



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS
TÉZISFÜZETE

HARASZTI FERENC

Villamos kapcsolatok galvánkorróziójának vizsgálata hőkamerával

Témavezető: Prof. Dr. habil. Bitay Enikő

BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

Budapest, 2023. május 30.

Tartalomjegyzék

Summary	3
1 A kutatás előzményei	5
2 Célkitűzések	5
3 Vizsgálati módszerek	7
4 Új tudományos eredmények.....	7
5 Az eredmények hasznosítási lehetősége	10
6 Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék	11
7 Publikációk	18
7.1 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények	18
7.2 További tudományos közlemények (opcionális).....	19

Summary

The goal of this doctoral research is to understand the corrosion of electrical contacts, their corrosion protection, and the scientific investigation of the harmful effects of heating. In the electrical industry, the proportion of power loss due to corrosion - bad, faulty, corroded electrical connections - is also high. Goals of this research, therefore, is the introduction of test methods that enable early detection of errors, reducing the occurrence of dangerous situations and the number of resulting losses. The aim is also to examine the physical changes, various parameters and correlations of the main electrical fasteners caused by corrosion and thereby understand the evolution of the corrosion rate based on these variables. All of the above is carried out with the help of rapidly spreading diagnostic equipment, thermal camera and test equipment developed for this purpose. In this doctoral thesis, a significant part of the supply of electrical energy to the electrical industry and households is examined.

With the help of literature research, results in the field of corrosion and contact corrosion research are presented, characterizing this chemical change according to its nature and appearance. The measurement methods and measurability of corrosion changes are examined.

In the next part of the dissertation, the results of thermography so far, its physical foundations, and the possibilities of its application in corrosion tests are scrutinized.

A new and specialized test method was developed, which is suitable for determining the galvanic corrosion kinetics of bimetallic electrical fasteners in the laboratory. It is possible to simultaneously measure the transient resistance as a function of time and temperature by including several samples with different surface ratios. Supplemented with a roughness test, relevant conclusions can be drawn on the process and rate of the accelerated corrosion change.

The initial resistance causes heating of the electrical component. Firstly an analysis system was created to determine the corrosion rate, thereby monitoring the changes in thermal effect at variable power levels with the help of a thermal camera. This test method can also take into account the effect of the current to detect the heating of the connection.

With the help of the two new procedures and measurement methods mentioned above, the development of the tightening torque can also be brought into interaction with the process of resistance and heat generation on the fastener.

For this dissertation, it was considered important to examine the development of material loss on the electrical connector, comparing it with the volume of dissolved ions as a function of temperature. Supported by high-precision equipment (AMF, SEM, ICP-OES), the kinetics

of these two processes were determined and the complex mechanism of the galvanic system was analysed. Finally, the already mentioned electrical components were subjected to surface morphological tests to confirm the test results so far. The results obtained using different techniques prove that the dissolution of copper in the fitted position is significantly reduced by the presence of zinc on the screw, i.e. it was proven that under such experimental conditions, the less electronegative metal can save the other, higher electronegativity metal, i.e. as long as zinc is present, copper corrosion is greatly reduced. If the zinc cannot completely cover the surface of the screw, then the iron takes over the rescue task.

At the end of the dissertation, the equipment used and experimental setups are presented in an appendix.

1 A kutatás előzményei

A közelmúltban létrejött, új diagnosztikai módszer: a termográfia segít az egyes, korrózió okozta károk feltárásában. Ez a hőmérsékletmérésen és detektáláson alapuló, egyre szélesebb körben alkalmazott technológia általános és specifikus eseteket is kielégít. Ma már az ipar és az élet számos területén létjogosultságot nyert. Használják a rendfenntartó erők, orvosi diagnoszták, objektumvédő szakemberek, tűzoltók, környezetvédelmi hatóságok, épületfelügyelet, bányászat stb. Felsorolni is nehéz alkalmazhatóságának lehetőségeit. Egyre jobban terjed az ipar különböző ágazataiban: alkalmazzák gyártás és folyamat felügyeletre, villamos és mechanikus gépek állapotának ellenőrzésére, diagnosztizálására. A termográfia alkalmas karbantartási feladatok, élettartam vizsgálatok elvégzésére is. Doktori témámban a villamos ipar és a háztartások villamos energia ellátásának egy markáns szeletét vizsgáltam meg, amely az áramátvitelhez használt különböző villamos kötések korróziós folyamatok által kialakult hőmérséklet változásait analizálja termográfias módszerrel. A kötéstechikában használt különböző anyagú alkatrészek nem megfelelő körülmények között korróziós változásokat indíthatnak el. Az ún. kontakt korróziós jelenségek nem csak a kötés szilárdságát ronthatják, hanem áram átviteli problémákat is okozhatnak. A korróziós termékek az alkatrészek felületén átmeneti ellenállás növekedést indukálnak, ami nagy energia veszteségeket eredményez. Túl ezeken a veszteségeken, kritikus értékre növekedhet a kötés hőmérséklete is, ami már biztonságtechnikai problémákat vet fel.

