



MŰSZAKI KONFERENCIA

Tudomány: válaszok a globális kihívásokra

programfüzet és rövid cikkek

Dunaújváros 2023. november 7.

2023

„Az NKFIH-1267-2/2020 számú, Roncsolásmentes folyamat követés tématerület című projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg”

NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM

„Az NKFIH-1267-2/2020 számú, Roncsolásmentes folyamatkövetés tématerület című projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg”



A konferencia szervezésére a
MTA Magyar Tudomány Ünnepe keretében
kerül sor.

A konferencia szervezője a Dunaiújvárosi Egyetem
www.uniduna.hu

MŰSZAKI KONFERENCIA 2023

(DUE MK 2023)

„Tudomány: válaszok a globális kihívásokra”

Programfüzet



Konferencia elnöksége

Elnök:

Dr. Sánta Róbert, Dunaújvárosi Egyetem

Társelnökök:

Dr. Pázmán Judit, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Kovács-Bokor Éva, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Kővári Attila, Dunaújvárosi Egyetem

Tudományos bizottság:

Dr. Demeter Róbert, Transilvania University of Brasov

Dr. Füstner Igor, Szabadkai Műszaki Szakfőiskola

Dr. Forgó Zoltán, Sapientia Erdélyi Magyar
Tudományegyetem

Dr. Horváth Miklós, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Kiss Endre, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Kovács Imre, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Kovács-Bokor Éva, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Nagy András, Dunaújvárosi Egyetem

Petrovickijné
Dr. Angerer Ildikó, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Szlivka Ferenc, Dunaújvárosi Egyetem

Dr. Trampus Péter, Dunaújvárosi Egyetem



Program

2023. november 7. (kedd)

Műszaki Szekció – M1-137

Levezető elnök: *Dr. Sánta Róbert*

09:00

Köszöntő – *Sánta Róbert*

09:00–09:15

Koroknai László: Pásztázó Akusztikus Mikroszkóp és a Digitális Radiográfia kapcsolata

09:15–09:30

Szabó Szebasztián: Hidegen hengerelt acéllemezek anizotrópiájának jellemzése akusztikus emissziós és EMAT-mérésekkel

09:30–09:45

Wizner Krisztián: mainTwin és a RemotEar projekt bemutatása

09:45–10:00

Sánta Róbert: Kétfokozatú kompressziós hőszivattyú

10:00–10:15

Ladányi Gábor: Hőrugalmas feladatok peridinamikus megoldása

10:15–10:30

Pór Gábor: MAIDScan pásztázó ultrahangos berendezés

10:30–10:45

Szünet

10:45–11:00

Kuti János, Fehér Jánosné, Kovács György: Tapasztalatok a korrózióálló cső hegesztésénél alkalmazott különböző gyökvédőgázokról

11:00–11:15

Szabó Andrea, Fehér Jánosné Dr.: Nyomásos öntéssel előállított Al-öntvény mintadarabok szerkezetvizsgálati eredménye a korróziós tesztek tükrében

2022. november 7. (kedd)

- 11:15–11:30 *Bereczki Péter, Baross Tétény*: 316L acélminőség dif-fúziós hegesztési kísérletei Gleeble 3800-as termo-mechnaikus szimulátoron
- 11:30–11:45 *Pázmán Judit*: VVER–440 reaktoracélok termikus öregedése
- 11:45–12:00 *Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Pázmán Judit*: Ötvöző elemek hatása a reaktoracélok anyagkárosodási folyamataira – szakirodalmi elemzés
- 12:00–12:15 *Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa*: Plattírozott szerkezet termikus öregedése
- 12:15–12:30 *Nagy András*: A jövő elektromotora: az amorf anyag-technológiák fókuszában

Természettudományi és Környezetvédelmi Szekció – P1-001

Levezető elnök: *Dr. Kiss Endre*

- 14:00 **Köszöntő** – *Kiss Endre*
- 14:00–14:15 *Petrovickijné Angerer Ildikó*: A talajvíz nitrát-, nitrit- és ammónium-koncentráció változásainak elemzése, a részlegesen rekultivált kommunális hulladéklerakón
- 14:15–14:30 *Kovács-Bokor Éva*: Növényi szinergia hatásának vizsgálata a nehézfém akkumulációra
- 14:30–14:45 *Szabóné Juhász Ildikó, Kiss Endre*: Energiatermelő termoelemek vizsgálata, hallgatói mérési gyakorlaton való alkalmazására

- 14:45–15:00 *Szabóné Juhász Ildikó, Kiss Endre: Porszerű részecskék kiszűrése peroxidáz enzim vizes oldata esetében, villamos porleválasztó segítségével*
- 15:00–15:15 *Szabóné Juhász Ildikó, Kiss Endre: Karbongazdag pellet előállítása biomasszából*
- 15:15–15:30 *Szabóné Juhász Ildikó, Kiss Endre: Mágneses szuszceptibilitás, és annak alkalmazása a paramágneses szeparálásban*
- 15:30–15:45 *Lama Mkanna: Charpy Impact Testing and Hardness Evaluation of S355MC High-Strength Steel After Gleeble Modeling with Varied Cooling Times*
- 15:45–16:00 *Kovács Imre: Hidrogén mint anion?!*
- 16:00–16:15 *Kővári Attila: IoT, Big Data, mesterséges intelligencia és virtuális valóság szerepe a fenntartható fejlődésben*
- 16:00– **Zárszó** – *Kiss Endre*

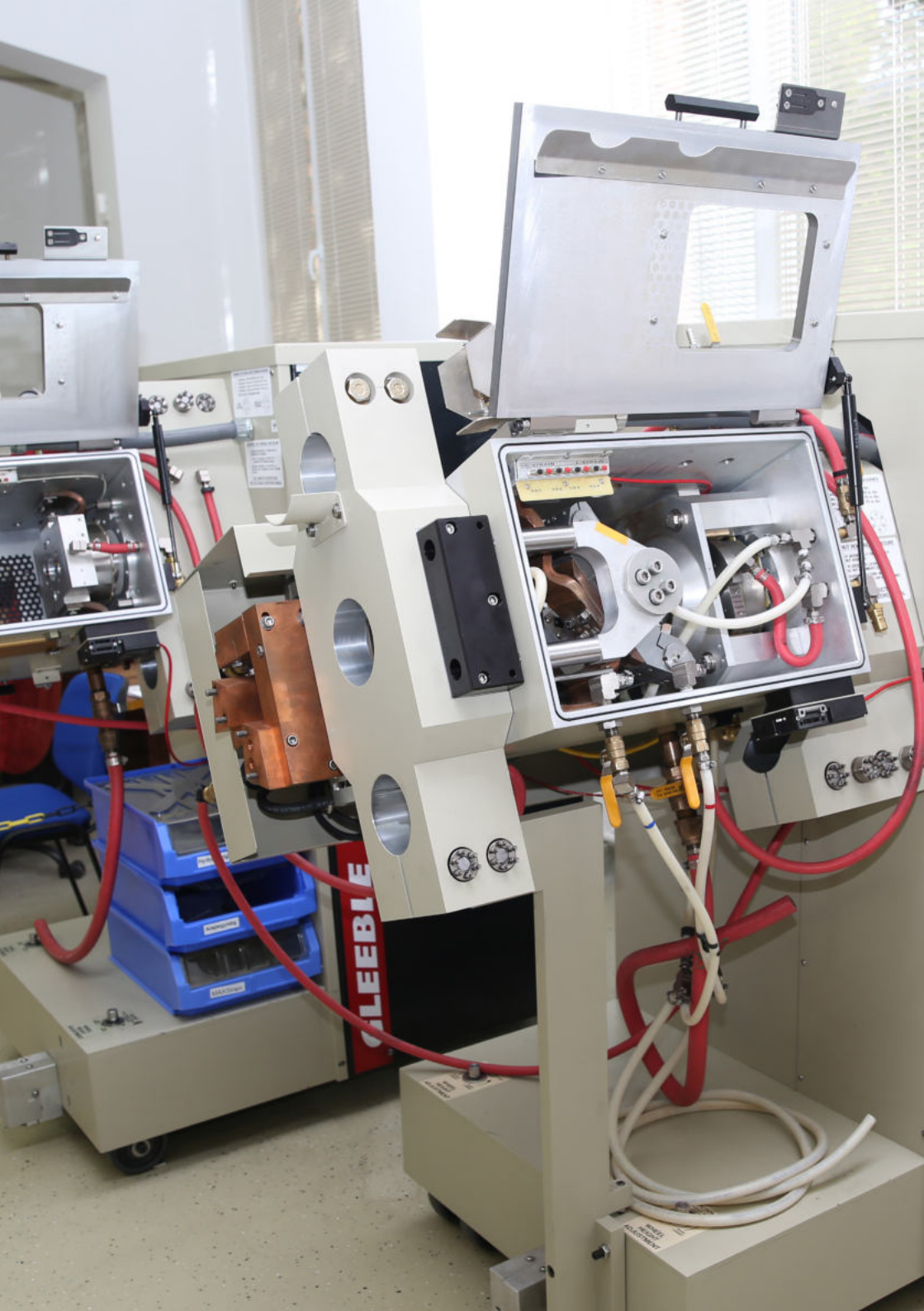
MŰSZAKI KONFERENCIA 2023

(DUE MK 2023)

Tudomány: válaszok a globális kihívásokra

Rövid cikkek az előadásokhoz

Szerkesztette: Dr. Kővári Attila



RÖVID CIKKEK A KONFERENCIA ELŐADÁSAIHOZ

| | |
|--|-----|
| <i>Koroknai László</i> Pásztázó Akusztikus Mikroszkóp és a Digitális Radiográfia kapcsolata | 16 |
| <i>Szabó Szebasztián, Koroknai László, Dr. Pór Gábor</i> Hidegen hengerelt acéllemezek anizotrópiájának jellemzése akusztikus emissziós és EMAT-mérésekkel | 19 |
| <i>Csonka Ferenc, Dr. Bajor Péter, Dr. Wizner Krisztián</i> A mainTwin interaktív modellkörnyezet kialakítása | 23 |
| <i>Csonka Ferenc, Dr. Bajor Péter, Dr. Wizner Krisztián</i> A mainTwin modellhez kapcsolódó jelölő rendszer | 27 |
| <i>Ledneczki Alex, Dr. Bajor Péter, Hári László Róbert, Dr. Wizner Krisztián</i> RemotEar projekt helye az ipari alkalmazásban | 32 |
| <i>Ledneczki Alex, Dr. Bajor Péter, Hári László Róbert, Dr. Wizner Krisztián</i> RemotEar projekt keretében vizsgált hangok érzékelésének lehetőségei | 37 |
| <i>Sánta Róbert, Zónai Viktor</i> Kétfokozatú kompressziós hőszivattyú | 45 |
| <i>Ladányi Gábor</i> Hőrugalmas feladatok peridinamikus megoldása | 50 |
| <i>Pór Gábor, Molnár János, Koroknai László, Kocsó Endre, Gárdonyi Gábor, Agócs Mihály, Szabados Ottó</i> MAIDScan pásztázó ultrahangos berendezés | 69 |
| <i>Kuti János, Fehér Jánosné Dr., Kovács György</i> Tapasztalatok a korrózióálló cső hegesztésnél alkalmazott különböző gyökvédőgázokról | 72 |
| <i>Dr. Szabó Andrea, Fehér Jánosné Dr.</i> Nyomásos öntéssel előállított Al öntvény mintadarabok szerkezetvizsgálati eredménye a korróziós tesztek tükrében | 79 |
| <i>Dr. Bereczki Péter, Baross Tétény</i> 316L acélminőség diffúziós hegesztési kísérletei Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátoron | 84 |
| <i>Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Dr. Pázmán Judit</i> Ötvöző elemek hatása a reaktoracélok anyagkárosodási folyamataira – szakirodalmi elemzés | 92 |
| <i>Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Dr. Pázmán Judit</i> VVER-440 reaktoracél termikus öregedése | 101 |

| | |
|---|-----|
| <i>Petrovickijné Dr. Angerer Ildikó</i> A talajvíz nitrát, nitrit és ammónium koncentráció változásainak elemzése a részlegesen rekultivált kommunális hulladéklerakón | 105 |
| <i>Dr. Kovács-Bokor Éva</i> Növényi szinergia hatásának vizsgálata a nehézfém akkumulációra | 109 |
| <i>Dr. Kiss Endre, Joanna Kubczak, Agnieszka Smukala, Marta Weiss, Szabóné Juhász Ildikó</i> Energiatermelő termoelemek vizsgálata, hallgatói mérési gyakorlaton való alkalmazására | 116 |
| <i>Dr. Kiss Endre, Szabóné Juhász Ildikó</i> Porszerű részecskék kiszűrése peroxidáz enzim vizes oldata esetében villamos porleválasztó segítségével | 120 |
| <i>Dr. Kiss Endre, Almusztafa Ihab, Szabóné Juhász Ildikó</i> Karbongazdag pellet előállítás biomaszból | 125 |
| <i>Dr. Kiss Endre, Szabóné Juhász Ildikó</i> Mágneses szuszceptibilitás, és annak alkalmazása a paramágneses szeparálásban | 129 |
| <i>Dr. Kovács Imre</i> Hidrogén mint anion?! | 137 |
| <i>Lama Mkanna</i> Charpy Impact Testing and Hardness Evaluation of S355MC High-Strength Steel After Gleeble Modeling with Varied Cooling Times | 142 |
| <i>Dr. Kővári Attila</i> Zöld adatközpontok és felhőszolgáltatások: A jövő energiahatékony informatikai infrastruktúrája | 144 |
| <i>Dr. Kővári Attila</i> IoT az energiahatékonyaságért: Intelligens városok és ipari alkalmazások | 147 |
| <i>Dr. Kővári Attila</i> Big Data és mesterséges intelligencia a fenntarthatóságért | 149 |
| <i>Dr. Kővári Attila</i> Blokklánc a körkörös gazdaságban: átláthatóság és fenntarthatóság | 152 |
| <i>Dr. Kővári Attila</i> Virtuális és kiterjesztett valóság a fenntarthatóságért: oktatás és tudatosság növelése | 154 |
| <i>Nagy András</i> A jövő elektromotora: az amorf anyagtechnológiák fókuszában | 152 |

MŰSZAKI
KONFERENCIA
2023
(DUE MK 2023)

Rövid cikkek az előadásokhoz

Koroknai László

Pásztázó akusztikus mikroszkóp és a digitális radiográfia kapcsolata

Egyetemi tanársegéd, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Ultrahang, röntgen, pásztázás.

