

Az *Aspergillus niger* fonalas penészgomba hatásai az AISI 304 rozsdamentes acél korróziójára

Aspergillus niger filamentous fungi initiated corrosion of AISI304 stainless steel

dr. LINGVAY József¹, MITREA Sorina¹, LINGVAY Mónika^{2,3}, dr. SZATMÁRI Ilona⁴

¹INC DIE ICPE-CA, Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézete, Bukarest, Románia

²MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Növénybiológiai Intézet, Szeged, Magyarország

³Szegedi Tudományegyetem - Fizika Doktori Iskola, Szeged, Magyarország

⁴Orbán Balázs Gimnázium, Székelykeresztúr, Románia

Összefoglaló: Az AISI 304 ausztenites hengerelt acéllemez korrózióját tanulmányoztuk, elektrokémiai (polarizációs görbék felvételével és elektrokémiai impedancia spektroszkópia – EIS mérésekkel valamint, gravimetriás és röntgen-fluoreszcenciás spektrometriás – XRF módszerekkel, steril és *Aspergillus niger* spórákkal beoltott „A” (szacharózt nem tartalmazó) és „B” (szacharózt tartalmazó) Czapek–Dox oldatokban és gélekben. Az elektrokémiai mérések azt mutatták, hogy az *Aspergillus niger* spórákkal beoltott oldatokban a próbalemez felületén penészgombatelep fejlődik, és a korróziósebesség számottevően megnő (3,4-szer az „A” szacharóz nélküli oldatban és 6,8-szor a „B” szacharózt tartalmazó oldatban). A gravimetriás és XRF meghatározások kimutatták, hogy az „A” gélben a korróziósebesség 4,2-szer és a „B” gélben 12,2-szer nagyobb az *Aspergillus niger* hatására.

Kulcsszavak: ausztenites acél, korrózió, *Aspergillus niger*, szacharóz

Abstract: AISI 304 stainless steel's corrosion in sterile and inoculated with *Aspergillus niger* Czapek-Dox “A” (without sucrose) and “B” (with sucrose) solutions was studied by electrochemical measurements (potentiostatic and electrochemical impedance spectroscopy), and in Czapek-Dox gels by gravimetric techniques (weight loss measurements) and X-ray Fluorescence Spectroscopy – XRF (determination of copper content). From the electrochemical determinations results that, in the solutions inoculated with *Aspergillus niger* spores, a biofilm develops on the surface of the samples and the corrosion rate increases substantially, with about 3.4 x in solution “A” (without sucrose) and with about 6,8 x in solution “B” (containing sucrose). From the gravimetric and XRF determinations results that the corrosion rate increases substantially due to *Aspergillus niger* – with about 4.2 x in gel “A” (without sucrose) and with about 12.2 x in gel containing sucrose “B”.

Key words: stainless steel, corrosion, *Aspergillus niger*, sucrose

1. Bevezető

A hengerelt rozsdamentes acél termékeket számottevő mennyiségben alkalmazzák a különböző szerelvények, berendezések kivitelezésénél – ideértve az élelmiszeripari berendezéseket valamint a gyógyszeriparban használt bioreaktorokat is. Ezekben a berendezésekben a fémfelület kölcsönhatásba kerül a mosásnál használt fertőtlenítőszerrel, a feldolgozott termékekkel, valamint a mikroorganizmusokkal [1–3].

A mikroorganizmusok által okozott korróziós folyamatok első fázisában baktériumok telepednek meg a fém felületén és kolóniákat, majd kiterjedt telepeket képeznek. Ezek a kolóniák és

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

telepek a fémfelület korróziós károsodását okozzák, amit a szakirodalom mikrobiológiailag gerjesztett korrózióként (microbiologically induced corrosion MIC) emleget [4–6].

A feketepenyész (*Aspergillus niger*) egy nagyon toleráns fonalas penészgomba. A természetben elterjedt, szinte mindenütt jelen van. Xenotoleráns (széles határookban ellenáll a mérgező anyagoknak), 10 – 50°C hőmérsékleten, mind savas, mind lúgos (pH 2 – 10), akár 34% sótartalmú közegekben is képes szaporodni [7]. Nagy az ellenálló képessége a gyomirtó és növényvédő szerekkel szemben [8]. Széles koncentrációs határookban ellenáll a mérgező nehézfémionoknak (réz, ólom, króm, kadmium stb.), amelyeket kivonja a táptalajból majd fonalaiban és konídiumaiban felhalmozza [8, 9, 10].

A feketepenyész valamint metabolikus termékeinek (főleg citromsav [11]) hatásait különböző fémek korróziójára, valamint különböző anyagok rongálódására több tanulmányban vizsgálták. A leírt laboratóriumi vizsgálatok és esettanulmányok kimutatták, hogy a feketepenyésznek számottevő fémkorróziót gyorsító [3, 12–20], valamint a műanyagokat [21–24] és a betonszerkezeteket [25, 26] rongáló hatása van.

Mindezeket figyelembe véve a *dolgozat célja* kísérletileg tanulmányozni az *Aspergillus niger* fonalas penészgomba hatásait az AISI 304 rozsdamentes acél korróziójára mind folyékony, mind géles Czapek–Dox típusú oldatokban és gélekben.

2. Kísérleti rész – anyag és módszer

Az AISI 304 ausztenites acéllemez (0,3 mm vastagságú) korrózióját tanulmányoztuk mind steril, mind *Aspergillus niger* (ATCC 16404) spórákkal beoltott Czapek Doxoldatokban és gélekben. A megvizsgált acéllemez, szabvány [27] szerinti összetétele az 1. Táblázatban látható.