2 Célkitűzések

Fontos egy modern, könnyen kivitelezhető diagnosztikai vizsgálati módszer helyes alkalmazása, mely lehetővé teszi a rendellenes hőmérsékleti eloszlás mihamarabbi megfigyelését. Az ideális üzemi hőmérséklettől való eltérés detektálása, pontos, precíz meghatározása nagy anyagi veszteségek kialakulásától is időben megvéd. Dolgozatom célja a termográfias módszer bemutatásán túl annak minél pontosabbá tétele, egy használható mérési technológia kidolgozása, összefüggés keresés a galvanikus korrózió és az áramjárta villamos kötőelem hőmérséklet változásának kapcsolata között.

Kutatásaimat átgondolt tervezés alapján szisztematikusan hajtottam végre az alábbiak szerint:

□ *Egyetemi oktató lévén hozzáférhettem a magyar és külföldi felsőoktatásban fellelhető szakirodalom és hivatkozásai csaknem teljes tárházához, régeikhez és újakhoz egyaránt, melyek érdemi információkkal szolgáltak a téma minél alaposabb megismeréséhez. Kihasználtam jelen*

korunk nagy sebességű információs „sztrádáját” az internetet, melyet ma már szinte bárholnan és bármikor igénybe lehet venni.

□ *Kutatásaim fontos helyszíne volt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen található Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár (OMIKK), ahol minden mai és korábbi szakirodalom fellelhető a választott kutatási témában.*

□ *Sokat segített a kidolgozandó témakörben a Magyar Szabványügyi Testület közelben található boltja, ahol szabványok, kapcsolódó anyagok és katalógusok segítettek munkámat.*

□ *Laborgyakorlatokat vezető munkatársként rendelkezésemre állt egy jól felszerelt fizika-kémia laboratórium a majdnem mindig megfelelő mérési eszközökkel, berendezésekkel. A hiányzó műszereket a gyakorlati életben eltöltött több évtized alatt szerzett tapasztalatok alapján megépítettem vagy kölcsönbe kaptam.*

□ *Az ELTE Természettudományi Kutatóközpontjában, ahová Prof. Dr. Telegdi Judit támogatásával jutottam és ahol vezetésével és segítségével a mai, modern, nélkülözhetetlen technikák és mérési módszerek alkalmazásával végezhettem kutatásaimat.*

□ *Termográfias méréseimet „terepen” is kiviteleztem, melyre igen nagy hangsúlyt fektettem. A Magyar Villamos Művek ZRT erőműveiben, a BKK hév vonalain, különböző gyárakban és üzemekben méréseket végeztem és kiértékeltem.*

A kutatási periódust 2022. 08. 30-án lezártam.

3 Vizsgálati módszerek

A kvalitatív és kvantitatív kutatási módszereket egyszerre használtam a mérési folyamatok és a kiértékelés alatt. Pontos, precíz mérőeszközökkel, saját fejlesztésű vizsgáló berendezésekkel számszerű eredményeket kaptam, amit a fizikai mennyiségek hibaszámításánál alkalmazott módszerrel tettem értékelhetővé. Nagyfelbontású, különféle elveken működő mikroszkópokkal pedig vizuális eredményeket kaptam, amiből a kémiai-fizikai folyamatok irányát határoztam meg.

4 Új tudományos eredmények

1. Új ellenállás mérés alapú galvánkorróziós vizsgálati eljárást dolgoztam ki (18. ábra), ami alkalmas a gyakorlatban alkalmazott eltérő elektródpotenciálú fémek (réz-alumínium, cink bevonatos acél-réz) villamos kötéseinek galvánkorróziós kinetika meghatározására 3 m/m%. NaCl oldatban [77, 78].