BEVEZETŐ

Az ultrahangos anyagvizsgálat és a digitális radiográfiai anyagvizsgálat két különböző nem-destruktív vizsgálati módszer, amelyeket gyakran alkalmaznak anyagok állapotának, hibáinak és szerkezetének elemzésére.

Mindkét vizsgálati módszernek fontos szerepe van a nem-destruktív anyagvizsgálatban, és a választás, az alkalmazás specifikus igényektől függ.

Gyakran a két módszert akár együtt is alkalmazzák a legteljesebb információ elérésére egy anyag vagy szerkezet állapotvizsgálatakor!

PÁSZTÁZÓ AKUSZTIKUS MIKROSKÓP

A Dunaújvárosi Egyetem Magyar Akusztikai és Ipari Diagnosztikai Vizsgálólaboratórium (röviden MAID Lab) és a Paks2 Kompetencia Központ Roncsolásmentes Vizsgálati Laboratórium közösen dolgoznak az ultrahangos vizsgálati módszerek továbbfejlesztésén. Elődjeink az előző években kidolgoztak egy ultrahangos vizsgálati eszközt, amelyet még jelenleg is fejlesztenek. [1]

Az ultrahangos vizsgálat egy olyan technikai eljárás, amelynek célja az anyagok és szerkezetek roncsolásmentes vizsgálata.

Ez a módszer alkalmazható például repedések, hibák vagy anyagi változások felderítésére anélkül, hogy az anyagot meg

kellene roncsolni. A Dunaújvárosi Egyetem munkatársai olyan berendezést fejlesztettek ki, amely ultrahangot használva teszi lehetővé ezeknek a vizsgálatoknak az elvégzését.

Most pedig további fejlesztéseken dolgozunk annak érdekében, hogy az eljárást hatékonyabban, pontosabban és szélesebb körben lehessen alkalmazni. Az együttműködés a Paks2 Kompetencia Központ Roncsolásmentes Vizsgálati Laboratóriummal lehetővé teszi a kutatók számára, hogy tapasztalataikat és erőforrásaikat összevonva jobb eredményeket érjenek el az ultrahangos vizsgálati módszerek terén.

A folyamatos fejlesztés során javul az eljárás hatékonysága és alkalmazhatósága különböző ipari és kutatási területeken. [2]

DIGITÁLIS RADIOGRÁFIA

A digitális radiográfiai vizsgálat egy olyan technikai eljárás, amelyben a hagyományos film helyett flatpanelt alkalmaznak, és a felvételek kiértékeléséhez nincs szükség sötétkamrára. Ehelyett számítógépet használnak egy megfelelő szoftverrel. [3]

A digitális radiográfia egy speciális változata az ipari CT (számítógépes tomográfia), amely hasonló elven működik, mint az orvosi CT, de ipari alkalmazásokra tervezték. Ebben az eljárásban a vizsgált tárgyat és azon elhelyezett alkatrészeket egy kis szögben folyamatosan elforgatják. Ez a forgatás folytatódik, amíg a tárgy teljes 360°-os körbeforgását el nem éri. Ennek eredményeként az eszköz képes 3 dimenziós geometriai információkat létrehozni a vizsgált munkadarabról. [4]

Az ipari CT-vizsgálat különösen hasznos olyan helyzetekben, amikor a munkadarab összetett geometriával rendelkezik, és a hagyományos 2 dimenziós röntgenfelvételek nem elegendőek a teljes kép megértéséhez.

Az eljárás gyors és pontos információkat nyújt a vizsgált tárgyról, és segít az esetleges hibák vagy anyagi változások felderítésében. A digitális radiográfia és az ipari CT jelentős előrelépést jelentenek az ipari vizsgálatok terén, és lehetővé teszik a hatékonyabb minőségellenőrzést és hibafelismerést a gyártási folyamatokban.

ÖSSZEHASONLÍTÁS

Mindkét vizsgálatnak megvannak az előnyei és a hátrányai. A megfelelő vizsgálat kiválasztáshoz elengedhetetlen a folyamat és az előkészületek ismerete.

Az ultrahangos anyagvizsgálat során ultrahangos érzékelőket és gépeket használnak, amelyek hanghullámokat küldenek az anyagba, majd azok visszaverődését észlelik.

A digitális radiográfiai anyagvizsgálat esetén röntgengépet és érzékelőt használnak. A vizsgálat során az anyagot röntgensugarakkal áthatolják, és az érzékelők képeket rögzítenek. A vizsgálat előkészítésekor szükség van a megfelelő védőfelszerelésekre és az ionizáló sugárzás biztonságos kezelésére.

IRODALOM

- [1] Koroknai László (2022): *Ultrahangos vizsgáló berendezés mechanikus szintbeállítás*. Diplomamunka. DUE.
- [2] Agócs Mihály (2013): *Páztázó akusztikus mikroszkóp elkészítése LABView alkalmazásával*. TDK-dolgozat. 2013. Dunaújvárosi Főiskola.
- [3] Oktatási anyagok.
- [4] Koroknai László (2023): *Digitális (RTD) és CT összehasonlítása öntvény esetén. (Kézirat.)*

Szabó Szebasztján, Koroknai László, Dr. Pór Gábor
**Hidegen hengerelt acéllemezek anizotrópiájának
jellemzése akusztikus emissziós és EMAT-mérésekkel**

*Tanszéki mérnök, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet;
Doktorandusz, Miskolci Egyetem;
Főiskolai tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Szerkezeti*

Kulcsszavak: Anizotrópia, AE, EMAT.

BEVEZETŐ

A lemezek alakíthatóságát úgynevezett technológiai vizsgálatok végzésével vagy szakítóvizsgálat eredményeiből meghatározott paraméterekkel jellemezhetjük.

A szakítóvizsgálat során meghatározott képlékeny alakváltozási viszonyszám (r -érték), más néven Lankford-szám, vagy normál anizotrópia) és a keményedési kitevő (n -érték) a technológiai vizsgálatokkal szemben széleskörűen alkalmazható, jól definiálható anyagjellemzők.

A képlékeny alakváltozási viszonyszám a szakító próbatest szélesség- és vastagságirányú valódi alakváltozásának a hányadosa.

Szakítóvizsgálatkor a nagyobb mértékű hosszúságváltozás sokkal pontosabban mérhető, mint a kisebb mértékű vastagságváltozás, ezért a gyakorlatban a próbatest vastagságirányú alakváltozása helyett a hosszirányú alakváltozását mérik, és a Lankford-számot – a térfogatállandóságot feltételezve – a következő képlettel határozzák meg: ahol s a vastagságot, b a szélességet, L a hosszúságot jelenti, a 0 első index pedig az adott paraméter kiindulási értékét jelzi. [1]

MAGNETOAKUSZTIKUS MÉRÉSEK

A magnetoakusztikus módszer olyan eljárás, amely segítségével a váltakozó mágneses tér hatására előálló akusztikus emissziós (AE) kitöréseket lehet kimutatni. Ezek a kitörések nagyobb amplitúdóval jelentkeznek olyan területeken, ahol a mágneses tér változásának gradiense nagyobb értékkel bír. A mérésben követjük az AE jelek gyökénegyzet (RMS), azaz effektív értékének kapcsolatát az acéllemez nyúlásának irányával.

Ez a módszer lehetővé teszi a hidegen hengerelt acéllemezek anizotrópiájának roncsolásmentes vizsgálatát. A vizsgálatához olyan acéllemezt választottunk, amelyet korábban nem mágneseztek. A mágneses teret egy járommágnes segítségével hoztuk létre, amit egy bipoláris tápegység működtetett 6 voltos feszültséggel. A tápegységhez egy 1 Hz-es szinuszhullámot generáló függvénygenerátorral hajtottuk meg, azaz másodpercenként kétszer változott a mágneses tér. A szenzort, amely érzékelt a mágneses tér által gerjesztett hullámokat, a járommágnes két lába közé helyeztük, egyenlő távolságban egymástól. A járommágnest minden mérésnél 15 fokként forgattuk, és minden pozícióban 3 másodperces méréseket végeztünk.

AKUSZTIKUS EMISSZIÓS MÉRÉSEK

Ebben a módszerben egy hidegen hengerelt acéllemez anizotrópiáját vizsgáljuk, és ezt az ultrahang sebességének különböző irányokban végzett mérésével szemléltetjük. A vizsgálatához egy sablont alkalmazunk, amely pozicionálja az akusztikus emissziós (AE) szenzorokat 15 fokos szögben. A mérés során két AE szenzort használunk. Az egyik szenzor ultrahang adóként funkcionál, impulzust bocsát ki.

A másik szenzor a vevő funkciót látja el, és érzékeli a kibocsátott impulzust. Az impulzus kibocsátásától a vevőnél történő észlelésig eltelt idő alapján számítjuk az ultrahang terjedési sebességét különböző irányokban. Az alábbi ábrán látható, hogy milyen terjedési sebességeket mértünk 15 fokonként.

EMAT-MÉRÉSEK

Az ElektroMágneses Akusztikus Távadó, vagy röviden EMAT, olyan eszköz, amely képes különböző irányú ultrahanghullámok létrehozására és észlelésére az anyagon belül. Ez nem csak a hagyományos longitudinális és transzverzális hullámokat képes előállítani, hanem képes felületi hullámok generálására is.

Mérésünk során egy EMAT-fejet alkalmaztunk, amely tartalmaz egy mágneses elemet és váltakozó árammal működő tekercsüket. Ennek az eszköznek a segítségével képesek vagyunk létrehozni merőleges vertikális nyíró hullámokat az anyagban. Ezek a hullámok visszaverődnek az anyag hátfelületéről, majd visszatérnek az EMAT-fejhez, ahol érzékelik őket. Az EMAT-fej lényegében hasonló működést mutat, mint a hagyományos ultrahangos szenzor, vagyis képes ultrahangot kibocsátani és visszavert hullámokat érzékelni. [2]

Az anyag anizotrópiáját a két merőleges hullám repülési idejének (Time of Flight) különbségéből számított Birefringence értékkel jellemezhetjük. Ez az érték segít az anizotrópia mértékének meghatározásában és az ultrahangos vizsgálat eredményeinek értelmezésében.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott acéllemezek szakítóvizsgálati eredményeit is elemeztük. Az eredmények alapján megfigyeltük, hogy a szakítóvizsgálat során mért képlékeny alakváltozási viszonyszámok összefüggnek a különböző fokokban kivágott szakító próbatestek Lankford-számával és az általunk végzett mérések által meghatározott anizotrópiával. Az eredmények azt mutatják, hogy a hengerlési irányhoz és a rá merőleges irányhoz képest a terjedési sebesség 45 fokos szögönként növekszik. Ezzel párhuzamosan a Lankford-szám és a keményedési kitevő meglehetősen csökken.