1. Táblázat. A megvizsgált AISI 304 acéllemez összetétele [27]

Elem	Fe	C	Cr	Ni	Mn	P	S	Si
Tartalom [%]	66,345 – 74,0	Max. 0,08	18 - 20	8 - 10,5	Max 2	Max 0.045	Max. 0,03	Max.1,0

A próbalemezek korróziós viselkedését a megadott közegekben elektrokémiai, gravimetriás és röntgenfluoreszcenciás spektrometriás módszerekkel vizsgáltuk. A mintákon időnként mikrobiológiai megfigyeléseket végeztünk.

A folyékony, Czapek–Dox típusú tápoldatokban VoltaLab 40 berendezéssel mért polarizációs görbék adatait VoltaMaster 4 programmal értékeltük. Az elektrokémiai mérések egy klasszikus 3 elektródás elektrokémiai cellában történtek – próba-/munkaelektrod 10 x 100mm-es 0,5 mm vastag AISI 304 márkájú acéllemez; segédelektrod – Ø 10mm, 100mm hosszú grafitrud; referenciaelektrod SCE – telített kalomel elektrod. A próbalemezek súlyvesztéseit digitális analitikai mérleggel (típus: HR-200-EC – A&D Instruments Ltd.) határoztuk meg. A tápoldatok valamint a táptalaj (gél) fémtartalmának (Fe, Cr és Ni) időbeni változását röntgenfluoreszcenciás spektrometriás (XRF) mérésekkel határoztuk meg egy Bruker S8 Tiger típusú berendezéssel.

A meghatározások, a [28] szerint megadott „A” (tápkarbont, szacharózt nem tartalmazó) és „B” (szacharózt tartalmazó) Czapek–Dox típusú táptalaj oldatokban és gélben történtek, sterilizált (referencia) és *Aspergillus niger* (ATCC 16404) spórákkal beoltott közegekben.

A használt „A” alapoldat összetétele: 2g nátrium nitrát (Na_2NO_3); 0,7g monokálium foszfát (KH_2PO_4); 0,3g dikálim foszfát (K_2HPO_4); 0,5g kálim klorid (KCl); 0,5g hidratált magnézium szulfát ($\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$); 0,01g vas(II)-szulfát (FeSO_4) és 1000ml desztillált víz. A „B” oldat, az

„A” oldatból készült, 30 g szacharóz hozzáadásával. A folyékony „A” és „B” táptalajok esetében 5g agar-agar, a gél táptalajoknál 30g agar-agart adagoltunk literenként az alapoldathoz.

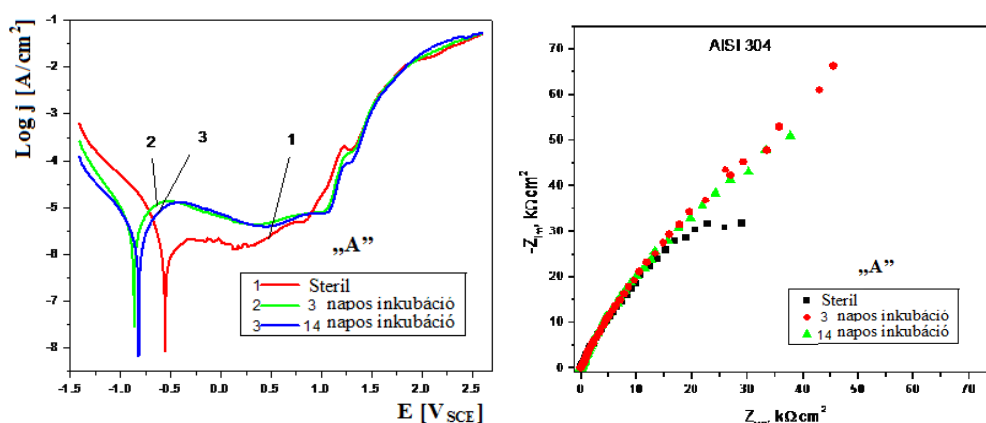
Az oldatokat és az eszközöket (elektrodák, edények stb.) autoklávban sterilizáltuk, (110°C-on, 5bar, 30 perc) A meghatározások ideje alatt, valamint a meghatározások között, a folyékony tápoldattal feltöltött elektrokémiai mérőcellát 23±2°C-on tartottuk.

A gél állapotban levő táptalajok esetében a megmért AISI 304 próbalemezeket (összfelület 88cm² – 11. ábra) Petri csészébe helyeztük, majd adott (mért) mennyiségű (65g) táptalaj géllal befedve és inkubálva (30±2°C-on és 90±5% RH nedvességtartalmú környezetben).

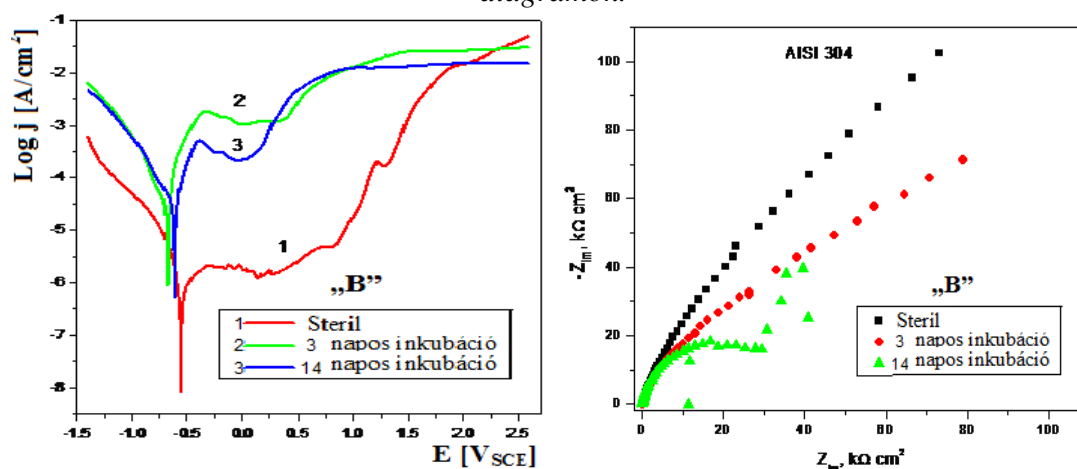
A próbalemezek felületét valamint a penésztelepek fejlődését időnként, DINOLITE kamerával ellátott mikroszkóppal figyeltük meg és fényképeztük.