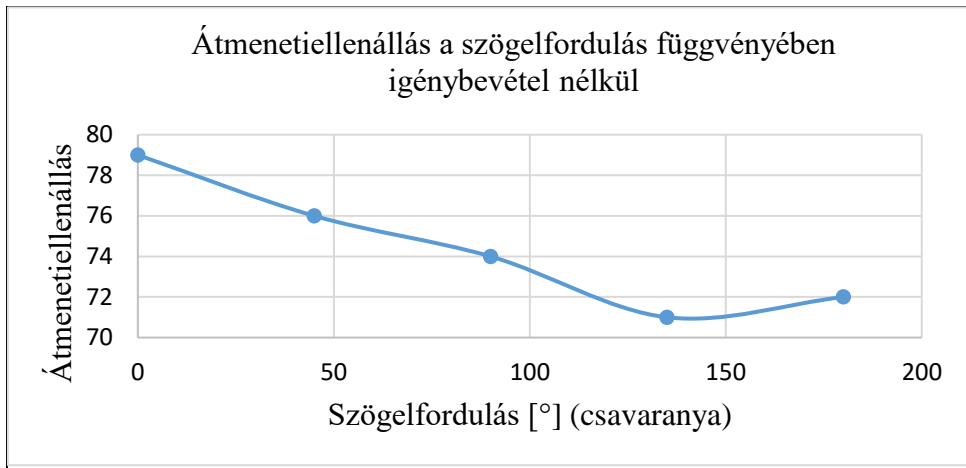
A mérési eredményeim bizonyítják, hogy az általam fejlesztett vizsgálati eljárás alkalmas a kétfémes galván korróziós rendszerek reakció sebességének meghatározására, melynek a gyakorlat szempontjából az élettartam meghatározásához kiinduló eredményt ad.

2. Új termokamerás hőmérséklet mérés alapú laboratóriumi vizsgálati összeállítást hoztam létre, amely alkalmas (20-300°C között) a gyakorlatban alkalmazott eltérő elektródpotenciálú fémek (réz-alumínium, cink bevonatos acél-réz) villamos kötéseinek, galvánkorrózió által okozott melegedés meghatározására az ellenállás és az idő függvényében különböző teljesítmény szinteken (23-4000 W) [25, 67, 68, 79, 80].

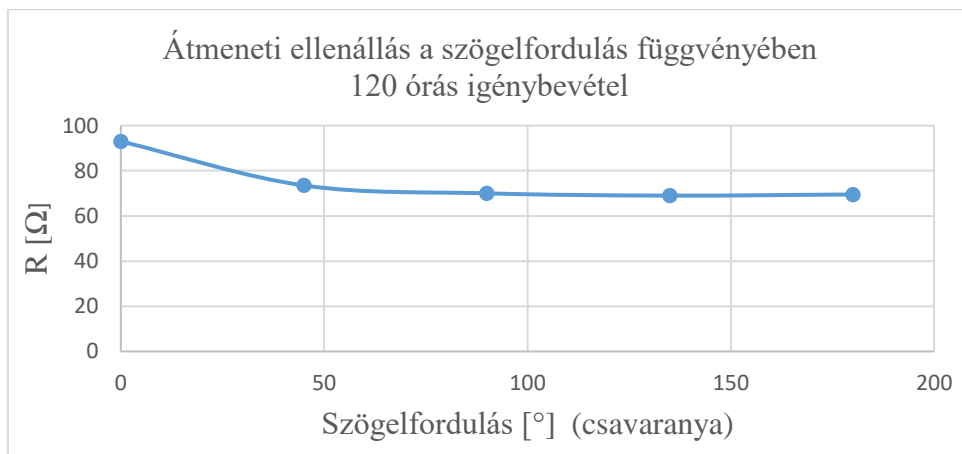
A vizsgálati összeállítás (a specifikáció szerinti elemekkel és kamera beállítás mellett) az alkalmazott villamos kötőelemek hőmérséklet mérésével alkalmassá teszi a kétfémes rendszer melegedés sebességének meghatározását, ami biztonsági szempontból a gyakorlat számára kiemelt fontosságú.

3. Bizonyítottam, hogy a csavarkötés meghúzási nyomatéka (ami az elfordulási szöggel arányos) fordítottan arányos az átmenetiellenállás nagyságával. Az átmeneti ellenállás változása az idő függvényében a galvánkorrózió sebességével arányos [81, 82].

A mérési eredmények igazolják, a tézist, mivel a terhelés mentes (33. ábra) valamint a 120 órás korróziós igénybevétel után (34. ábra) a réz-cink bevonatos acél villamos kötés esetén az átmenetiellenállás ezzel a galvánkorrózió a meghúzási nyomaték függvényében csökken.



33. ábra Átmenetiellenállás a meghúzás szögelfordulás függvényében



34. ábra Átmenetiellenállás a meghúzás szögelfordulás függvényében, 120 óra korróziós igénybevétel után

4. Bemutattam az Arrhenius egyenlet érvényességét a villamos elemek galvan-korróziós folyamatai esetében tömegveszteségen és fémion beoldódáson alapuló korróziós kísérletekkel [83].