Köszönetnyilvánítás

Az NKFIH-1267-2/2020 számú, Roncsolásmentes folyamatkövetés tématerület című projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Köszönetet mondunk Dr. Csepeli Zsoltnak és Szabados Ottónak az anyagvizsgálati diszkusszióért, valamint Földi Józsefnek a rendelkezésünkre bocsátott mintákért.

Külön köszönet a Miskolci Egyetem támogatásáért.

IRODALOM

- [1] Hoffmann Ádám–Béres Gábor (2022): *A Lankford-szám megváltozásának vizsgálata a képlékeny alakváltozás és a hengerlési irány függvényében*. Link: https://gradus.kefo.hu/archive/2022-2/2022_2_ENG_004_Beres.pdf
- [2] Innerspec EMAT oktatási anyag.

Csonka Ferenc, Dr. Bajor Péter, Dr. Wizner Krisztián
A mainTTwin interaktív modellkörnyezet kialakítása
hallgató, Dunaújvárosi Egyetem,
egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem,
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet,

Kulcsszavak: Karbantartás, oktatás, informatika.

BEVEZETÉS

A mainTTwin karbantartási folyamatirányítást támogató rendszer egy modern és fejlett CMMS (Computerized Maintenance Management System) rendszer, amely lehetőséget biztosít a gépkezelők és karbantartók számára az üzemerületen tapasztalt jelenségek in-situ, „smart” módon történő rögzítésére és kezelésére. Ez a rendszer egy átfogó megoldást nyújt a karbantartási folyamatok hatékonyabb irányítására és optimalizálására. [1-6]

A mainTTwin számos előnyös funkciót és lehetőséget kínál. Lehetővé teszi a karbantartási tevékenységek tervezését, ütemezését és nyomon követését, valamint az erőforrások hatékony kihasználását. A rendszer segítségével könnyedén létrehozhatunk karbantartási munkarendeket, rögzíthetünk eseményeket és nyomon követhetjük azok előrehaladását.

Emellett a mainTTwin lehetővé teszi a karbantartási feladatok dokumentálását és az adatok könnyű hozzáférhetőségét. Az adatok centralizáltan tárolódnak, így könnyedén elérhetők és kereshetők a szükséges információk. Ez segít a gyors döntéshozatalban és az adatvezérelt elemzésekben, amelyek hozzájárulnak a karbantartási folyamatok fejlesztéséhez és a hatékonyság növeléséhez.

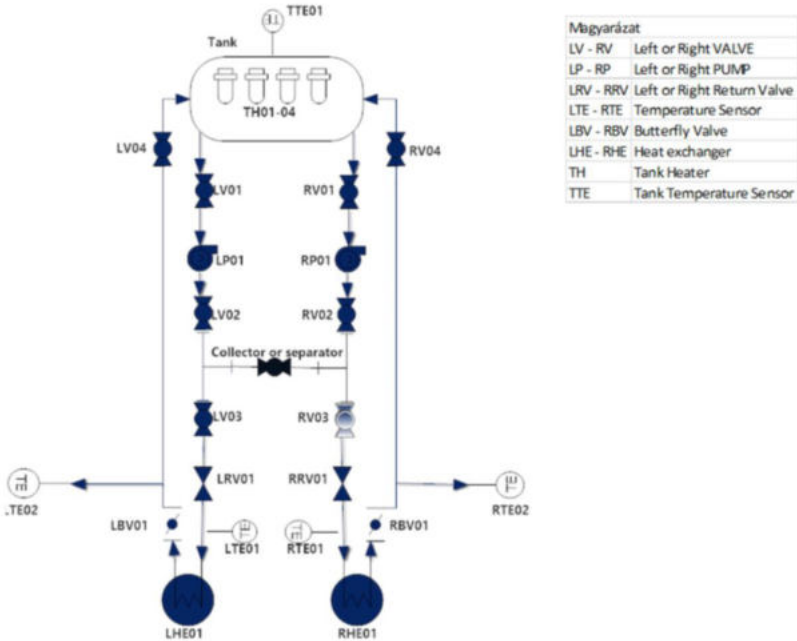
A szoftver mellé társul egy interaktív modellkörnyezet, aminek több szerepe is van. Az egyik szerep az, hogy a szoftver megalkotásához modellezni tudjuk az egyes karbantartási folyamatokat és

integrálni az egyes idő közben felmerülő problémákra kínált megoldásunkat. A főbb szerepe az oktatási jelleg, amely lehetővé teszi a szoftver bevezetését ipari szereplőknél. Ennek részeként a karbantartók egy terepasztalhoz hasonló környezetben sajátíthatják el a szoftver használatát és gyakorolhatják a különböző karbantartási folyamatokat. Ez a gyakorlati megközelítés segít a felhasználóknak jobban megismerni a rendszer működését, ez kamatoztatható a valós munkakörnyezetben.

AZ INTERAKTÍV MODELLKÖRNYEZET FELÉPÍTÉSE, RENDSZERVÁZLATA

A modellkörnyezet felépítéséhez meghatároztuk azokat az elemeket, amelyekről úgy gondoltuk, elengedhetetlen része egy tanulmányozható rendszernek. A rendszer megalkotásakor figyelembe vettük a majdani szerepét, többek között, hogy szimulálhassunk átállást, „termelésnövekedést”, üzemzavart, meghibásodást. Elhelyeztünk a vázlatban visszacsapó szelepet, szerelvényeket, hőmérőket, fűtőelemet, hőcserélőt, szivattyút, hűtőventilátort. (1. ábra) Ezeknek az alkotóelemeknek köszönhetően karbantartásban megjelenő feladatokat tudunk készíteni, szimulálni a modellre. Így az esetleg kérdéses folyamatokat tudjuk kezelni és integrálni a szoftverbe.

1. ábra. Kezdeti P&ID diagram

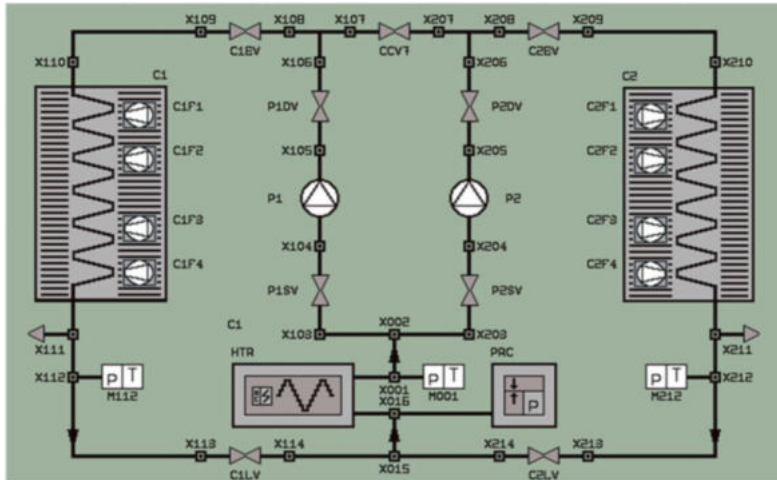


Később kidolgoztuk a részletes rendszervázlatot, ahol egy ipari környezethez illően alfanumerikával láttuk el az egyes gépelemeket. Az alfanumerika fontos szerepet játszik a karbantartásban, különösen a dokumentáció és az azonosítás terén. Az alfanumerikus kódok és jelölések lehetővé teszik a hatékony és pontos azonosítást. (2. ábra)

- *Azonosítás:* Pontos beazonosítás, az alfanumerikus jelölés vállalatunként eltérhet
- *Dokumentáció:* Az alfanumerikus kódok megjelennek a karbantartási dokumentációban, a munkaengedélyeken. A kódok használata lehetővé teszi a gyors és pontos hivatkozást.

- *Kommunikáció:* Kifejezik az eszköz, gép típusát, vagy egyéb releváns információkat, mint például lokális elhelyezkedését, oszlopszámot, szintet.
- *Rendelkezésre állás:* Az alfanumerikus kódokhoz hozzárendelhető tartalék alkatrész, így megkönnyíti a raktározási folyamatot.

2. ábra. Rendszervázlat a rendszerkörnyezetről



1. táblázat. Alfa-numerika meghatározásának alapelve

| | | |
|-----|------------------------------|------------------------------|
| X | 0 közös, 1 bal, 2 jobb oldal | bontható csatlakozási pontok |
| P | pump | szivattyú |
| SV | suction side control valve | szívóoldali szelep |
| DV | discharge side control valve | nyomóoldali szelep |
| C | cooler | hűtő |
| F | fan | hűtőventilátor |
| HTR | heater | fűtőkészülék |
| PRC | pressure controller | nyomástartó- és utántöltő |

IRODALOM

- [1] Babtista – 2020 – Industrial Maintenance – Techniques, Stories, and Cases
- [2] Agustiady–Cudney (2016): *Total productive maintenance strategies and implementation guide.*
- [3] DOE (2010): *Operations and Maintenance Best Practices.*
- [4] Handbook of maintenance and engineering. In: Ahmed E.–Haroun, Salih O.–Duffuaa (Eds.): *Mohamed Ben-Day.*
- [5] Diaz Reza et al. (2020): *Impact Analysis of Total Productive Maintenance Critical Success Factors and Benefits.*

Köszönetnyilvánítás

A publikáció részét képezi a 2019-1.2.1-Egyetemi-Öko-2019-00008 pályázat keretében meghirdetett „Proof of Concept” II (2022-2023) projektnek

Csonka Ferenc, Dr. Bajor Péter, Dr. Wizner Krisztián
A mainTTwin modellhez kapcsolódó jelölő rendszer
hallgató, Dunaújvárosi Egyetem,
egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem,
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Karbantartás, oktatás, informatika.

BEVEZETÉS

Nagyüzemi környezetben a berendezéskezelőknek a túra útvonala adott. Az időlimit hiányában a főbb gépegységek és a hozzá tartozó műszerek ellenőrzésére kerül sor, viszont a két gépegység között bejárt útvonalon észre vehet olyan hibákat, amik naplózása hosszas és nagy fáradtsággal jár.

Erre kínálunk megoldást a MainT'Twin-alkalmazással, ami magában foglal egy szoftvert, mely képes olvasni az üzemegységekben kihelyezett QR-kódokat (1. ábra) és mágneses jelölőket, amivel pontosan lehet lokalizálni a meghibásodás helyét.

1. ábra. QR-kód (UG14) [1-6]



JELÖLÉS METODIKÁJA

A kezelő sétája során beolvassa az alkalmazással a QR-kódot, ezzel egyidejűleg rögzítésre kerül az ottjárta és az, hogy az ellenőrzés megkezdődött. Úgy kell kialakítani a gépházban/gyártósoron az eszköz adattábláját (id, alfanumerika), hogy ahhoz tartozzon olyan lapka, amire fel tudja tenni a mágnes (szivattyúk, szelepek, tolózárak, hőcserélők, a rendszerelemekhez befutó csövek, manométerek, hőmérők, gőzcsapdák, egyéb berendezések...).

A QR-kód tartalmazza az üzemegység vagy berendezés alfanumerikáját, ami mutasson a helyi hálózaton elérhető olyan releváns adatokra, amelyek az adott berendezés adatait tartalmazzák, hozzá pedig képi, hangi vagy szöveges jegyzetet tud csatolni. A hiba közvetlen közelébe ki tud helyezni mágnes jelölőt.

A gépkezelő az okos eszközén előírt szemrevételezési útvonalait járja be, ezen útvonal nem érint feltétlenül minden rendszerelemet, de az ellenőrizendő fő berendezések között járva észlel egyéb hibákat is, amiket különben legfeljebb feljegyezne

a műszakvezetőnek. A feljegyzés időigényes így a bejárás végeztével elmaradhat, részben készül el, hiányos. A MainTTwin-alkalmazásban a jegyzetet, ami lehet hangalapú is hozzárendeli az eszköz kódjához, megmarad és tovább megy az információ, nem csak a következő műszakhoz, hanem az utána jövőkhöz is.

Mikor a szemrevételezési listáján szereplő berendezést ellenőrizve hozzárendel egy kódot, ennél fogva nem kell külön „papírozni”, az applikáció feldobja az eszköz adattábláját, jelezve a kitöltendő adatokat melyek lehetnek: igen-nem, valamely érték, mit kér. Poka-yoke elven addig nem tud tovább haladni, amíg nem tölti ki, emellett az is beállítható, hogy bizonyos esetekben szól a rendszer, miszerint, ha tényleg ekkora az érték ellenőrizze újból, illetve ellenőrizzen egyéb paramétereket is. Ráadásul ideális a rendszer, időbéléggel logoljuk, hogy egyes bejárások összességében meddig tartottak.