3. Kísérleti eredmények és azok értelmezése

A steril valamint az *A. niger* spórákkal beoltott folyékony Czapek–Dox ásványi oldatokban felvett polarizációs görbék és Nyquist diagramok az 1. és 2. ábrákon vannak bemutatva.



1. ábra. A szacharózt nem tartalmazó Czapek–Dox oldatban felvett polarizációs görbék és Nyquist diagramok.



2. ábra. A szacharózt tartalmazó Czapek–Dox oldatban felvett polarizációs görbék és Nyquist diagramok.

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

Az 1. és a 2. ábrák polarizációs görbéiből megállapítható, hogy a steril és az *A. niger* spórákkal beoltott oldatokban, az AISI 304 lemez katódos polarizációjakor első lépésként ($-0,55V_{ESC}$ és $-1V_{ESC}$ között) az oldott oxigén redukálódik az oldatban

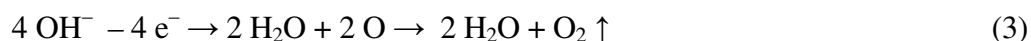


majd, $-1V_{ESC}$ -nél negatívabb elektródpotenciál értékeknél hidrogénion redukálódik és hidrogén keletkezik:



Az (1) és (2) katódos folyamat sebességét a töltésátlépés határozza meg.

Anódos polarizációnál, steril oldatokban az AISI 304 lemez felületén, $-0,3V_{ESC}$ és $0,8V_{ESC}$ között, egy kompakt, passzív, $1\mu A/cm^2$ határáramú oxidfilm képződik. A képződött oxidréteg transzpasszív oldódása után, $1,25 V_{ESC}$ -től az AISI 304 oldódási sebességét egy $30\mu A/cm^2$ diffúziós határáram korlátozza, majd $1,35V_{ESC}$ -nél pozitívabb polarizációknál meghatározó a hidroxidion oxidációja és az oxigén képződése:



Az 1. és 2. ábrákból megállapítható, hogy a feketepenész hatására az AISI 304 rozsdamentes acél korróziós potenciáljai negatívabb értékek felé tolódnak el (kb. $0,3V$ -al a szacharózt nem tartalmazó „A”, illetve $0,15V$ -al a szacharózt tartalmazó „B” oldatban). Katódos polarizációnál az „A” oldatban az (1) és (2) folyamatok lassabbak, mint a steril oldatban (azonos potenciálokon az áramsűrűségek kisebbek), ami arra utal, hogy az „A” oldatban képződött biofilm kompakt és gátolja az O_2 illetve a H_3O^+ ionok diffúzióját a töltésátlépés helye felé (az acéllemez felülete). A szacharózt tartalmazó „B” oldatban az (1) és (2) folyamatok gyorsabbak, mint a steril oldatban, ami azzal magyarázható, hogy a feketepenész metabolizmusa sokkal gyorsabb ebben a közegben, mint az „A” oldatban. Ebből kifolyólag, sokkal nagyobb mennyiségű metabolizmus termék (CO_2 és szerves savak – főleg citromsav [11]) keletkezik, amelyek felgyorsítják a katódos folyamatokat. Anódos polarizációnál a képződött oxidfilm határáramai sokkal nagyobbak, mint a steril oldatokban (egy nagyságrenddel az „A” oldatban és 3 nagyságrenddel a „B” oldatban).

2. Táblázat. Az AISI 304 ausztenites acél korróziójának főbb kinetikai paraméterei steril és *Aspergillus niger* spórákkal beoltott oldatokban.

Oldat/közeg	E_{korr} [V _{SCE}]	J_{korr} [$\mu A/cm^2$]	b_c [V/dekád]	b_a [V/dekád]	R_p [Ωcm^2]	v_{korr} [mm/év]
steril „A”	-0,55	0,82	-0,06	0,18	15.218	0,05
„A” 3 napos inkubáció	-0,86	3,34	-0,10	0,26	4.521	0,20
„A” 14 napos inkubáció	-0,85	2,82	-0,09	0,25	3.817	0,17
steril „B”	-0,56	0,60	-0,07	0,18	21.181	0,04
„B” 3 napos inkubáció	-0,63	3,98	-0,12	0,27	3.203	0,24
„B” 14 napos inkubáció	-0,80	4,07	-0,11	0,28	3.132	0,25

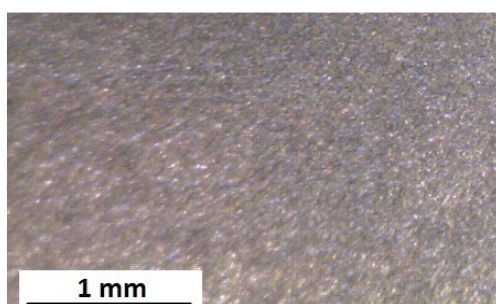
Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

Ugyancsak megállapítható, hogy a „B” oldatban a képződött oxidfilmnek nem csak a határárama sokkal nagyobb, mint az „A” oldatban, hanem a stabilitása is sokkal kisebb (mindössze kb. 0,5V-os potenciáltartomány, az „A” oldatban kapott kb. 1,2V-hoz képest).

A leírt kísérleti körülmények között kapott, az AISI 304 ausztenites acél korróziójára jellemző főbb kinetikai paramétereket az 2. táblázatban összegeztük.

