozza a micélium újbóli expanzióját. Hosszú távú megelőzésként a tető átszellőzését szerkezetileg újra kell szabályozni: el kell távolítani a légmozgást blokkoló tömör rétegeket, és biztosítani kell az alsó kiszellőző légrést.

Újrafedés vagy felújítás esetén kiemelt figyelmet kell fordítani a beépített nád minőségére: kizárólag télen aratott, jól beérett, kemény falú, magas lignintartalmú nádkévéket szabad felhasználni. A tetőszerkezet kialakításánál lehetőség szerint törekedni kell a legalább 45°-os hajlásszög megtartására, amely biztosítja a csapadék elvezetését a degradációs zónák mélyre hatolása előtt.

Szintézis és diagnosztikai konklúzió

A beküldött mintákon azonosított kórkép hátterében a **pincegomba (*Coniophora puteana*)** által előidézett romboló barnakorhadás áll mint primer károsító tényező, amelyet a nádtetők természetes lignocellulóz-bontó gombái (*Mycena spp.*, *Phlebia tremellosa*, valamint a *Corticaceae* család képviselői) szinergikus fehérkorhadásos tevékenységükkel kísérik. A kárfolyamat közvetlen kiváltó oka a nádréteg mélyének tartós nedvessége és az elégtelen átszellőzés. A tető további funkcióvesztésének megakadályozása kizárólag a roncsolt részek mély visszabontásával, a szellőzés épületfizikai helyreállításával és célzott fungicid kezeléssel érhető el.

Idézett munkák

1. The deterioration of thatched roofs | Request PDF - ResearchGate, https://www.researchgate.net/publication/222766068_The_deterioration_of_thatched_roofs
2. Biologische Schädigungen an Reet gedeckten Häusern in, <https://efiglobal.de/media/50333/biologische-sch%C3%A4den-an-reet-gedeckten-h%C3%A4usern.pdf>
3. Decay of the water reed *Phragmites communis* caused by the white, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29082419/>
4. NATIONAL SOCIETY OF MASTER THATCHERS LIMITED, <https://nsmtltd.co.uk/wp-content/uploads/2019/12/Natural-Decay-in-Water-Reed.pdf>
5. Characterization of fungi of the genus *Mycena* isolated from houses, https://www.researchgate.net/publication/267929195_Characterization_of_fungi_of_the_genus_Mycena_isolated_from_houses_thatched_with_Phragmites_communis_Trin_in_Northern_Germany_Enzyme_pattern_and_reed_decay
6. Provenances and properties of thatching reed (*Phragmites australis*), <https://d-nb.info/1101843063/34>
7. Provenances and properties of thatching reed (*Phragmites Australis*), https://www.researchgate.net/publication/299215445_Provenances_and_properties_of_thatching_reed_Phragmites_Australis
8. The macrofungi and decay of roofs thatched with water reed, <https://www.cambridge.org/core/journals/mycological-research/article/macrofungi-and-decay-of-roofs-thatched-with-water-reed-phragmites-australis/25AF980894FCB1D1FC45740189CE5F18>
9. Javítás - Karbantartás - Felújítás - Nádtető készítés, <https://www.nadtetohungary.hu/javitas>
10. Vier Buchstaben, die über die Lebensdauer Ihrer Holzbrücke, <https://baudenkplan.de/wissen/holzbruecke-less.html>
11. Tető Beázás Javítás: Tippek a Szakmai Megoldáshoz - JEPI Bt., <https://jepibt.hu/teto-beazas-javitas/>
12. Nádtető impregnálás - Szirányi Csaba nádtetőfedő, <https://nadteto-fedes.hu/hu/szolgaltatasaim/nadteto-impregnalas/>
13. Hagyományos nádtetők - Innovatív Solution Kft., <https://innovativsolution.hu/hagyomanyos-nadtetok/>