Azonban nem egy berendezésen, hanem annak közelében érzékel hibát mondjuk: rendellenes zaj a csőben, de lehet egy törött merevítés, egy deformálódó csőszakasz, tartószerkezet hibája, egy fellazult csavar is akkor felteszi a hibahelyhez közel, és hozzá lövi a környezetében legközelebb található eszköz kódját.

A mágneses jelölőt akkor lehet levenni, ha sikerült megszüntetni a hibát, vagy ha következő műszak észleli és további intézkedések alá vonja a berendezést. Ebben az esetben is fontos, hogy a hibát jelző munkatárs az ő műszakjában a túraútvonalával érintse, és a kódot belőve tudja nyugtázni, hogy megtörtént a javítás vagy helyreállítás.

Amennyiben bevezetünk egy másik színű mágneset is (például: sötétzöld vagy sárga) akkor azt fel lehet tenni azokra a szakaszokra, ahol éppen tervezett leállítás van. Karbantartás vagy átalakítás ideje alatt.

Emellett bevezetünk egy tiltó színűt is, mint a piros (az egyszerű felismerés okán mert az emberek nagy százaléka a piros színt

a tilossal feleltetik meg), az jelzi, hogy ezt a szivattyút nem szabad indítani, amennyiben üzemel, akkor azt haladéktalanul jelezni kell.

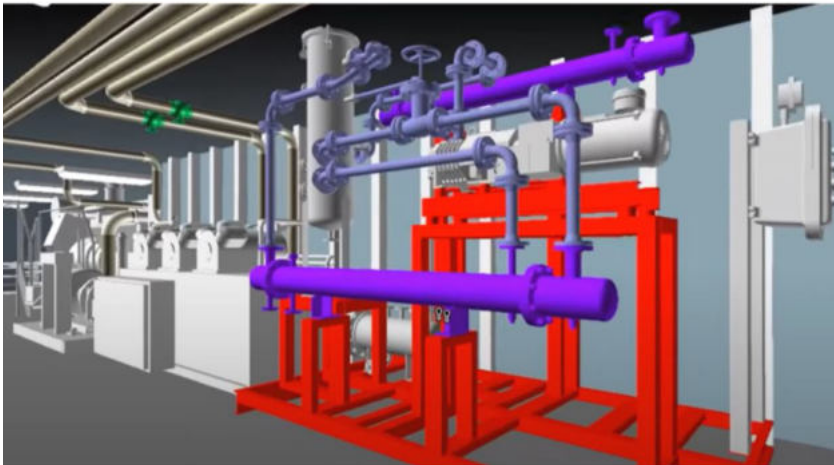
Amennyiben a technológia és a jogkörünk engedi le kell alítani, ezen a csövön most nem szabadna áramlást érzékelni, amennyiben mégis, jelezni kell (stb...).

Az adott technológiai rendszer gazdájának üzemi bejárás alatt temérdek csatlakozási pontot, valamint diferens forgógépek rögzítési és alátámasztási pontjait kell ellenőriznie.

Ezen csatlakozási pontok közül kettő be lett jelölve világoskék körvonallal, a villanymotorok pedig zöld négyzettel, a rendszer indítópaneljén az alfanumerikája alatt található a QR-kódja.

Ez a MainTwin QR-kód jelölés alapelve, természetesen berendezésenként több kódot is használhatunk, itt gyűjtőkód található. (2. ábra)

2. ábra



KONKLÚZIÓ

A naplózott jelenségek elérhetőek egy szerveren, ami hozzáférhetőséget biztosít, így a hibajelzés azonnal megvalósul a karbantartás vezetésnél, illetve a karbantartóknál. Ez csökkenti annak kockázatát, hogy az információ elveszzen, vagy hiányosan érkezzon vissza a felhasználójához. Továbbá a karbantartó személyzet időt spórol azzal, hogy a problémát vizualizálja a szoftver, így már a megfelelő szerszámokkal és alkatrészekkel tud felvonulni a szerelési helyszínre. A szerelés akkor tekinthető befejezettnek miután a QR-kód beolvasásra kerül és a naplózott bejegyzés állapotát KÉSZ-nek nyilvánítja. Ha ez az adott műszakon belül nem valósul meg akkor bővítheti a naplót további bejegyzésekkel. Így valósulhat meg az online nyomon követése a karbantartás megvalósulásának.

Legfőbb előnye az alkalmazásnak, hogy az információcsere felgyorsul, az adatok mentése révén a későbbiekben bármikor visszatekinthetőek és importálhatók pl. MS Excelbe. A kinyert információkból így statisztikát is lehet vezetni. A berendezéskezelőben tulajdonosi szemlélet ébred így munkáját precízebben végzi majd el és akár egy jutalomrendszer is építhető a feltárt és megoldott hibák hányadosa után.

IRODALOM

- [1] Babtista (2020): *Industrial Maintenance – Techniques, Stories, and Cases.*
- [2] Agustiadny–Cudney (2016): *Total productive maintenance strategies and implementation guide.*
- [3] DOE (2010) *Operations and Maintenance Best Practices.*
- [4] Handbook of maintenance and engineering. In: Ahmed E.–Haroun, Salih O.–Duffuaa (Eds.): *Mohamed Ben-Day.*
- [5] Diaz Reza et al. (2020): *Impact Analysis of Total Productive Maintenance Critical Success Factors and Benefits.*
- [6] Stamatis (2010): *The OEE Primer.*

Köszönetnyilvánítás

A publikáció részét képezi a 2019-1.2.1-Egyetemi-Öko-2019-00008 pályázat keretében meghirdetett „Proof of Concept” II (2022-2023) projektnek.

*Ledneczki Alex, Dr. Bajor Péter, Hári László Róbert,
Dr. Wizner Krisztián*

RemotEar-projekt helye az ipari alkalmazásban

*hallgató, Dunaújvárosi Egyetem,
egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem,
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem,
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem,*

Kulcsszavak: Karbantartás, diagnosztika, informatika.

AZ AUDIO DIAGNOSZTIKA – A PROBLÉMA

A modern diagnosztikai rendszerek alkalmazásának a hazai karbantartási kultúrában jelenleg két fő akadálya azonosítható: egyrészt az ilyen rendszerek létesítésének és működtetésének költségét a jelentős egyszeri bekerülési érték és a képzett szakembergárda alkalmazása miatt sok vállalat riasztóan magasnak ítéli (a szakembergárda felépítése már nemcsak a kkv szektorban ütközik nehézségekbe), másrészt ezeknek a rendszereknek a beépülése a mindennapi működésbe elsősorban a szervezet elutasítása miatt nehezen valósul meg. Megoldásunkkal költséghatékony módon biztosítható, hogy a gépkezelő személyzet „füle” az adott gépházban üzemelő berendezések környezetében folyamatosan jelen legyen, és az audio-jelek rögzítésének és automatizált

feldolgozásának köszönhetően az üzemeltetési és karbantartási tapasztalatokkal összhangban biztosítsa a gépek rendelkezésre állásának folyamatos felügyeletét. A rendszer változatos ipari környezetekben is alkalmassá tehető arra, hogy segítségével folyamatosan azonosíthatók legyenek a normál működésre és a rendellenességekre utaló zajok (amiket egyébként az időszakosan ott tartózkodó személyzet is érzékelne), megkülönböztethetők és visszajátszhatók legyenek a szélsőséges üzem- és hibaállapotok. Mivel a diagnosztikában az alapvető érzékszervi állapotfelmérésre összpontosít, alkalmazásával együttműködő szakmai partnerként éppen azokat a személyeket vonhatjuk be a diagnosztikai tevékenységbe, akik a gépek működésével kapcsolatban a legtöbb tudással rendelkeznek a szervezetben (ők látják majd el a különböző időjelek elsődleges minősítését is). A neurális hálózatok és a gépi tanulás alkalmazása így a szervezeti tudásra építve olcsó és hatékony üzemeltetést és karbantartást támogató rendszert eredményez.

A hangelemzés sokoldalú és ezzel összefüggésben még több olyan problémát lehet azonosítani, melyre az audio analízis diagnosztikai, vagy biztonságtechnikai megoldást képes nyújtani. Rengeteg olyan folyamat van az ipari termelés során, melyekről nincsen valós idejű információnk (bizonyos kapcsolások megtörténtek-e vagy sem; egy időben történtek-e vagy sem; az a kapcsoló kapcsolt-e be, amelyiknek kellett, vagy sem). Az imént említett példák a megerősítés, a hangelemzés-alapú rendszerek elengedhetetlen alkalmazására akár ipari, akár otthoni környezetben.

Atomerőművi gyakorlatunk során tapasztalhattuk az emberi fül érzékelésének pontosságát. A turbinagépházban – mely alpból rendkívül zajos – a turbinasoron, üzemelő blokkon áthaladva, a többnyire monoton alapzajból szabad füllel is hallható volt, hogy folyik a víz egy kiegészítő rendszerhez tartozó csővezetékben,

ennek oka, hogy az armatúra nem volt teljesen elzárva. Az esetet követően értesítettük a gépészeket, akik elsősre nem voltak tisztában a problémával, majd azonnal intézkedtek. Az imént említett eset is azt mutatja, hogy a hangokból rendkívül sok, értékes információt tudunk kinyerni, továbbá állandó felügyelet mellett képesek lehetünk az alap – normál állapottól – eltérő hanghatásokat észlelni, így időben megkezdni a hiba javítását.

Kiemelkedően fontos tehát az olyan gépállapot-felügyelet, amely lehetővé teszi számunkra, hogy valós idejű információt kapjunk az aktuális gépek állapotáról, anélkül, hogy azok közvetlen környezetében tartózkodnánk. A lehetőség, hogy időben beavatkozhassunk egy esetleges hiba vagy rendellenesség fennállása esetén jelentősen megnövekszik, ha pontosan tisztában vagyunk azzal, hogy a gépünk hol tart az elhasználódási tartalékát figyelembe véve. Azt a problémát is figyelembe kell venni, hogy különböző típusú gépek különböző diagnosztikai eszközöket igényelnek, ezért egy közvetlen érintkezést nem igénylő, egyszerre több gépre is alkalmazható rendszert, eszközt kell a karbantartó szakembereknek alkalmazniuk a mindennapi munkavégzés során.

REMOTEAR – A MEGOLDÁS

Az üzemkörnyezetbe kitelepített mikrofon és egy hozzá kapcsolódó diagnosztikai szoftverelemző program segítségével online monitoring rendszert tudunk kiépíteni, mely folyamatos jelzéseket küld a gép állapotát illetően. A mikrofon érzékeli a jellegzetes hangokat, hangfelvételt készít a gép közvetlen környezetében, a folyamatos felvételek elemzése után pedig trendeket állít fel.

Ezek alapján, nyomon követhetjük a berendezésünk állapotát, valamint kidolgozhatunk egy arra a gépre, közegre ideális karbantartási stratégiát. Egy készülékkel egyidejűleg akár több gépet is tudunk monitorozni!

Nemcsak a gépházakban történő hanghatásokból tudunk következtetéseket levonni, de szélesítve az egyéb lehetőségek palettáját, akár kapcsolószekrény közelébe, akár mezőgazdasági (pl. présgépekhez), sőt még otthoni használatra is alkalmas megoldás lehet az audio diagnosztikai rendszerek bevezetése és alkalmazása. A fő irányvonal azonban elsősorban a forgó gépeket működtető cégek és vállalkozások azok, melyek számára megoldást kínálunk.