A 2. táblázat adataiból megállapítható, hogy steril oldatokban az AISI 304 polarizációs ellenállása aránylag nagy (több mint $15 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$), valamint az, hogy a feketepenész hatására a polarizációs ellenállás számottevően lecsökken és ennek megfelelően nő az acéllemez korróziós sebessége.

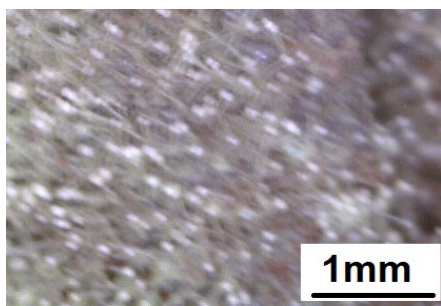
Az „A” és „B” oldatokba merített AISI 304 acél lemezekről készített fevételek, a mikrobiológiai meghatározások előtt, közben és után a 3. – 9. ábrákban láthatóak.



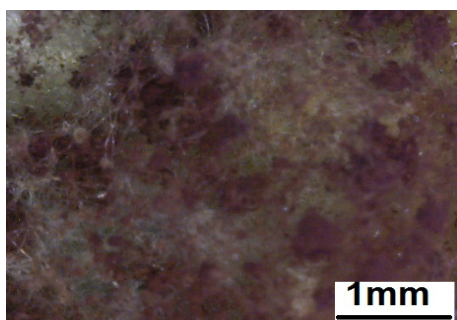
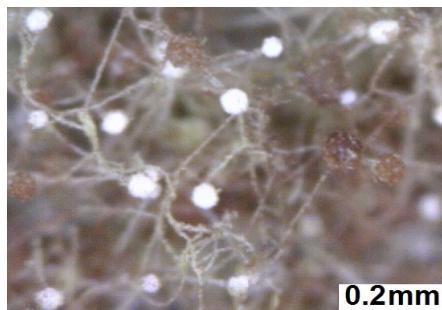
3. ábra. Az AISI 304 próbalemez bemerítés előtt



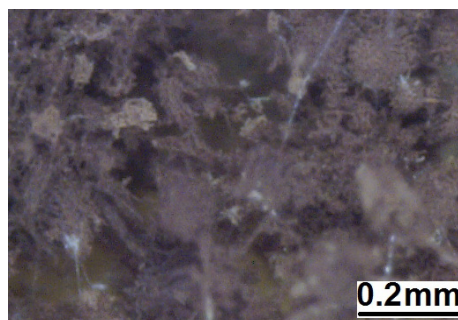
4. ábra. 14 napos merítés steril „A” oldatban



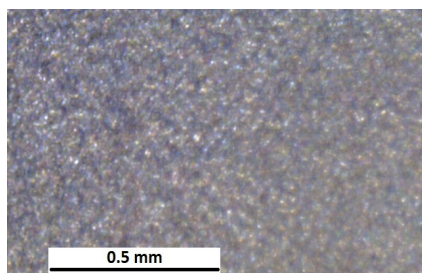
5. ábra. „A” oldatban, 3 nap inkubáció az *Aspergillus niger* spórákkal való beoltás után



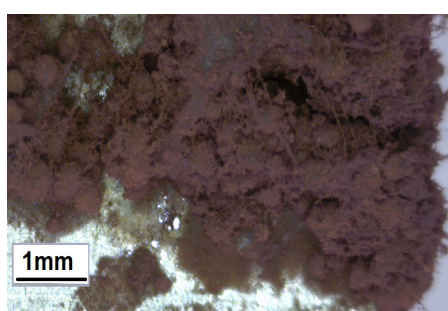
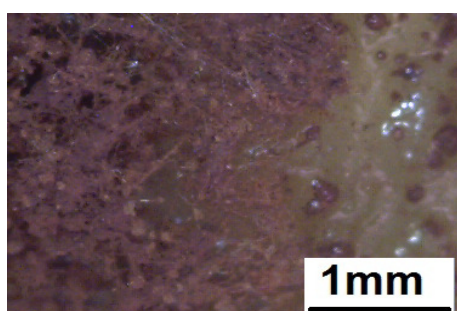
6. ábra. „A” oldatban, 8 nap inkubáció az *Aspergillus niger* spórákkal való beoltás után



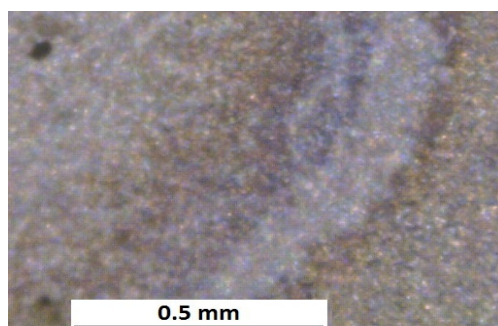
Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34



7. ábra. 14 napos merítés steril „B” oldatban



8. ábra. „B” oldatban, 8 nap az *Aspergillus niger* spórákkal való beoltás után

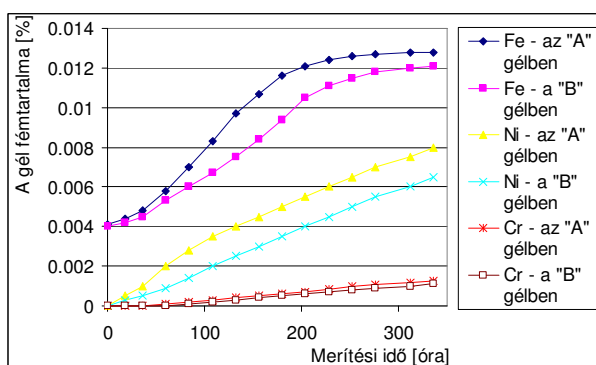


9. ábra. Az AISI 304 próbalemez „B” oldatban, 3 nap inkubáció – a keletkezett biomassza eltávolítása után