Az Arrhenius-egyenletet figyelembe véve a két féle folyamatra a következő összefüggés vehető észre, a (42) összefüggés felhasználásával:

$$k = A \cdot e^{\left(\frac{-E_0}{k_B \cdot T}\right)} \quad (42)$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_0}{T k_B} \quad (43)$$

$$\ln \Delta m \sim -\frac{E_0}{K_B} \cdot \frac{1}{T} \quad (44)$$

ahol az $-\frac{E_0}{K_B}$ hányados arányossági tényező, így:

$$\ln \Delta m \sim \frac{1}{T} \quad (45)$$

A tömegvesztés folyamatáról kijelenthető, hogy a természetes alapú logaritmus az $\frac{1}{T}$ -vel, az abszolút hőmérséklet reciprokával egyenes arányban csökken.

Az ezzel paralel vizsgált ion beoldódás ugyanezt a képet mutatja. A saruról (csavarról) leváló anyagmennyiség az oldatba kerül (anyagmegmaradás törvénye), ebből következik, hogy a leváló tömeg és az oldatban lévő réz (cink, vas) aránya ugyanúgy változik. Ezt mutatják a mért eredményekből előállított függvények képei és megfogalmazható a tömegvesztés folyamatára felírt összefüggés az alábbi esetre vonatkoztatva:

$$\ln M_{e_{ppm}} \sim \frac{1}{T}. \quad (46)$$

ahol:

$M_{e_{ppm}}$ a beoldódott fém ion mennyiségét jelenti.

5 Az eredmények hasznosítási lehetősége

A kifejlesztett labor mérési eljárások segítségével villamos kapcsolatok igénybevétel általi korróziós sebességét lehet meghatározni. Segítségével következtethetünk a folyamat irányára és nagyságára, jövőbeni mérésekkel kiegészítve a villamos alkatrészek élettartamára. A melegedést vizsgáló mérési eljárás pedig segítséget nyújt az áramkörben helyet foglaló kötőelem rendellenes melegedésének elemzésére, alakulásának dinamikájára. Felhasználásával a diagnosztikai ellenőrzést végző mérnök időben védekezhet a nem kívánt melegedés káros következményei ellen. Az eredmények az ipar számára is tervezési alapot nyújthatnak.

6 Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék

- [1] Zoran C. Petrović: *Katastrofe izazvane korozijom. (Catastrophes Caused by Corrosion)* Vojnotehnički glasnik (Military technical courier), 64/4. (2016) 1086–1064.
<https://doi.org/10.5937/vojtehg64-10388>
- [2] https://www.linkedin.com/pulse/5-disasters-caused-corrosion-samuel-cowlshaw?utm_source=share&utm_medium=guest_desktop&utm_campaign=copy
(2022. 04. 01.)
- [3] Kovács K.: *Korróziós alapfogalmak*. Műszaki Könyvkiadó, 1965.
- [4] Peter A. Claisse: *Civil Engineering Materials*. Chapter 31 – *Corrosion*. Butterworth-Heinemann, 2016. 339–359. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100275-9.00031-0>.
- [5] Schweitzer P. A.: *Fundamentals of Metallic Corrosion. Atmospheric and Media Corrosion of Metals*. CRC Press, 2006.
- [6] Lin C.-F., Kozen A. C., Noked M., Liu C., Rubloff G. W.: *ALD Protection of Li-Metal Anode Surfaces - Quantifying and Preventing Chemical and Electrochemical Corrosion in Organic Solvent*. *Advanced Materials Interfaces*, 3/21. (2016) 1600426.
<https://doi.org/10.1002/admi.201600426>
- [7] Harsimran S., Santosh K., Rakesh K.: *Overview of Corrosion and Its Control: A Critical Review*. *Proceedings on Engineering Sciences*, 3/1. (2021) 13–24.
<https://doi.org/10.24874/PES03.01.002>
- [8] Budó Á.: *Kísérleti Fizika*. II. kötet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.
- [9] Kutasi I.: *Kémia* <https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/> (2017. július 2.)
- [10] Komáromi F.: *Kémia és Felületvédelem*; Kézirat, Budapest, 1984.
- [11] Buchanan R. A., Stansbury E. E.: *Electrochemical Corrosion*. In: *Handbook of Environmental Degradation of Materials* (Szerk.: Myer Kutz). second edition, 2012. 87–125. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3455-3.00004-3>
- [12] Stansbury E. E., Buchanan R. A.: *Fundamentals of Electrochemical Corrosion*. ASM International, 2000. www.asminternational.org
- [13] Mudali U. K., Pujar M. G.: *Pitting Corrosion of Austenitic Stainless Steels and Their Weldments*. In: *Corrosion of Austenitic Stainless Steels* (Szerk.: Khatak H. S., Baldev R.). Woodhead Publishing, 2002. 74–105. <https://doi.org/10.1533/9780857094018.106>