A RemotEar-rendszer kiépítésekor gépcsoportonként vagy gépházanként egy-egy adattárolóval és párhuzamos kommunikációs interfészekkel ellátott speciális (a feladathoz illeszkedően választott) mikrofon kerül telepítésre, melyek képesek egymással és a mintavételezett audiojelek feldolgozását végző központi felügyeleti adattároló-feldolgozó egységgel kommunikálni. A helyi adatgyűjtő egységek saját tároló- és feldolgozó intelligenciával is rendelkeznek, ennek köszönhetően alkalmassá tehetők a lokális riportokra, esemény- és vészjelzésekre. A partnernek ezeket az eszközöket nem szükséges megvásárolni, a rendszert havidíjas szolgáltatásként tervezzük működtetni, ezáltal elsősorban az unikális rendszer és az egyetemünkön, fejlesztői csapatunkban meglévő egyedi szaktudás értékesítése a cél. A havidíjas szolgáltatás keretében telepítjük az eszközöket, megvalósítjuk az adatgyűjtés csatornáit, üzembe helyezzük a szakértői rendszert, amelyhez a partner számára is hozzáférést biztosítunk. Az innováció fő fókusza, hogy ebben a szakértői rendszerben a partner, a megrendelő szervezetének tudására építünk – a gépkezelő, üzemeltető személyzet és az ő munkájukat támogató helyi menedzsment értékelheti az audio-jeleket, azonosíthatja a rendellenes mintákat, amelyek azonosításáról gondoskodunk. Kialakítjuk az egyedi riportok rendszerét, szakmai támogatást adunk a működés értékeléséhez, az üzemeltetési és karbantartási stratégia felülvizsgálatához. Míg a hagyományos versenytársaink (termográfiai, rezgésdiagnosztikai, ultrahang-

diagnosztikai rendszerek) működtetése olyan különleges szakértelmet igényel, amely a kezelő személyzet részéről legfeljebb csak korlátozottan áll rendelkezésre, a RemotEar-rendszer éppen azokat az információkat szolgáltatja, ami a meglévő, helyi tudásra, tapasztalatra építve biztosítja a hatékony üzemfelügyeletet. Ráadásul használatával a berendezésekhez fizikailag legközelebb álló, azokat legalaposabban ismerő munkatársak rejtett („tacit”) tudása is felértékelődik, motivációjuk és elkötelezettségük a rendelkezésre állás biztosításában nagymértékben nő. Az üzleti modellünk ezen felül alacsony kockázatú belépési feltételt támaszt a megrendelők számára – az eszközök felhelyezése utáni próbaüzemet követően akár arról is dönthetnek, hogy a szolgáltatást nem kérik (kevésbé valószínű eset, sokkal inkább arra kell számítanunk, hogy a próbarendszer kiterjesztését igénylik). A rugalmas telepítés, az önálló kommunikációs hálózat, a szakértői rendszer folyamatos bővülése, az értékelés automatizálhatóságának távlatai mind az egyre termelékenyebb üzemelés irányába mutatnak. A hagyományos szellőző- vagy szivattyúgépházak, szerverparkok üzemeltetése mellett a tisztatéri technológiák, a gyártósorok, a villamos kapcsolóterek, valamint a járműipari, szállítási infrastruktúra felügyelete tovább szélesíti az alkalmazási lehetőségek körét (például egy tehergépkocsi vagy vasúti kocsis zárt rakterének audio-felügyelete képes lehet jelezni rakományrögzítési problémákat, hibaeseményeket, stb).

IRODALOM

- [1] Nagy István (2006): *Műszaki Diagnosztika I.* Budapest: Delta-3N Kft.
- [2] Christian Eichler (1982): *A karbantartás tervezése.* Budapest: Műszaki.
- [3] Kovács Zoltán (2001): *A karbantartás új definíciója.* Nemzetközi Karbantartási Konferencia kiadványa. Veszprém. pp. 11–13.
- [4] Gaál Zoltán–Kovács Zoltán (Szerk.): *Megbízhatóság, karbantartás.* Budapest.

- [5] Pokorádi László (2002): *Karbantartás elmélet*. Debrecen.
- [6] Dömötör Ferenc (2002): *Rezgésdiagnosztika alapja*. Dunaújváros: Főiskolai Kiadó.
- [7] Dömötör Ferenc (2002): *Rezgésdiagnosztika I*. Dunaújváros: Főiskolai Kiadó.
- [8] White–Louie (2005): *The audio dictionary*.
- [9] Stamatis (2010): *The OEE Primer*.
- [10] Babtista (2020): *Industrial Maintenance*.
- [11] ICG Stádium (2022): *Karbantartás fejlesztés coaching szemléletben – az egyénre szabott vállalatfejlesztés*. <https://www.icgstadium.hu/insights/karbartartas-coaching/>
- [12] Suleiman et al. (2019): Rotating machineries – Aspects of operation and maintenance. *Springer*, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-2357-7>
- [13] Lim (2020): *Quality Management in Engineering. A Scientific and Systematic Approach*. CRC Press.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció részét képezi a 2019-1.2.1-Egyetemi-Öko-2019-00008 pályázat keretében meghirdetett „Proof of Concept” II (2022-2023) projektnek.

*Ledneczki Alex, Dr. Bajor Péter, Dr. Hári László Róbert,
Dr. Wizner Krisztián*

RemotEar projekt keretében vizsgált hangok érzékelésének lehetőségei

*hallgató, Dunaújvárosi Egyetem
egyetemi adjunktus, Óbudai Egyetem
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem,
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem,*

Kulcsszavak: Karbantartás, diagnosztika, informatika.

BEVEZETÉS

A RemotEar karbantartási stratégiát támogató műszaki diagnosztikai rendszer a szabad füllel is hallható gépházi hangok rögzítésével és elemzésével biztosítja az üzemeltetéshez és felügyelethez elengedhetetlen információkat. Innovatív értéke a helyi szakembergárda bevonásával a beágyazódás magas mértékének biztosítása.

A gépházakban fellépő hangalapú hibákat gyakran az emberi fül érzékelési tartománya is képes kiszűrni, azonban a karbantartó személyzet nem tartózkodhat az üzemi környezetben állandó jelleggel. Egyrészt a munkakör nem teszi ezt kivitelezhetővé, másodrészt pedig komoly egészségügyi problémák jelentkezhetnek, jellemzően halláskárosodás, ezért elengedhetetlen az ilyen helyekre kitelepíteni egy olyan eszközt, rendszert, mely időben észleli a hibát, majd visszajelzéseket küld a gép állapotáról oly módon, hogy a diagnosztának nem szükséges a gépek közvetlen környezetében tartózkodnia.

A tapasztalat általánosságban azt mutatja, hogy minél különfélébb eszközökkel figyelünk meg egy gépet, annál átfogóbb képet kapunk annak állapotáról, ezért kijelenthető, hogy a diagnosztikában leggyakrabban alkalmazott rezgésmérő műszerek és a RemotEar diagnosztikai rendszer a diagnosztika gép- és rendszerismeretével ötvözve, megbízhatóan és hatékonyan tudná egymást kiegészíteni.

A GÉPEK RENDELLENES HANGJAI

Adott gép rendeltetésszerű működéséről a fent említett diagnosztikai érzékelők megléte nélkül is sok esetben meg tudunk győződni.

A berendezések felügyelete során, a megfelelő gépvédelmi és diagnosztikai eszközök alkalmazása leginkább a hibák azonosításában kap fontos szerepet, azonban egy gép vizsgálata során olyan információkat is kaphatunk, melyek a normál üzemelésről adnak visszajelzést. Az emberi érzékszervekre hagyatkozva gyakori, hogy a szabad füllel is hallható gépi hangok, kapcsolások megfelelőségét, vagy éppen nem megfelelőségét tudjuk determinálni. Ha az emberi érzékszervekre hagyatkozunk, és ezeket próbáljuk meg átültetni a gépek monitorozásába, a gépvédelmi és diagnosztikai rendszerünk megbízhatóbb és egyszerűbben felügyelhető lesz. S habár a RemotEar projekt fő vezetője, hogy *1 mikrofonnal és egy szoftverrel* a legegyszerűbben kezelhető, a rendellenességet – vagy megfelelőséget – megállapító, diagnosztikát bevonásával tökéletesíthető rendszer legyen kialakítva, az alábbi jelenségek gépházi környezetbe történő átvitele lehetővé teszi a gépek állandó felügyeletét a karbantartó távolléte esetén is.

A–B STEREO

Az A–B sztereó egy olyan felvételi módszer, amelynek során két körirányú mikrofont helyeznek el egymástól néhány méter távolságra, a hangforrás elé. Ezt a rendszert használta Harvey Fletcher a szimfonikus zenekar sztereofonikus reprodukálásának történelmi bemutatójában 1933-ban. Ezt a rendszert sztereó mikrofonként vagy térközzel elhelyezett omnidirekcionális mikrofonként is ismerik. A zenekar előtt elhelyezett két körirányú mikrofon biztosítja a sztereó hallgató számára a hangerőbeli különbségeket, az érkezési idő (vagy fázis) különbségét, és bizonyos mértékig a spektrális tartalom vagy hangszín különbségét a két csatorna között. Ezeket a jelzéseket hallómechanizmusunk használja a hangforrások helyének észlelésére. A mikrofonok

pontos elhelyezése a nézőtérén nagyon fontos a közvetlen és a visszhangos hang legjobb egyensúlyának eléréséhez. Semmilyen kiegyenlítés vagy egyéb jelfeldolgozás nem tudja korrigálni a rossz mikrofonelhelyezést. Az A–B sztereó felvétel általában több légkört vagy szobahangot biztosít, mint a többi rögzítési módszer, és ha jól sikerült, akkor zeneileg kielégítő perspektívával rendelkezik. Különösen sikeres, ha kiváló akusztikával rendelkező nézőtérén készítik.

BX-teszt

A hallgatási teszt egy fajtája, ahol egy személy megpróbál különbséget tenni két vagy több audioeszköz, például CD-lejátszó vagy erősítő között. A teszt az úgynevezett ABX-box használatát foglalja magában, az ABX Corporation eszközt, amelyet Arnold Krueger és Bern Muller talált fel 1977-ben (a híres Southeastern Michigan Woofer and Tweeter Marching Society vagy SMWTMS tagja), később David Clark finomította és forgalmazta. A készülék az A és B betűket rendeli a két összehasonlítandó eszközhöz, az X betűt pedig az egyik készülékhez. Egy sor kísérlet során a doboz véletlenszerűen hozzárendeli X-hez A-t vagy B-t. Az alany ezután meghallgatja A-t, B-t és X-et, és megpróbálja meghatározni, hogy X azonos-e A-val vagy B-vel; a doboz nyomon követi a válaszokat. Minden próba során az alany annyiszor hallgathatja A, B és X hangját, ahányszor szükséges, mielőtt válaszolna. A kísérletek hosszú sorozata során a hallgatótól elvárható, hogy pusztán találgatással 50%-os helyes pontszámot érjen el. Ha egy pontszám szignifikánsan jobb, mint 50%, akkor azt mondhatjuk, hogy a hallgató a kísérletek bizonyos százalékában képes megkülönböztetni az A és B komponenst. Az ABX-teszt meglehetősen népszerű, és általában megbízható módszer az audio-

termékek összehasonlítására, de az adott teszt sorozat eredményeinek statisztikai értelmezése nem olyan egyszerű és egyértelmű, mint azt elképzelnénk. Nem könnyű különbséget tenni az ismert helyes válaszok (azaz a különbség tényleges hallásán alapuló helyes válaszok) és a helyes találgatások között, különösen, ha a helyes válaszok aránya nem esik túl messze az 50%-tól. Ezért az eredmények értelmezésekor körültekintően kell eljárni. Ez egy példa a kettős vak tesztre, mivel a tesztet végző személy azt sem tudja, melyik eszköz az X.

Binaural

Szó szerint: „két fülünk van”. Mivel két fülünk van a fejünk szélességének megfelelően, hallószervezetünk számos jelzést tud használni, hogy meghatározzuk a hang irányát. Ezt a képességet „lokalizációnak” nevezik. A lokalizációs jelzések attól függenek, hogy a két fül némileg eltérő hangokat hall. Ezek a különbségek amplitúdó-különbségek, érkezési idő (fázis) különbségek és spektrális (frekvencia-válasz) különbségek kategóriába sorolhatók. Ha egy hang nagyobb hangerővel, korábbi időpontban vagy nagyobb magasfrekvenciás tartalommal hallható az egyik fülben, mint a másikban, akkor a hang a fej azon oldaláról jön. Minél nagyobbak a különbségek, annál távolabbinak tűnik a hang eredete. Ha nincs különbség, úgy tűnik, hogy a hang közvetlenül a fej elől jön. Mindhárom lokalizációs mechanizmus egyidejűleg működik. A fülek távolsága okozza a fáziskülönbségeket, a fej árnyékoló hatása és a fülek formája pedig az amplitúdó- és spektrális különbségeket. A binaurális hallás nagyon összetett jelenség, és nem teljesen érthető. Ez a pszichoakusztikus kutatások egyik témája, amelyet világszerte számos laboratórium végez aktívan.

Cocktail Party Effect

Pszichoakusztikus hatás, amely lehetővé teszi, hogy lokalizáljuk a körülöttünk lévő hangforrásokat. Azért merül fel, mert binaurális hallásunk van. Amikor egy személy olyan hangtérben van, ahol a hangok egyszerre több irányból érkeznének, lehetséges, hogy egy adott irányba irányítsa a figyelmét, és figyelmen kívül hagyja a többi irányból érkező hangokat. Például egy zsúfolt koktélpartin az ember a terem egy bizonyos pontján egy beszélgetőre koncentrálhat, a többiek kizárásával; a többi hang amorf háttérzajba olvad össze. Ha viszont egycsatornás (mono) felvétel készül ugyanazon a partin, akkor a lejátszás során nem lehet elkülöníteni az egyes hangokat. A binaurális felvétel és lejátszás visszaállítja a képességet. A hatás nagymértékben hozzájárul ahhoz a hangtisztasághoz, amelyet a nézőtéren élőzene hallgatásakor tapasztalhatunk, és megmagyarázza, miért kell monó felvételeket rögzíteni, hogy a terem visszhangjának nagy részét kizárjuk a lejátszás tisztaságának növelése érdekében. A sztereofonikus rögzítés helyreállítja a lokalizációs képesség egy részét, de csak a valódi binaurális felvétel eredményes. A koktélparti hatását Irwin Pollack és J. M. Pickett 1957-ben vizsgálta, és nevezte el így. A *Journal of the Acoustical Society of America* 1958 februárjában megjelent számában írtak róla.