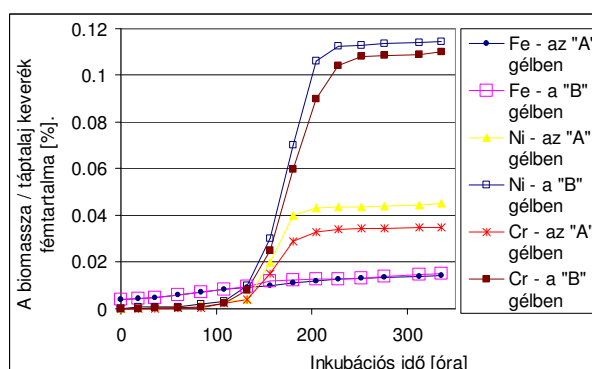
A 2. táblázat adataiból valamint a 3. – 9. ábrák felvételeiből megállapítható, hogy a szacharózt nem tartalmazó steril „A” oldat korrozívabb, mint a szacharózt tartalmazó steril „B” oldat – 14 napi merítés után az „A” oldatban a felület szemcsézettsége (4. ábra) változott az eredeti állapothoz képest (3. ábra) – a „B” oldatban (7. ábra) a felületen számottevő változások nincsenek. Az „A” oldatban képződött biofilm (6. ábra) kompakt (tömör), a korróziós termékek csak nehezen hatolnak át rajta (a korróziósebességet a diffúzió korlátozza). Ezzel ellentétben, a „B” oldatban, a szacharóz hatására képződött aránylag vastag biofilm (8. ábra) szerkezete spongya jellegű (nem tömör), a diffúziót nem korlátozza és ebből kifolyólag, valamint a nagyobb mennyiségben képződött szerves savak (a metabolizmus termékei) hatására a korróziós sebesség számottevően nagyobb, mint az „A” oldatban.

Az XRF meghatározások eredményeit, illetve a steril táptalaj gélek és a biomassza / táptalaj keverék Fe, Ni és Cr tartalmának időbeni változásait a 10. és a 11. ábrák szemléltetik.

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34



10. ábra. A megvizsgált steril gélek fémtartalmának időbeni alakulása



11. ábra. A keletkezett biomassza / táptalaj keverék fémtartalmának időbeni alakulása

A 10. ábrából megállapítható, hogy a vizsgált steril gélek elsősorban a vasat oldják ki az AISI 304 próbalemezből. Az első 36 órában mindkét gélben, a vas oldódási sebessége aránylag kicsi. Az „A” gélben $1,26 \cdot 10^{-5}$ g/h, majd 200. óráig a vas oldódási sebessége $2,810^{-5}$ g/h, és ezután lecsökken $3,45 \cdot 10^{-6}$ g/h értékre. 336 órás kezelés után a steril „A” gél vastartalma eléri a 0,0128%-ot, a „B” gél pedig a 0,0121%-t. Mindez azt sugallja, hogy a folyamat korróziós göcök kialakulásával indul el (36 óra), ami után az oldódási sebesség kb. $2,8 \cdot 10^{-5}$ g/h, ameddig a korlátolt mennyiségű gél (65g) telítődik Fe^{2+} ionokkal és ennek következtében a (4) egyensúly eltolódik balra:



A Ni és a Cr oldódási sebessége a steril gélekben aránylag kicsi (Ni: $1,45 \cdot 10^{-5}$ g/h; Cr: $2,48 \cdot 10^{-6}$ g/h) és a megadott kísérleti körülmények között nem korlátozódik – tehát 336 óra után a 65 g táptalaj nem telítődik Ni és/vagy Cr ionokkal. 336 órás kezelés után a steril „A” gél 0,008% nikkelt és 0,00128% krómot tartalmaz, a „B” gél pedig 0,0065% nikkelt és 0,0011% krómot

A 11. ábrából megállapítható, hogy a feketepénész hatására az AISI 304 próbalemezekből kioldott vas mennyisége számottevően nem változik (336 órás kölcsönhatás után a steril „A” gél 0,0128% és a „B” gél 0,0121% vasat tartalmaz – az *A. niger* spórákkal beoltott táptalajok 336 órás inkubáció után (biomassza) „A” 0,0141% és „B” 0,015% vasat tartalmaznak, ami csak kb. 1,1-szeres, illetve 1,24-szeres növekedésnek felel meg), viszont a kioldott Ni és Cr nagymértékben megnő. A kísérleti adatok azt mutatják, hogy az *A. niger* 336 órás inkubációja következtében az „A” táptalaj esetében a biomassza Ni tartalma 0,045% (a steril „A”: 0,008%-hoz képest kb. 5,6-szoros növekedés) – „B” táptalaj esetében pedig a Ni tartalom 0,1145% (a steril „B”: 0,0065%-hoz képest kb. 17,6-szoros növekedés). Hasonlóképpen, a Cr estében „A” táptalajon 27,3-szoros, valamint „B” táptalajon 100-szoros növekedés mérhető.