- [14] Holló M.: *Korróziós vizsgálatok*. Műszaki Könyvkiadó, 1964.
- [15] Kain V.: *Corrosion-Resistant Materials*. In: S. Banerjee, A. K. Tyagi: *Functional Materials*. Elsevier, 2012. 507–547. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385142-0.00012-X>
- [16] Streicher M. A.: *General and Intergranular Corrosion of Austenitic Stainless Steels in Acids: Effect of Cations in the Acids and the Influence of Heat Treatment and Grain Size of the Steel*. Journal of The Electrochemical Society, 106/3. (1959) 161–180. <https://doi.org/10.1149/1.2427304>
- [17] Cowan R. L., Tedmon C. S. Jr.: *Intergranular corrosion of Iron-Nickel-Chromium alloys*. In: *Advances in Corrosion Science and Technology* (Szerk.: Fontana M. G., Staehle R. W.). vol. 3, Plenum Press, New York, 1976.
- [18] Magnin T.: *Recent Advances for Corrosion Fatigue Mechanism*. ISIJ International, 35/3. (1995) 223–233. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.35.223>
- [19] Kún Cs.: *A korrózió, felületvédelem, felületek előkészítése, mázolás, lakkozás*. NSZFI. [www.nive.hu/Downloads/Szakkepzési dokumentumok/Bemeneti kompetenciak meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0220_024_101030.pdf](http://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzési_dokumentumok/Bemeneti_kompetenciak_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/5_0220_024_101030.pdf) (2018. szeptember 11.)
- [20] Pao P. S.: *Mechanisms of Corrosion Fatigue*. In: *ASM Handbook 19. Fatigue and Fracture*. ASM International, 1996. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v19.a0002361>
- [21] Shipilov S. A.: *Mechanisms for corrosion fatigue crack propagation*. Fatigue Fracture of Engineering Materials and Structures, 25/3. (2002) 243–259. <https://doi.org/10.1046/j.1460-2695.2002.00447.x>
- [22] Iverson W. P.: *Biological Corrosion*. In: *Advances in Corrosion Science and Technology*. (Szerk.: Fontana M. G., Staehle R. W.) Vol 2. Springer, 1972. Boston, MA. 1–42. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8255-7>
- [23] Edyvean R. G. J., Videla H. A.: *Biological Corrosion*. Interdisciplinary Science Reviews, 16/3. (1991) 267–282. <https://doi.org/10.1179/isr.1991.16.3.267>
- [24] Stanaszek-Tomal E., Fiertak M.: *Biological Corrosion in the Sewage System and the Sewage Treatment Plant*. Procedia Engineering, 161. (2016) 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.507>

- [25] **Haraszti F.:** *Termográfiai vizsgálat alkalmazása a villamosiparban*, Acta Materialia Transylvanica 1/2. (2018) 77–80. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0025>; másod közlés angol nyelven: *Thermographic Inspection in the Electric Industry*, <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0026>
- [26] Zhang X. G.: *Galvanic Corrosion*. In: Uhlih's Corrosion Handbook, 3. kiadás Electrochemical Society, Inc. Wiley (2011) ISBN 978-0-470-08032-0
- [27] Oldfield J. W.: *Electrochemical Theory of Galvanic Corrosion*. In: *Galvanic corrosion*. (Szerk.: Harvey P. Hack) (STP978-EB) (1988) ASTM Committee ISBN 0-8031-0981-4
- [28] Song G.-L.: *Potential and current distributions of one-dimensional galvanic corrosion systems*. Corrosion Science, 52/2. (2010) 455–480. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.003>
- [29] Jia, J. X., Song G., Atrens A.: *Influence of geometry on galvanic corrosion of AZ91D coupled to steel*. Corrosion Science, 48/8. (2006) 2133–2153. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2005.08.013>
- [30] Oltra R., Vuillemin B.: *3 Probing and Modelling of Galvanic Coupling Phenomena in Localized Corrosion*. In: *Progress in Corrosion Science and Engineering II* (Szerk.: Su-Il Pyun, Jong-Won Lee), Springer New York, NY, 2011. 243–296. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5578-4_3
- [31] Webb E. G., Suter T., Alkire R. C.: *Microelectrochemical Measurements of the Dissolution of Single MnS Inclusions, and the Prediction of the Critical Conditions for Pit Initiation on Stainless Steel*. Journal of The Electrochemical Society, 148/5. (2001) B186. <https://doi.org/10.1149/1.1360205>
- [32] Mypati S., Khazaeli A., Barz D. P. J.: *A novel rechargeable zinc–copper battery without a separator*. Journal of Energy Storage, 42. (2021) 103109. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103109>
- [33] Zeng, Juqin, et al.: *Coupled Copper-Zinc Catalysts for Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide*. ChemSusChem, 13/16. (2020) 4128–4139. <https://doi.org/10.1002/cssc.202000971>
- [34] Abraham O. F., et al.: *Corrosion behavior of Aluminium in alkaline-water hyacinth plant extract functionalized solution: An electrochemical and weight loss study*. Chemical Data