Masking

A masking egy szubjektív jelenség, amelyben egy hang jelenléte gátolja azt a képességünket, hogy meghalljunk egy másik hangot. Mindannyian tudjuk, hogy általában nem hallunk halkabb hangokat hangosabbak jelenlétében, de a fülünk maszkolási teljesítményének pontos leírása nagyon összetett. Középfrekvenciákon egy adott

hangmagasságú hangos, tiszta hang sokkal hatékonyabban takarja el a lágyabb, magas hangokat, mint az alacsonyabb hangokat. Azonban nagyon alacsony frekvenciákon (körülbelül 30 Hz-től 60 Hz-ig), például azokon, amelyeket bizonyos orgonapedál-ütközők okoznak, nagyon kevés maszkolás történik, még akkor is, ha az alapszint nagyon magas lehet. Ezeknek a megállásoknak nagyon erősnek kell lenniük ahhoz, hogy egyáltalán hallhatóak legyenek, mert a hallásküszöbünk magas ezeken az alacsony frekvenciákon, és ez befolyásolja a maszkolási jelenséget.

Szinte minden kísérleti maszkolási vizsgálat tiszta hangokat használt tesztjelként, és az összetett hangok más összetett hangokkal való elfedése sokkal nehezebb és bonyolultabb vizsgálat. Nem feltétlenül igaz, hogy a 229-es maszkolás extrapolálhatja vagy összegezheti a tiszta hangmaszkolási adatokat, és értelmes komplex hangmaszkolási információkhoz juthat. A hangszerek egymás általi elfedésének tanulmányozása egy széles terület, amellyel részletesebben kell foglalkozni. Előfordulhat az is, hogy egy hangot egy olyan hang takar el, amely valamivel korábban hangzik el, mint a maszkolt hang, és ezt hívják előre irányuló maszkolásnak, vagy előre irányuló hallásgátlásnak. Georg von Békésy beszámolt a hallási visszafelé gátlás létezéséről, amikor egy korábbi hangot egy később érkező hang takar el, de mások nehezen reprodukálták eredményeit.

Transaural stereo

Felvételi és lejátszási technika, ahol egy binaurális fejet használnak a felvétel készítéséhez, de ahelyett, hogy fejhallgatón keresztül hallgatnák, két hangszórót használnak. A binaurális hallásviszonyok hangszórókkal történő szimulálásához a két jelet speciálisan fel kell dolgozni, hogy megszüntesse a csatornák közötti áthallást,

amelyet az okoz, hogy mindkét fül mindkét hangszórót hallja. Valódi binaurális hallgatási helyzetben minden fül csak a megfelelő mikrofon hangját hallja a próbafejben. A transzaurális rendszerben a mindkét fülben hallható áthallási jel törlődik azáltal, hogy a jel fordított másolatát beillesztik az ellenkező csatornába. Ha a beillesztett jel az áthallás jelének pontos mása, akkor a hallgató fülénél teljesen kialszik, így a valódi binaurális hallás hatását kelti. A probléma az, hogy meghatározzuk, mi az áthallási jel valójában, majd elő kell állítani. Számos séma létezik erre, amelyek közül az egyiket Atal és Schroeder szabadalmaztatta 1966-ban. A sémák változó sikert aratnak. Meg kell jegyezni, hogy minden hallgatónak egyedi fiziológiája van, és az egyik személy helyes törlési jele nem lesz megfelelő a másik számára. A meggyőző hatáshoz azonban nincs szükség pontos törlésre, és a hallgató mentesül a headset viselésének terhétől, hozzájárulva a realizmus érzetéhez.

IRODALOM

- [1] Nagy István (2006): *Műszaki Diagnosztika I.* Budapest: Delta-3N Kft.
- [2] Christian Eichler (1982): *A karbantartás tervezése.* Budapest: Műszaki.
- [3] Kovács Zoltán (2001): *A karbantartás új definíciója.* Nemzetközi Karbantartási Konferencia kiadványa. Veszprém, pp. 11–13.
- [4] Gaál Zoltán–Kovács Zoltán (Szerk.): *Megbízhatóság, karbantartás.*
- [5] Pokorádi László (2002): *Karbantartás elmélet.* Debrecen.
- [6] Dömötör Ferenc (2002): *Rezgésdiagnosztika alapja.* Dunaújváros: Főiskolai Kiadó.
- [7] Dömötör Ferenc (2002): *Rezgésdiagnosztika I.* Dunaújváros: Főiskolai Kiadó.
- [8] White–Louie (2005): *The audio dictionary.*
- [9] Stamatis (2010): *The OEE Primer.*
- [10] Babtista (2020): *Industrial Maintenance.*
- [11] ICG Stádium (2022): *Karbantartás fejlesztés coaching szemléletben – az egyénre szabott vállalatfejlesztés.* <https://www.icgstadium.hu/insights/karbantartas-coach-ing/>
- [12] Suleiman et al. (2019): Rotating machineries – Aspects of operation and maintenance. *Springer*, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-2357-7>
- [13] Lim (2020): *Quality Management in Engineering. A Scientific and Systematic Approach.* CRC Press.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció részét képezi a 2019-1.2.1-Egyetemi-Öko-2019-00 008 pályázat keretében meghirdetett „Proof of Concept” II (2022–2023) projektnek.

Sánta Róbert, Zónai Viktor

Kétfokozatú kompressziós hőszivattyú

*egyetemi docens, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet,
doktorandusz, Óbudai Egyetem.*

Kulcsszavak: Hőszivattyú, kaszkádrendszer, modellezés.

BEVEZETŐ

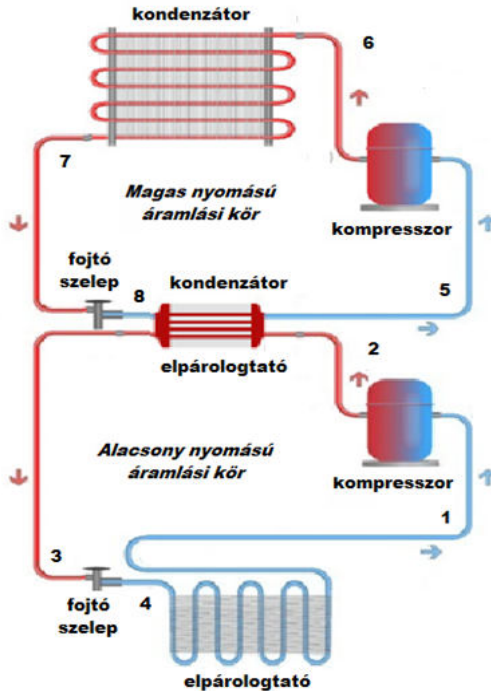
A hőszivattyúk alacsony karbonkibocsátással rendelkező fűtési és hűtési rendszerek, amelyek hatékonyan hasznosítják a környezetbarát energiaforrásokat hőenergia előállítására céljából. Ezek a rendszerek hozzájárulhatnak a karbonlábnyom csökkentéséhez és az üvegházhatású gázok kibocsátásának minimalizálásához.

A legnagyobb energia-megtakarítást az energiatermelés és -felhasználás ésszerűsítésével, az építmények hőveszteségének csökkentésével, valamint a fűtőberendezések optimális kiválasztásával és üzemeltetésével érhetjük el. Az épületgépészetnek a fűtési technológiák korszerűsítésével a közeljövőben várhatóan nélkülözhetetlen berendezése lehet a hőszivattyú.

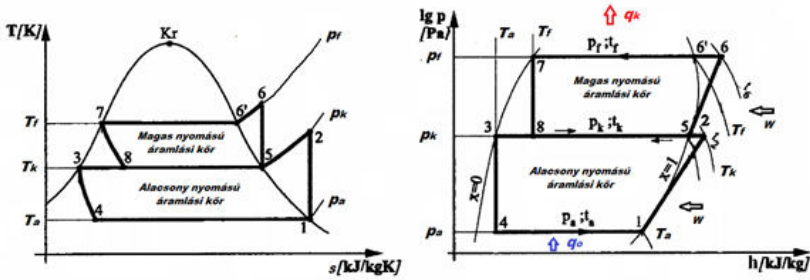
ANYAG

A bemutatott matematika modell eszközként szolgál a hőszivattyú működésének leírására, lehetővé teszi a hőmérséklet, nyomás, energiaátvitel és egyéb fizikai jellemzők számítását és modellezését. A kétfokozatú – két kompresszió és két fojtás akkor alkalmazzák, ha nagy a nyomásviszony, vagy ha az alsó hőfokszint igen alacsony, de a legtöbb esetben a kaszkád hőszivattyúk használata magas hőmérsékletű fűtési rendszerekben indokolt. A közbenső hőcserélő az alsó körben kondenzátor, míg a felső áramlási körben elpárologtató. A két – alacsony és magas nyomású – áramlási körben a keringtetett hűtőközeg tömegárama nem azonos.

1. ábra. Kétfokozatú hőszivattyú



2.ábra. A körfolyamat ábrázolása T-s és logp-h-diagramokban



Az 1. és a 2. ábrákon nyomon követhetjük a körfolyamatokban végbemenő állapotváltozások sorozatát. Az alacsony nyomású áramlási körben áramló hűtőközeg elpárolog a hőfelvétel során, 4–1 szakaszon. Majd a hűtőközeg a kompresszorban sűrítésre kerül, amelyet az 1–2 szakasz ábrázol. A túlhevített hűtőközeg a közbenső hőcserélőben hőleadás következtében kondenzálódik, a 2–5 szakasz a kondenzációs szakasz. A cseppfolyósított hűtőközeg beáramlik a fojtó szelepbe és lezajlik az izentalpikus fojtás a 3–4 szakaszon. A magasnyomású áramlási körben áramló hűtőközeg felveszi a hőt az alacsony nyomású áramlási körtől a közbenső hőcserélőben és ennek hatására a magasnyomású körben áramló hűtőközeg elpárolog, amely folyamatot a 8–3 szakasz jelöl. Az elpárologott hűtőközeg beáramlik a kompresszorban és a hűtőközeg komprimálódik amely az 5–6 szakasz ábrázol.

A 6–7 szakaszon a hűtőközeg cseppfolyósodik, mivel itt történik a hőleadás a fűtött közegnek. A kondenzálódott hűtőközeg a 7–8 szakaszon fojtásra kerül, majd pedig a körfolyamat ciklikusan ismétlődik a magasnyomású áramlási körben. A magas és az alacsony áramlási kör a közbenső hőcserélőben kapcsolódik és ellenáramú áramlás valósul meg. A hőátadás jön létre a két hűtőközeg között, az alacsony áramlási körben áramló hűtőközeg leadja a hőjét a magas nyomású körben áramló hűtőközegnek.

MODELLEZÉS

A közbenső hőcserélőben megvalósult hőátadás állandósult állapotra

$$Q_a = Q_f$$

$$q_a = q_0 + w_a = h_2 - h_3$$

$$q_f = h_5 - h_8$$

Átlagos hőmérséklet a kaszkád körfolyamat hőcserélőjében:

$$: T_m = \frac{T_{f,E} + T_{a,C}}{2}$$

A magas hőmérsékletű körben áramló közeg tömegáram:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_f}{h_5 - h_8}$$

Az alacsony hőmérsékletű körben áramló hűtőközeg tömegáram:

$$: \dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_a}{h_2 - h_3}$$

A kaszkád típusú hőszivattyú hűtési teljesítménye:

$$Q_0 = \dot{m}_a \cdot (h_1 - h_4)$$

A kompresszor energiaigénye alacsony hőmérsékletű áramlási körben:

$$P_a = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h_1)$$

A kompresszor energiaigénye magas hőmérsékletű áramlási körben:

$$P_f = \dot{m}_f \cdot (h_6 - h_2)$$

A kaszkád hőszivattyú fűtési teljesítménye:

$$Q_{fűtés} = \dot{m}_f \cdot (h_6 - h_7)$$

A kaszkád hőszivattyú COP-értéke:

$$COP_{fűtés} = \frac{\dot{Q}_{fűtés}}{P_a + P_f}$$

ÖSSZEGRÉS

Az elmúlt évtizedben igen nagyszámú, különböző típusú hőszivattyú körfolyamatát és annak energetikai jellemzőit vizsgálták a kutatók. Ebben a cikkben bemutatásra került, a kétfokozatú hőszivattyú működése és a körfolyamat matematikai modellje, stacioner állapotra. Az egyfokozatú kompresszoros hőszivattyúkkal üzembiztosan, jó hatásfokkal elérhető a kívánt hűtési és fűtési teljesítmény egy belátható hőmérsékleti tartományban, ez leggyakrabban 0°C elpárolgási és 60°C kondenzációs hőmérsékletek mellett, maximum -10°C külső levegő hőmérséklet mellett. Viszont a két, illetve több fokozatú hőszivattyúk kitűnően alkalmazhatók alacsonyabb, illetve magasabb üzemi hőmérsékletek mellett is, kielégítő COP-érték mellett.