A Ni és a Cr szelektív oldódása a próbalemezből azzal, magyarázható hogy az *A. niger* metabolizmusa által keletkezett szerves savak komplex vegyületeket képeznek ezekkel, valamint azzal, hogy a feketepénész biomasszájának aránylag nagy a Ni és Cr komplex vegyületeinek lekötési kapacitása [8, 29]: [8] szerint 1 g *A. niger* biomassza 17,3 – 20,2 mg Ni-t és 16,0 – 16,6 mg Cr-t képes lekötni. Ezt a magyarázatot a 10. ábra adatai is igazolják – a táptalaj/biomassza Ni és Cr tartalma az első 70 órában számottevően nem változik – ez az úgynevezett LAG fázis amikor a friss tápoldatba helyezett mikroorganizmusok sejtjei nem sokszorozódnak hanem az új tápoldat feldolgozásához szükséges megfelelő enzimeket és egyéb komponenseket szintetizálják. Miután szintetizálódtak a sejt sokszorozódáshoz szükséges komponensek egy intenzív növekedési folyamat indul be (amikor a szerves savtermelés számottevő), amely a táptalaj kimerüléséig tart (a kísérleti

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

körülményeink között kb. 200 óra). A táptalaj kimerülése után a mikro-organizmus metabolizmusa gyakorlatilag leáll. A 10. ábrából megállapítható, hogy a biomassza Ni és Cr tartalma is ezek szerint alakul. Az intenzív növekedési periódusban (70 – 200 óra a beoltástól) „A” táptalajon a Ni oldódási sebessége (a kísérleti 88 cm²-re számolva) kb. $2,3 \cdot 10^{-6}$ g/cm²·h, és azután 336. óráig kb. $1,08 \cdot 10^{-7}$ g/cm²·h – amikor a biomassza/kimerült táptalaj keverék Ni tartalma eléri a 0,045%-ot. A szacharózt tartalmazó „B” táptalajon a penészgomba növekedése sokkal intenzívebb és ennek megfelelően a növekedési periódusban a Ni oldódási sebessége $5,96 \cdot 10^{-6}$ g/cm²·h (kb. 2,6-szor nagyobb mint az „A”), a kimerült táptalajon $4,6 \cdot 10^{-7}$ g/cm²·h, és 336 órás inkubáció után a biomassza/kimerült táptalaj keverék Ni tartalma eléri a 0,1145%-ot. A Cr oldódási sebessége: „A” táptalajon $1,86 \cdot 10^{-6}$ g/cm²·h az *A. niger* intenzív növekedése közben és $1,08 \cdot 10^{-7}$ g/cm²·h a kimerült táptalajon (336 óra után 0,035% Cr a biomasszában); „B” táptalajon $5,9 \cdot 10^{-6}$ g/cm²·h (kb. 3,2-szor nagyobb mint az „A” gél táptalajon) és $3,4 \cdot 10^{-7}$ g/cm²·h a kimerült „B” táptalajon (336 óra után 0,11% Cr a biomasszában).

A 3. táblázatban a steril valamit az *Aspergillus niger* spórákkal beoltott „A” és „B” táptalajok, az AISI 304 lemezekből kioldott Fe, Ni és Cr tartalmát összegzik 336 órás kezelés után.

3. Táblázat. A megvizsgált táptalajok fémtartalma 336 órás kezelés után (XRF meghatározások)

Kioldott fémtartalom		Táptalaj/biomassza			
		steril		<i>A. niger</i>	
		„A”	„B”	„A”	„B”
Fe	[%]	0,0128	0,0121	0,0141	0,015
	[g]	0,00832	0,00786	0,00916	0,00975
Ni	[%]	0,008	0,0065	0,045	0,1145
	[g]	0,0052	0,0042	0,02925	0,07443
Cr	[%]	0,00128	0,0011	0,035	0,11
	[g]	0,00083	0,00072	0,02275	0,0715
Összesen [g]		0,01435	0,01278	0,06116	0,15538

A 3. táblázat adataiból megállapítható, hogy a leírt kísérleti körülmények között, az AISI 304 korróziósebessége számottevően megnő az *Aspergillus niger* hatására – az „A” (tápkarbond nem tartalmazó) gélben 4,2-szer és a „B” (szacharózt tartalmazó) gélben 12,2-szer.

A gravimetriás meghatározások eredményeit a 4. táblázatban összegeztük

4. Táblázat. A gravimetriás meghatározások eredményei

Táptalaj	steril		<i>Aspergillus niger</i>	
	„A”	„B”	„A”	„B”
m ₀ [g]	21,1269	21,1196	21,2204	21,1235
m _{336 óra} [g]	21,1125	21,1070	21,1592	20,9681
Δm [g]	0,0144	0,0126	0,0612	0,1554
Δm/m ₀ [%]	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$5,97 \cdot 10^{-2}$	$28,84 \cdot 10^{-2}$	$73,57 \cdot 10^{-2}$
Δm/S [g/dm ²]	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$6,95 \cdot 10^{-2}$	$17,66 \cdot 10^{-2}$

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

Összehasonlítva a 3. táblázat adatait a 4. táblázat adataival, megállapítható, hogy az XRF meghatározások összesített eredményei (összes fémtartalom a megvizsgált gélekben 336 órás kezelés után) nagymértékben megegyeznek a gravimetriás meghatározások (Δm – mért tömegvesztés a 336 órás kezelés közben) eredményeivel.

Az AISI 304 ausztenites acélt gyakran használják az élelmiszeripari berendezések készítésére – például a citromsav erjesztéses (*Aspergillus niger* jelenlétében) előállításánál [11]. A kísérleti adatok alapján a kapott termékek korróziós termékek általi szennyezésének megelőzése céljából javasolt a megfelelő szintetikus (például *Oxonia-Active*® [3]) vagy növényi eredetű (például kitozán alapú [30 – 33]) biocid inhibitorok alkalmazása.