- Collections, 43. (2022) 100983, ISSN 2405-8300, <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2022.100983>.
- [35] Datta M.: *Anodic dissolution of metals at high rates*. IBM Journal of Research and Development, 37/2. (1993) 207–226. <https://doi.org/10.1147/rd.372.0207>
- [36] Abbott A. P., Frisch G., Hartley J., Karim W. O., Ryder K. S.: *Anodic dissolution of metals in ionic liquids*. Progress in Natural Science: Materials International, 25/6. (2015) 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2015.11.005>
- [37] Zhang J., Ebrahimi N., Lai D.: *Galvanic Corrosion Risk of Using Galvanized A325 Bolts in Corrosion-Resistant Steel Bridges*, Journal of Bridge Engineering, 24/6. (2019) 06019001.
- [38] Speck F. D., Zagalskaya A., Alexandrov V., Cherevko S.: *Periodicity in the Electrochemical Dissolution of Transition Metals*. Angewandte Chemie International Edition, 60/24. (2021) 13343–13349. <https://doi.org/10.1002/anie.202100337>
- [39] Jones D. R. H.: *Corrosion of Central Heating Systems*. In: *Failure Analysis Case Studies II*, (2001) 285–300. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-043959-4.50029-8>
- [40] Sulzer Pumps: *Materials and Corrosion*. In: *Centrifugal Pump Handbook*, 3. kiadás, 2010. 227–250. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-8612-9.00008-5>
- [41] Sagüés A. A.: *Corrosion Measurement Techniques for Steel in Concrete*, The NACE Annual Conference and Corrosion Show, Corrosion 93, (1993) paper 353.
- [42] Popov B. N.: *Basics of Corrosion Measurements*. In: *Corrosion Engineering. Principles and Solved Problems*. Elsevier, 2015. 181–246. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62722-3.00005-7>
- [43] Chasse K. R., Singh P. M.: *Corrosion Study of Super Ferritic Stainless Steel UNS S44660 (26Cr-3Ni-3Mo) and Several Other Stainless Steel Grades (UNS S31603, S32101, and S32205) in Caustic Solution Containing Sodium Sulfide*. Metallurgical and Materials Transactions A, 44. (2013) 5039–5053. <https://doi.org/10.1007/s11661-013-1878-5>
- [44] Durrant E. D. D.: *Corrosion Atlas: A Collection of Illustrated Case Histories*. 3. kiadás Elsevier, 2018.

- [45] Iribarren J. I., Liesa F., Alemán C., Armelin E.: *Corrosion rate evaluation by gravimetric and electrochemical techniques applied to the metallic reinforcing structures of a historic building*. Journal of Cultural Heritage, 27. (2017) 153–163.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.04.009>
- [46] Loto R. T., Loto C., Ohwofasa O.: *Gravimetric and data analysis of the corrosion resistance behaviour and inhibition of C26000 brass in dilute HNO₃ solution*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 1117 (2021) 012002
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1117/1/012002>
- [47] Anaman S. Y. et al.: *A comprehensive assessment of the galvanic corrosion behavior of an electrically assisted pressure joint of dissimilar stainless steel alloys under uniaxial tensile stress*. Journal of Materials Research and Technology, 19. (2022) 3110-3129.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.06.089>
- [48] Kingston R. H.: *Blackbody Radiation, Image Plane Intensity, and Units*. In: *Optics and Photonics, Optical Sources, Detectors, and Systems*. Academic Press, 1995. 1–32,
<https://doi.org/10.1016/B978-012408655-5/50002-0>.
- [49] Xu M. et al.: *Research on attitude measurement compensation technology under the influence of solar infrared radiation interference*. Infrared Physics & Technology, 123. (2022) 104142. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104142>
- [50] Heinz D., Halek B., Krešák J., Peterka P., Fedorko G., Molnár V.: *Methodology of measurement of steel ropes by infrared technology*. Engineering Failure Analysis, 133 (2022) 105978. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105978>
- [51] Professzionális Ipari Mérés-technika. <https://www.pim-kft.hu> (2017.02.15.)
- [52] Issa Y., Watts D. C., Boyd D., Price R. B.: *Effect of curing light emission spectrum on the nanohardness and elastic modulus of two bulk-fill resin composites*. Dental Materials, 32/4. (2016) 535–550. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.12.017>
- [53] Nagy I., Baksai G., Sólyomvári K.: *Műszaki Diagnosztika II*. Delta-3N Kft. 2007.
- [54] Rachne E.: *Termográfia elmélet és gyakorlati mérés-technika*. Invest-Marketing Bt., Budapest, 2018.
- [55] MSZ 4380-86 Természetes légköri viszonyok közötti korrózió
- [56] ISO 8044:2020 Corrosion of metals and alloys