IRODALOM

- [1] Sánta, Róbert (2021): Comparative Analysis of Heat Pump System with IHX Using R1234yf and R134a, *PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING*, 65., (4.), pp. 363–373.
- [2] Garbai, László–Sánta, Róbert (2012): Flow Pattern Map for In Tube Evaporation and Condensation. In: Szakál, Anikó (Szerk.): 4th IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources: Proceedings, Budapest–Subotica: Óbuda University–Subotica Technical College of Applied Sciences. pp. 125–130.
- [3] Sánta, Róbert–Garbai, László (2015): Measurement testing of heat transfer coefficients in the evaporator and condenser of heat pumps. *JOURNAL OF THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY*. 119., (3.) pp. 2099–2106.

- [4] Sánta, Róbert–Bošnjaković, Mladen–Čikić, Ante (2022): Experimental and Numerical Testing of Heat Pump Evaporator. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, 12., (23.), Paper: 11973, p. 18.
- [5] Owais, Al-A.–Farkas, F.–Sápi, A.–Szenti, I.–Boldizsár, T.–Kornélia B. Ábrahámné, B. K.–Kukovecz, Á.–Kónya, Z.: Differently shaped Al₂O₃-based Pd catalysts loaded catalytic converter for novel non-road mobile machinery exhaust systems. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, <https://doi.org/10.1007/s11144-022-02291-x>
- [6] Rajkumar, T.–Sápi, András–Ábel, Marietta–Farkas, Ferenc–Gómez, Juan Fernando–Pérez–Kukovecz, Ákos–Kónya, Zoltán: *Ni–Zn–Al-Based Oxide/Spinel Nanostructures for High Performance. Methane-Selective CO² Hydrogenation Reactions. Catalysis Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10562-019-03051-8>
- [7] Sápi, András–Mutyala, Suresh–Garg, Seema–Yadav, Mohit–Gómez–Pérez, Juan F.–Czirok, Fanni–Sándor, Zita–Hernadi, Klara–Farkas, Ferenc–Kovačić, Sebastijan–Kukovecz, Ákos–Kónya, Zoltán (Eds.): Size controlled Pt over mesoporous NiO nanocomposite catalysts: thermal catalysis vs. Photocatalysis. *Journal of Porous Materials*, <https://doi.org/10.1007/s10934-020-00978-x>

Ladányi Gábor

Hőrugalmas feladatok peridinamikus megoldása

mestertanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

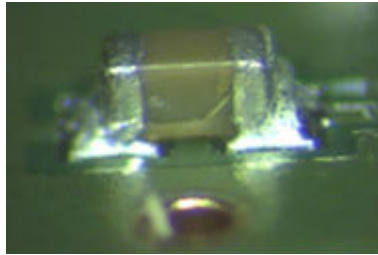
Kulcsszavak: Hőrugalmas anyag, peridinamikus modell.

KIVONAT

Az SMD (Felületre szerelhető elektronikai eszközök) összetett termomechanikai terhelésnek vannak kitéve a gyártás során, valamint szolgálati élettartamuk során is. Még a gyártás során is hólyagok és repedések keletkezhetnek a forrasztott kapcsolatokban és a törékeny anyagokból készült alkatrészekben, például kondenzátorokban. Az elsődleges kár jelentős hatással lehet a termék élettartamára.

A repedéskezdeményező és -terjedő modellezése nehéz a klasszikus végelem analízisben (FEM), a matematikai függvények differenciális analízisének szingularitása miatt. A kiterjesztett végelem módszer (X-FEM) és hálózat nélküli módszerek kifejlesztésre kerültek ezeknek a problémáknak a leküzdésére, azonban a repedések termomechanikai kapcsolódása és repedésgaletképződés további kutatást igényel.

1. ábra. Repedt komponens egy nyomtatott áramkörön



A Peridinamikus Kontinuum Modellezés (PCM) olyan módszer, amely dedikált a repedésképződés, -terjedés és törés megoldására integrálegyenletek segítségével. Az eredeti kötéalapú peridinamika esetén szakadó rugók vannak definiálva a kontinuum minden anyagi pontpárja között, míg egy fejlettebb állapotalapú modellezési módszerben erővektor is definiálásra kerül.

Ebben a munkában a termomechanikai problémákhoz kapcsolódó állapotalapú peridinamikus modellt fejlesztettünk ki, és alkalmaztuk hőterhelések okozta deformációk kimutatására a hőterhelés alatt álló modell alkatrészeiben, valamint a repedések keletkezésének és terjedésének megfigyelésére a hűtés során, kapcsolatban a komponensek hullámszórási technológiával történő rögzítésének modellezésével egy nyomtatott áramkörü lapon.

BEVEZETÉS

Az SMT (Felületre szerelt technológia) széles körben használt ipari megoldás az elektromos összeszerelések gyártásához sokféle felhasználási területen. Ezeknek az alkatrészeknek a nagy száma és jelentősége miatt elengedhetetlen a technológia megbízhatósága. Ezért fontos olyan elméleti és számítási modelleket kifejleszteni, amelyek erősen és megbízhatóan szimulálják a felületre szerelt alkatrészekkel ellátott elektromos lapok viselkedését. Az meglévő modellek, a következő okok miatt, nem feltétlenül elég kielégítőek minden mechanizmus modellezéséhez, ezért új modellezési stratégiákat fejlesztenek ki.

Az összes jelenleg alkalmazott deformáció-meghatározások a elmozdulási mező részleges deriváltjait tartalmazzák. Annak érdekében, hogy a deformáció koncepciója jól definiált legyen, a elmozdulási mező folytonossága szükséges.

A törékeny anyagok, például a kerámia, általában nagyon érzékenyek a húzódeformációra. Ha a gyártás során a húzódeformáció nagyobb, mint a végső deformáció, akkor a repedések elindulnak és terjednek. A repedés felületén és hegyén az elmozdulás- és hőmező szembetűnően diszkontinuális lesz. Ezért ilyen anyagok esetében csekély értelme van a anyag konstitutív viselkedésének meghatározásának a stressz, a deformáció és a hő fogalmain keresztül.

A kerámiák (az 1980-as évek előtt) korai konstitutív elméleti egyenletesen a stressz és a deformáció közötti kapcsolatokon alapulnak, és ezért ezek az elméletek nem alkalmasak a kerámiák – és más törékeny anyagok – viselkedésének leírására a repedésképződés után. Annak érdekében, hogy helyreállítsák a helyzetet, sok nemlokális károsodásmodellt javasoltak az 1980-as és 1990-es években. A nagyon nemlokális modellek a stresszt egy véges méretű környező terület „átlagos deformációjának” függvényeként bevezetve egy hosszskálát alkotnak.

A gyengén nemlokális modellek a károsodást a deformációval és a deformáció gráddal kapcsolják össze. Ezek a modellek mind megkísérlik javítani a folytonosságmechanika alapvető kezdeti feltételeiből adódó elméleti problémákat. Azonban ezek a modellek még mindig alapvetően a stressz és a deformáció fogalmakra épülnek.

A Peridinamikus (PD) modellezés, amit Silling [1, 2] 1998-ban javasolt, nem feltételezi a folytonos elmozdulási mezőt. Ehelyett a modell azt állítja, hogy a szilárd test végtelen számú végtelen kis részecskéből áll, amelyeket véges távolságú erők tartanak együtt, amelyek a részecskék relatív pozícióitól függenek. A részecskék elmozdulásait, amelyek belső és külső erők hatása alatt állnak, az anyagi részecskék közötti „páros erők” definiálják. A peridinamikus erők, amelyek két részecske között hatnak, azon relatív elmozdulás függvényei, amelyek a „materiális horizont” keretein belül hatnak.

A kötésalapú peridinamikus modell, ahogy eredetileg javasolták, központi erőmodell, és így nem tud olyan anyagokat modellezni, amelyeknek nem $1/4$ az azonosított számuk. A Poisson-arányokon kívül másokat is képes modellezni, ezen a korláton túlmutató általános modellt hívnak az állapotalapú peridinamikus modellnek, amelyet a következő szakaszokban ismertetnek.

Ebben a kéziratban egy kis deformációval történő lineáris hőelasztikus statikus megvalósítását a PD-formulációnak mutatjuk be, és értékeljük a numerikus módszer képességét a repedésképződés rögzítésére és terjedésének követésére is. Az irodalom áttekintése a peridinamika modellezéséről a 2. szakaszban található, míg az új kis deformációs lineáris hőelasztikus modell kontinuuális formulációját a 2.1. szakaszban mutatják be. A 2.2. szakaszban az anyagi károsodás modellezéséről esik szó a peridinamika összefüggésében. A 2.3. szakaszban kidolgozzák a térbeli diszkrét formulációt a hőelasztikus peridinamikus modellre.

A 2.4. szakaszban a temporális diszkretizációt és a szerkezetmegoldás algoritmusát ismertetik. A 3. szakaszban 2D síknyomású hőelaszticitási numerikus példákat találhat.

AZ ÁLLAPOTALAPÚ PERIDINAMIKUS MODELL

Az Silling és munkatársai által javasolt kötéalapú PD-kapcsolatok reformulációja [3, 4] két új PD-formulációhoz vezetett, amelyekre az ordinary state-based (OSB) és a non-ordinary state-based (NOSB) PD-nek hivatkoznak. Az állapotalapú formuláció bevezeti a deformáció-vektor állapotot Y , amely a részecskék környezetének kezdeti állapotát képezi le a jelenlegi állapotra. Az erővektor állapot T a deformáció-állapotot képezi le egy erőállapotra minden pontban a befolyásolási térfogaton belül. A leképezési függvények linearitását vagy folytonosságát nem feltételezik. Következésképpen az állapotalapú formuláció megszünteti a kötéalapú PD-k korlátozását, amely az izotrop lineáris rugalmas anyagok esetén a Poisson-arányt $1/4$ -re korlátozza, mivel a kötéserők most a befolyásolási térfogatban lévő kötések kollektív deformációjától függenek. Az SB-formuláció aktív kutatási terület, és alkalmazták a rugalmasság, műanyag alakváltozás és viszkoelaszticitás területén is.

A két típusú állapotalapú PD összehasonlításakor az OSB-formulációban két tetszőleges részecske közötti erőállapot $T(x,x')$ és annak $T'(x',x)$ megfelelője párhuzamosnak kell lennie. A NOSB-formulációban hasonló korlátozás nem feltételezhető, következésképpen a NOSB-formuláció lehetővé teszi a klasszikus folytonossági mechanika mennyiségek, például a deformáció gradiens és a feszültségtenzor használatát a konstitutív modellekben. A kutatók nagy része a NOSB-formulációt explicit dinamikus problémákra összpontosította. Foster és munkatársai

[5] explicit dinamikus Taylor-ütközési teszteken modellezték a sebességfüggő műanyag alakváltozást az alumíniumnál. Warren és munkatársai [6] szimulálták egy közepen repedt alumíniumrúd átmeneti dinamikus törését. Littlewood a nem-általános formulát használta az elasztikus beékelődés fáradásos repedésképződésének modellezésére egyetlen elasztikus-viszkoplasztikus kristályban [7], és egy kibővülő acélcső dinamikus törését egy klasszikus mechanikai rugalmas-plasztikus konstitutív törvény használatával modellezték [8]. Tupek és munkatársai [9] egy klasszikus folytonossági károsodásmodell alkalmaztak az állapotalapú formulációban a kumulált károsodási állapotnak megfelelően a hatósugaron belüli kötések megszakításához a károsodás törvényének megfelelően. O'Grady és Foster [10, 11] kifejlesztettek egy NOSB-modellt egy Bernoulli-Euler-gerenda hajlításának reprezentálására és egy Kirchoff-Love lemezhez. Később O'Grady és Foster [13] általánosították modelljüket vékony héjakra. Wu és Ren [12] cikkében a NOSB-modellt alkalmazták a fémmegmunkálás elemzésére. Amani és munkatársai [14] a törékeny és hajlékony repedések nem-általános állapotalapú peridinamikusan formulációját mutatták be. Johnson-Cook konstitutív és károsodásmodelleket alkalmaztak a műanyag keményedés, hőmérséklés és törés figyelembevételéhez.