4. Következtetések

Az AISI 304 ausztenites (rozsdamentes) acél korrózióját tanulmányoztuk elektrokémiai (potencio-dinamikus polarizációs görbék felvételével) valamint gravimetriás (tömegvesztesség) és röntgen-fluoreszcenciás spektrometriás – XRF mérésekkel steril és feketepenesz (*Aspergillus niger*) spórákkal beoldott Czapek–Dox tápoldatokban illetve tápgélekben. A kísérleti adatokból megállapítható, hogy:

- az *Aspergillus niger* spórákkal beoldott Czapek–Dox tápoldatokban, a feketepenesz fejlődési időszakában, $23 \pm 2^\circ\text{C}$ -on, a tápoldatba jutó metabolitok (főleg citromsav) hatására az AISI 304 korróziós sebessége számottevően megnő –3,4-szer az „A” szacharóz nélküli oldatban és 6,8-szor a „B” szacharózt tartalmazó oldatban;
- az *Aspergillus niger* spórákkal beoldott Czapek–Dox tápgélekben, $30 \pm 2^\circ\text{C}$ -on és $90 \pm 5\%$ RH nedvességtartalmú környezetben, a feketepenesz fejlődési időszakában, a tápgélbe jutó metabolitok (főleg citromsav) hatására az AISI 304 korróziós sebessége számottevően megnő – 4,2-szer az „A” szacharóz nélküli gélben és 12,2-szer a „B” szacharózt tartalmazó gélben;
- az XRF meghatározások eredményei megerősítették, hogy a steril „A” és „B” gélekben az AISI 304 korrózióját elsősorban a vas oldódása határozza meg, viszont az „A” és „B” géleken kifejlődött biomasszában a nikkelt és króm szelektív oldódása a sebesség meghatározó lépés.

Irodalomjegyzék:

- [1] Landoulsi, J., El-Kirat, K., Richard, C., Féron, D., Pulvin, S.: Enzymatic approach in microbial-influenced corrosion: a review based on stainless steels in natural waters. *Environmental science & technology*, 2008, **42**, 2233–2242.
- [2] Osarolube, E., Owate, I. O., Oforka, N.C.: Corrosion behaviour of mild and high carbon steels in various acidic media. *Scientific Research and Essays*, 2008, **3**, 224–228.
- [3] Stoica, M., Mikoliunaite, L., Ramanavičiene, A., Alexe, P., Carac, G., Dinica, R., Voronovič, J., Ramanavičius A.: Corrosion study of stainless steel incubated in solutions consisting of biocide (*Oxonia-Active*) and *Aspergillus niger* suspension. *Chemija*, 2012, **23**, 180–186.
- [4] Xu, L-Ch., Chan, K-Y., Fang, H.H.P.: Application of atomic microscopy in the study of microbiologically influenced corrosion. *Materials Characterization*, 2002, **48**, 195–203.
- [5] Beech, I.B., Sunner, J.: Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 2004, **15**, 181–186.

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

- [6] Bachmann, R.T., Edyvean, R.G.J.: AFM study of the colonisation of stainless steel by *Aquabacterium commune*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2006, **58**, 112–118.
- [7] Kis-Papo, T., Oren, A., Wasser S.P., Nevo, E.: Survival of filamentous fungi in hypersaline Dead Sea water. *Microbial Ecology*, 2003, **45**, 183–190.
- [8] Md. Arshad, A., Aishatul B.: *Aspergillus niger* - a novel heavy metal bio-absorbent and pesticide tolerant fungus. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 2015, **19**, 57–66.
- [9] Ahmad, I., Ansari, M.I., Aqil, F.: Biosorption of Ni, Cr and Cd by metal tolerant *Aspergillus niger* and *Penicillium sp.* using single and multi-metal solution. *Indian journal of experimental biology*, 2006, **44**, 73–76.
- [10] Magyarosy, A., Laidlaw, R.D., Kilaas, R., Echer. C., Clark, D.S. and Keasling J.D.: Nickel accumulation and nickel oxalate precipitation by *Aspergillus niger*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2002, **59**, 382–388.
- [11] Ramachandra, Y.L., Narayanamurthy, G., Jois, S.: Production of Citric Acid in Basal Coffee Husk Medium by *Aspergillus niger* under Solid State Fermentation. *Advances in Biological Research*, 2013, **7**, 234–240.
- [12] Lingvay, J., Szatmári, I., Prioteasa, P., Lingvay, M., Tudosie, L.M.: *Aspergillus niger* filamentous fungi initiated corrosion of S235J2G3 carbon steel. *Korroziós Figyelő*, 2014, **54**, 15–21.
- [13] Miečinskis, P., Leinartas, K., Uksienė, V., Lugauskas, A., Ramanauskas, R., Juzeliūnas E.: QCM study of microbially induced corrosion of aluminium exposed to *Aspergillus niger* Tiegh. *Chemija*, 2006, **17** (4), 30–34.
- [14] Juzeliūnas, E., Ramanauskas, R., Lugauskas, A., Samulevičienė, M., Leinartas, K., Ivaškevičė, E., Pečiulytė, D.: Investigation of microbiologically influenced corrosion. Part 3. Two-year exposure of aluminium to *Penicillium frequentans*, *Aspergillus niger* and *Bacillus mycoides*. *Chemija*, 2005, **16** (2), 12–17.
- [15] Prioteasa, P., Lingvay, M., Szatmari, I., Buruntea, N., Lingvay I.: Corrosion of carbon steel in the presence of *Aspergillus niger* fungi. *Electrotehnică, Electronică, Automatică*, 2014, **62** (2), 60–65.
- [16] Li, H., Dong c., Zou S., Xiao, K., Sun, M.: Corrosion Behavior of Ultra High Strength Steels in Different Single Mould Environments. *Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection*, 2013, **33**, 129–135.
- [17] Radu, E., Mitrea, S., Udrea, O., Pătroi, D., Marin, D.: Corrosion of electrical purposes cooper in the presence of *Aspergillus niger* filamentous fungi. *Electrotehnică, Electronică, Automatică*, 2015, **63** (2), 110–115.
- [18] Lingvay, J., Radu, E., Mitrea, S., Lingvay, M., Udrea, O., Szatmári, I.: *Aspergillus niger* filamentous fungi initiated corrosion of red cooper. *Korroziós Figyelő*, 2014, **54**, 40–46.
- [19] Rigó, T., Telegdi, J., Beczner, J., Langmuir-Blodgett rétegek a mikrobiológiai korrózióban. *Korroziós Figyelő*, 2004, **44**, 3–8.
- [20] Rónay, D., Talajba fektetett szerkezetek, tartályok szigetelésének és a talaj biológiai tényezőinek kölcsönhatása. *Korroziós Figyelő*, 2003, **43**, 159–165.
- [21] Lingvay, J., Szatmári, I., Lingvay, M., Tudosie, L.: Underground power cables ageing. Case study – results of 5 year monitoring. *Korroziós Figyelő*, 2013, **53**, 71–80.
- [22] Lingvay, J., Groza, C., Lingvay, C., Csuzi, I.: About the microbiological degradations of polyethylene in the urban networks. *Korroziós Figyelő*, 2009, **49**, 31–38.