- [57] EN ISO 7441:2015 Corrosion of metals and alloys
- [58] Gadelmawla E.S. et al.: *Roughness parameters*. J. Materials Processing Technology, 123/1. (2002) 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2)
- [59] Xu C., Gao W.: *Pilling-Bedworth ratio for oxidation of alloys*. Materials Research Innovations, 3/4. (2000) 231–235. <https://doi.org/10.1007/s100190050008>
- [60] Szabó S.: *Metal corrosion and its relation to other fields of science*. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 4/1. (2015) 35–48. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2015-4-1-035-048>
- [61] Ebrahimi N., Zhang J., Baldock B., Lai D.: *Galvanic Corrosion Risk Assessment of Bolt Materials in Contact with ASTM A1010 Steel Bridges*, CORROSION 2018, Phoenix, Arizona, USA, April 2018.
- [62] British Standard Institute: *Additional Corrosion of Zinc and Zinc Based Alloys Resulting From Contact With Other Metals or Carbon*, (1979) 6484.
- [63] ASTM G82-98(2014): *Standard Guide for Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance*, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2014) www.astm.org.
- [64] Hewitt C., Humphries A., Twomey E.: *Opposites Attract: A Primer On Galvanic Corrosion of Dissimilar Metals*. Modern Steel Construction, July 2019.
- [65] Vargel Ch.: *Corrosion of Aluminium*. (Second Edition), May 6, (2020) Elsevier, eBook ISBN: 9780080999272.
- [66] Xue H., Xu N., Zhang C.: *Effect of stainless steel on corrosion behavior of copper in a copper-bearing intrauterine device*. Advances in Contraception 14/2. (1998) 153–160. <https://doi.org/10.1023/a:1006594818470>.
- [67] **Haraszti F.**: *Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára*. Műszaki Tudományos Közlemények, 11. (2019) 77–80. <https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.15>; másod közlés angol nyelven: *Thermographic Camera Application for Galvanic corrosion detection*. <https://doi.org/10.33894/mtk-2019.11.15>
- [68] **Haraszti F.**: *A termográfia mérés technikai nehézségeinek elemzése*. Műszaki Tudományos Közlemények, 13. (2020) 68–71. <https://doi.org/10.33895/mtk-2020.13.10>

másod közlés angol nyelven: *A Review of Difficulties in the Measuring Technologies of Thermography* <https://doi.org/10.33894/mtk-2020.13.10>

- [69] Malakhov D. V.: *Pilling-Bedworth Ratio for Homogeneous Alloys: A Physically Sound Practical Generalization*. Metallurgical and Materials Transactions B, 54/3. (2023) 1174–1180. <https://doi.org/10.1007/s11663-023-02752-1>
- [70] Wei X., Dong C., Yi P., Xu A., Chen Z., Li X.: *Electrochemical measurements and atomistic simulations of Cl⁻-induced passivity breakdown on a Cu₂O film*. Corrosion Science, 136. (2018). 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.02.057>
- [71] El Warraky A. A., El Shayeb H. A. E., Sherif E. M.: *Pitting corrosion of copper in chloride solutions*. Anti-Corrosion Methods and Materials, 51/1. (2004) 52–61. <https://doi.org/10.1108/00035590410512735>
- [72] Abohalkuma T., Telegdi J.: *Corrosion protection of carbon steel by special phosphonic acid nano-layers*. Materials and Corrosion, 66/12. (2015) 1382–1390. <https://doi.org/10.1002/maco.201508304>
- [73] Telegdi J., Abohalkuma T.: *Influence of the nanolayer' post-treatment on the anticorrosion activity*. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 7/3. (2018) 352–365. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-3-6>
- [74] *Surface texture (surface roughness, waviness, and lay)*. New York: American Society of Mechanical Engineers. 2020.
- [75] Gadelmawla E. S., Koura M. M., Maksoud T. M. A. et al.: *Roughness parameters*. Journal of Materials Processing Technology, 123/1. (2002) 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2)
- [76] Fan X. L., Chen Y. X., Zhang J. X. et al: *Galvanic Corrosion Behavior of Copper–Drawn Steel for Grounding Grids in the Acidic Red Soil Simulated Solution*, Acta Metallurgica Sinica (English Lett.), 33. (2020) 1571–1582. <https://doi.org/10.1007/s40195-020-01071-7>
- [77] **Haraszti F.**: *Acél próbatetek korróziós vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények 5. (2016) 189–192. <https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.38>
- [78] **Haraszti F.**: *Korrózió vizsgálatok alapjai*. Műszaki Tudományos Közlemények 5. (2016) 185–188. <https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.37>