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34

- [23] Lingvay, J., Lingvay, C., Öllerer, K., Homan, C., Tankó, I., Ciogescu, O.: Contributions to the study of the degradation of the underground power cables. *Korroziós Figyelő*, 2006, **46**, 102–106.
- [24] Szatmari, I., Lingvay, M., Tudosie, L., Cojocar, A., Lingvay, I., Monitoring Results of Polyethylene Insulation Degradability from Soil Buried Power Cables. *Revista de chimie*, 2015, **66**, 304–311.
- [25] Öllerer, K., Lingvay, J., Contributions to the Study of Biodiversity in the Bucharest Subway Tunnels. *Korroziós Figyelő*, 2005, **45**, 133–136.
- [26] Radetzky, Ö., Vasbeton szerkezetek védelme a mikrobiológiai korrózió ellen. *Korroziós Figyelő*, 1997, **37**, 156–158
- [27] **** *Metals Handbook*, 10th ed., vol. 1, ASM International Handbook Committee., ASM International, Materials Park, OH, 1990.
- [28] **** IEC 68-2-10 (1988) *Basic Environmental Testing Procedures. Part 2: Tests-Test J and guidance: Mould growth* (megegyezik a visszavont MSZ 8888-9:1986 *Környezetállósági vizsgálatok. Penészállóság szabvánnyal*).
- [29] Srivastava, S., Thakur, I.S.: Biosorption potency of *Aspergillus niger* for removal of chromium (VI). *Current Microbiology*, 2006, **53**, 232–237.
- [30] Li X.F., Feng, X.Q., Yang, S., Wang, T.P., Su, Z.X.: Effects of molecular weight and concentration of chitosan on antifungal activity against *Aspergillus niger*. *Iranian Polymer Journal*, **2008**, 17, 843–852.
- [31] Simunek, J., Tishchenko, G., Hodrova, B., Baptonova, H.: Effect of chitosan on the growth of human colonic bacteria, *Folia Microbiologica*, 2006, **51**, pp. 306–308.
- [32] Zivanovic, S., Chi, S., Draughon, A.F.: Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science*, 2005, **70**, 45–51.
- [33] Li, Y., Chen, X.G., Liu, N., Liu, C.S., Liu, Q.G., Meng X.H., Yu L.J., Kenedy J.F.: Physicochemical characterization and antibacterial property of chitosan acetates, *Carbohydrate Polymers*, 2007, **67**, 227–232.



Dr. LINGVAY József, Máramaroszigeten (Máramaros megye, RO) született 1949. február 25-én. Vegyész mérnöki tanulmányait a Bukaresti Műszaki Egyetemen végezte 1972-ben, majd ugyanitt 1984-ben megvédte doktori tézisét. A Bukaresti Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézetének (INCDIE ICPE-CA) tudományos titkára. 18 könyv, több mint 400 tudományos publikáció, valamint 30 szabadalmaztatott műszaki találmány szerzője / társszerzője. Kutatási területei: korrózió és korrózióvédelem, elektrokémiai technológiák, elektromágneses kompatibilitás, környezetvédelem stb.

E-mail: lingvay@icpe-ca.ro; corozione@icpe-ca.ro; iosiflingvay@yahoo.com



MITREA Sorina, vegyész mérnök, a Bukaresti Villamosmérnöki Tudományok Nemzeti Kutató Intézetének tudományos főmunkatársa. Szakterülete: anyagtudományok, az anyagok szerkezeti és vegyi vizsgálata (XRD, XRF, SEM, AFM stb.).

E-mail: sorina.mitrea@icpe-ca.ro

Lingvay J., Mitrea S., Lingvay M., Szatmári I., *Anyagok Világa (Materials Word)* 1 (2017) 22-34



LINGVAY Mónika, Bukarestben született 1991. május 9-én. Vegyészmérnök és orvosi fizikus diplomát szerzett 2013-ban a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetemen, majd ugyanott 2015-ben végezte be mesteri (szerves- és biokémiai folyamatmérnök) tanulmányait. 2015 szeptemberétől az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont – Nemzetközi Továbbképző Tanfolyamának ösztöndíjasa és 2016 szeptemberétől a Szegedi Tudományegyetem - Fizika Doktori Iskola doktorandusza. Kutatási területei: fotoszintetikus membránok, az anyagok mikrobiológiai rongálódása, az antropogén eredetű elektromágneses terek kihatásai az élővilágra.

E-mail: monika_lingvay@yahoo.com



Dr. SZATMÁRI Iona, biológus, a székelykeresztúri Orbán Balázs Gimnázium tanára. A Bukaresti Tudományegyetemen szerzett biológusi diplomát 1983-ban és a Bukaresti Műszaki Egyetemen PhD fokozatot 2015-ben. Kutatási területei: biokorrózió, az anyagok biorongálódása.

E-mail: szatmari@obg.ro