- [79] **Haraszti F.**, Őszi, Arnold: *Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára pilóta nélküli repülőgéppel*. *Bánki Közlemények*, 2/1. (2019) 11–15.
- [80] **Haraszti F.**: *Villamos Kötések Vizsgálata Hőkamerával*. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 7. (2017) 179–182. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.07.37>
- [81] Tóth, L., **Haraszti F.**, Kovács T.: *A felületi érdesség hatása a hegesztett rozsdamentes acél korróziós ellenállására*. *Acta Materialia Transylvanica*, 1/1. (2018) 53–56.
<https://doi.org/10.2478/amt-2018-0017>
másod közlés angol nyelven: *Surface Roughness Effect in the Case of Welded Stainless Steel Corrosion Resistance*. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0018>
- [82] **Haraszti F.** et al. : *Plastic deformation effect of the corrosion resistance in case of austenitic stainless steel*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 175. (2017) 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/175/1/012048>
- [83] **Haraszti F.** et al.: *Chemical background of contact corrosion between copper and galvanized steel screws*. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 11/4. (2022) 1418–1434. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-4-1>

7 Publikációk

7.1 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [25] **Haraszti F.**: *Termográfiai vizsgálat alkalmazása a villamosiparban*, *Acta Materialia Transylvanica* 1/2. (2018) 77–80. <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0025>; másod közlés angol nyelven: *Thermographic Inspection in the Electric Industry*, <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0026>
- [67] **Haraszti F.**: *Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára*. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 11. (2019) 77–80. <https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.15>; másod közlés angol nyelven: *Thermographic Camera Application for Galvanic corrosion detection*. <https://doi.org/10.33894/mtk-2019.11.15>
- [68] **Haraszti F.**: *A termográfia mérés technikai nehézségeinek elemzése*. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 13. (2020) 68–71. <https://doi.org/10.33895/mtk-2020.13.10>
másod közlés angol nyelven: *A Review of Difficulties in the Measuring Technologies of Thermography* <https://doi.org/10.33894/mtk-2020.13.10>
- [77] **Haraszti F.**: *Acél próbatetek korróziós vizsgálata*. *Műszaki Tudományos Közlemények* 5. (2016) 189–192. <https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.38>

- [78] **Haraszti F.:** *Korrózió vizsgálatok alapjai.* Műszaki Tudományos Közlemények 5. (2016) 185–188. <https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.37>
- [79] **Haraszti F.,** Őszi, Arnold: *Hőkamera alkalmazása kontaktkorrózió vizsgálatára pilóta nélküli repülőgéppel.* Bánki Közlemények, 2/1. (2019) 11–15.
- [80] **Haraszti F.:** *Villamos Kötések Vizsgálata Hőkamerával.* Műszaki Tudományos Közlemények, 7. (2017) 179–182. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.07.37>
- [81] Tóth, L., **Haraszti F.,** Kovács T.: *A felületi érdesség hatása a hegesztett rozsdamentes acél korróziós ellenállására.* Acta Materialia Transylvanica, 1/1. (2018) 53–56.
<https://doi.org/10.2478/amt-2018-0017>
másod közlés angol nyelven: *Surface Roughness Effect in the Case of Welded Stainless Steel Corrosion Resistance.* <https://doi.org/10.2478/amt-2018-0018>
- [82] **Haraszti F.** et al. : *Plastic deformation effect of the corrosion resistance in case of austenitic stainless steel.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 175. (2017) 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/175/1/012048>
- [83] **Haraszti F.** et al.: *Chemical background of contact corrosion between copper and galvanized steel screws.* International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 11/4. (2022) 1418–1434. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2022-11-4-1>

7.2 További tudományos közlemények (opcionális)

- [84] Tóth L., **Haraszti F.,** Kovács T.: *Heat treatment effect for stainless steel corrosion resistance.* European Journal of Materials Science and Engineering, 3/2. (2018) 98–102.
- [85] **Haraszti F.:** *Acél próbatestek korróziós vizsgálata.* Corrosion Investigation of Steel Samples. Műszaki Tudományos Közlemények, 5. (2016) 189–192.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.38>