A folytonos termorugalmas anyag peridinamikusan modellje

A peridinamikusan modell szerint test tetszőleges \mathbf{X} pontja kölcsönhatásban áll környezetének pontjaival, a gyakorlatban a kölcsönhatás működését általában csak véges H távolságon belül feltételezzük. Az \mathbf{X} pont környezetének hozzá képesti relatív helyzetét „referencia helyvektor állapotnak nevezzük”:

$$\mathbf{x} := \mathbf{X}' - \mathbf{X}$$

A pillanatnyi, deformált állapotban az \mathbf{X} pont új \mathbf{x} helyen található és a környezetében lévő pontok is elmozdultak. A pillanatnyi „deformált helyvektor állapot” ekkor:

$$\mathbf{y} := \mathbf{x}' - \mathbf{x} = (\mathbf{X}' + \mathbf{u}') - (\mathbf{X} + \mathbf{u})$$

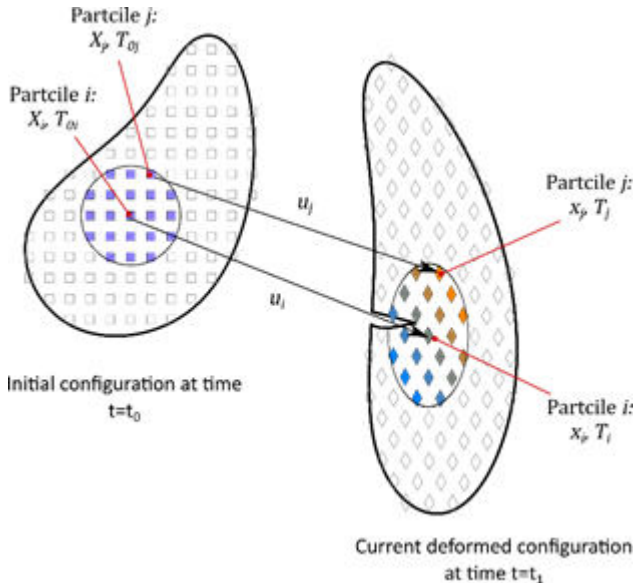
ahol \mathbf{X} , \mathbf{X}' , \mathbf{u} és \mathbf{u}' a vizsgált pont helyvektora, környezetében található tetszőleges pont helyvektora, és e két pont elmozdulásvektora. Hasonlóan a fenti összefüggésekhez, vezessük be a relatív elmozdulás- és relatív hőmérsékletvektor állapotokat:

$$\mathbf{u} := \mathbf{u}' - \mathbf{u}$$

$$\mathcal{T} := \theta' - \theta$$

ahol $\theta = T - T_0$ és T_0 az \mathbf{X} pont kezdeti hőmérséklete.

2. ábra. Az anyagi pont peridinamikus szomszédai



A peridinamikus elmozdulás és hőmérsékletgradiens az \mathbf{X} pontban:

$$\nabla \otimes \mathbf{u} \cong \mathbf{K}(\mathbf{X}) := \left[\int_{\mathcal{H}} \omega(|\mathbf{X}|) \cdot (\mathbf{u} \otimes \mathbf{X}) dV_{X'} \right] \cdot \mathbf{K}_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{T} \cong \mathbf{H}(\mathbf{X}) := \left[\int_{\mathcal{H}} \omega(|\mathbf{X}|) \cdot (\mathbf{T} \cdot \mathbf{X}) dV_{X'} \right] \cdot \mathbf{K}_0$$

ahol \mathbf{K}_0 az úgynevezett „kezdeti alaktenzor” inverze:

$$\mathbf{K}_0 := \left[\int_{\mathcal{H}} \omega(|\mathbf{X}|) \cdot (\mathbf{X} \otimes \mathbf{X}) dV_{X'} \right]^{-1}$$

és $dV_{X'}$ a \mathbf{X} pont környezetében lévő \mathbf{X}' ponthoz tartozó elemi térfogat.

Az ω hatásfüggvény a szomszédos pontok közti kölcsönhatás erősségét meghatározó függvény. A különböző módon megválasztott hatásfüggvény eredményekre gyakorolt következményeit Queiruga és Moridis [15] vizsgálta. Modellünkben a hatásfüggvényt konstans függvényként definiáltuk.

A peristatikus egyensúlyi és hővezetési egyenletek:

$$\int_{\mathcal{H}} (\mathbf{T}' - \mathbf{T}) dV_{X'} + \mathbf{b} = \mathbf{0}$$

$$\int_{\mathcal{H}} (h' - h) dV_{X'} + \varrho \cdot s = 0$$

ahol \mathbf{T} , h az erő- és hőáram. A \mathbf{b} és s mennyiségek a térfogati terhelés és hőforrássűrűség. A ϱ mennyiség a tömegsűrűség.

A klasszikus rugalmasságtan σ feszültségtenzora és a \mathbf{T} peridinamikus belső erő közti összefüggés [6]:

$$\mathbf{T} = \omega(|\mathbf{X}|) \cdot \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{X}$$

Hasonlóan, a klasszikus q hőfluxus peridinamikus hőáram közti kapcsolat [16]:

$$h = \omega(|\mathbf{X}|) \cdot \mathbf{q} \cdot \mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{X}$$

Bizonyítható, hogy ha a peridinamikus horizont $H \rightarrow \emptyset$ és $\omega(|\mathbf{X}|) \rightarrow \delta$, a fenti integrálok a feszültségtenzor divergenciájához és a hőfluxus gradienséhez konvergálnak.

Lineárisan hőrugalmas anyagviselkedést feltételezve érvényes az általános Hooke-törvény és a Fourie-törvény, azaz:

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\beta} \cdot \theta$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \cdot (\nabla \otimes \mathbf{u} + \mathbf{u} \otimes \nabla)$$

$$\mathbf{q} = -\mathbf{k} \cdot \nabla \cdot \theta$$

ahol $\boldsymbol{\sigma}$, $\boldsymbol{\varepsilon}$, θ és \mathbf{q} a feszültség, a nyúlás a hőmérséklet és hőfluxus. Az összefüggésben szereplő anyagjellemzők \mathbf{C} , $\boldsymbol{\beta}$ és \mathbf{k} a rugalmassági, hőtágulási és hővezetési tenzorok. Lineáris izotrop anyagviselkedés esetén a fenti együtthatók két anyagállandóra egyszerűíthetők, például a Lamé-féle λ és μ állandókra. Ez a két állandó jellemzi a test hőrugalmas viselkedését. Vezessük be a kapcsolási állandót:

$$\epsilon = \frac{\beta^2 \cdot \theta}{\rho \cdot c_V \cdot (\lambda + 2 \cdot \mu)}$$

mely megmutatja a hővezetési folyamat alakváltozásokra gyakorolt hatásának erősségét. Ha $\epsilon < 1$, gyenge csatolásról beszélhetünk. Ilyen esetben a hővezetési és a következtében kialakuló alakváltozási probléma külön-külön kezelhető. Ha $\epsilon > 1$ erős csatolásról beszélünk. Ilyen esetben az alakváltozások okozta hőmérsékletvál-

tozást nem hagyhatjuk figyelmen kívül és a két problémát együtt kell kezelnünk.

1. táblázat. Különböző anyagok kapcsolási állandói

| Material | Coupling coeff. | Coupling |
|-----------------|--------------------|----------|
| Steel | $9 \cdot 10^{-3}$ | weak |
| Silicon carbide | $8 \cdot 10^{-4}$ | weak |
| HDPE | $1,053 \cdot 10^1$ | strong |

Felhasználva a korábban már bevezetett peridinamikus gradienst, a nyúlástenzor és a hőfluxus az alábbi alakban írható fel:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2} \cdot \left(\left[\int_{\mathcal{H}} \omega(|\mathbf{x}|) \cdot (\mathbf{u} \otimes \mathbf{x} + \mathbf{x} \otimes \mathbf{u}) dV_{x'} \right] \cdot \mathbf{K}_0 \right)$$

$$\mathbf{q} = -\mathbf{k} \cdot \left[\int_{\mathcal{H}} \omega(|\mathbf{x}|) \cdot (\mathcal{T} \cdot \mathbf{x}) dV_{x'} \right] \cdot \mathbf{K}_0$$

Térbeli diszkretizálás

Közelítsük a folytonos testet N számú \mathbf{X}_i helyen elhelyezkedő dV_i térfogatú részecskével! Tegyük fel, hogy az i. pont H környezetében n számú szomszédos részecske található. Az elmozdulás- és hőmérsékleti gradiens ekkor:

$$\nabla \otimes \mathbf{u} \cong \left[\sum_{j=1}^n \omega(|\mathbf{x}_{ij}|) \cdot (\mathbf{u}_{ij} \otimes \mathbf{x}_{ij}) dV_j \right] \cdot \mathbf{K}_0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{T} \cong \left[\sum_{j=1}^n \omega(|\mathbf{x}_{ij}|) \cdot (\mathcal{T}_{ij} \cdot \mathbf{x}_{ij}) dV_j \right] \cdot \mathbf{K}_0$$

ahol a kezdeti alaktenzor inverze:

$$\mathbf{K}_0 := \left[\sum_{j=1}^n \omega(|\mathbf{x}_{ij}|) \cdot (\mathbf{x}_{ij} \otimes \mathbf{x}_{ij}) \right]^{-1}$$

Az \mathbf{X}_i részecske helyén a nyúlástenzor és a hőfluxus vektor diszkrét alakban:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\varepsilon}(\mathbf{X}_i) &\cong \frac{1}{2} \cdot \left(\sum_{j=1}^n \omega(|\mathbf{x}_{ij}|) \cdot \left(\begin{array}{c} \mathbf{u}_{ij} \otimes \mathbf{x}_{ij}^+ \\ + \mathbf{x}_{ij} \otimes \mathbf{u}_{ij} \end{array} \right) dV_j \right) \cdot \mathbf{K}_0 \\ \mathbf{q}(\mathbf{X}_i) &= -\mathbf{k} \cdot \left[\sum_{j=1}^n \omega(|\mathbf{x}_{ij}|) \cdot (\mathbf{T}_{ij} \cdot \mathbf{x}_{ij}) dV_j \right] \cdot \mathbf{K}_0 \end{aligned}$$

Az anyagjellemzők:

$$\mathbf{C} = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1-2 \cdot \nu \end{bmatrix}$$

, síkfeszültségi állapot esetén,

$$\mathbf{C} = \frac{E}{(1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu)} \cdot \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2 \cdot \nu}{2} \end{bmatrix}$$

, síkalakváltozási állapot esetén,

$$\boldsymbol{\beta} = \frac{E \cdot \alpha}{1-\nu} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Vezessük be az egyes részecskék elmozdulásait és hőmérsékleteit tartalmazó vektorokat:

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_i &= [u_0 = u_i \quad v_0 = v_i \quad \dots \quad u_n \quad v_n] \\ \boldsymbol{\Theta}_i &= [\theta_0 = \theta_i \quad \dots \quad \theta_n] \end{aligned}$$

Az X_i pont nyúlástenzora ekkor:

$$\mathbf{U}_i = [u_0 = u_i \quad v_0 = v_i \quad .. \quad u_n \quad v_n]$$

$$\boldsymbol{\Theta}_i = [\theta_0 = \theta_i \quad .. \quad \theta_n]$$

Az X_i pont nyúlástenzora ekkor:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_i = [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \gamma_{xy}]^T = \mathbf{B}_i^{mech} \cdot \mathbf{U}_i$$

$$\mathbf{B}_i^{mech} = [\mathbf{B}_0 \quad \mathbf{B}_1 \quad .. \quad \mathbf{B}_n]$$

$$\mathbf{B}_0 = \sum_{j=1}^n \mathbf{B}_j$$

$$\mathbf{B}_j = \mathbf{K}_i \cdot \begin{bmatrix} \omega_{i1} \cdot \Delta X_{i1} & 0 & .. & \omega_{in} \cdot \Delta X_{in} & 0 \\ 0 & \omega_{i1} \cdot \Delta Y_{i1} & .. & 0 & \omega_{in} \cdot \Delta Y_{in} \\ \omega_{i1} \cdot \Delta Y_{i1} & \omega_{i1} \cdot \Delta X_{i1} & .. & \omega_{in} \cdot \Delta Y_{in} & \omega_{in} \cdot \Delta X_{in} \end{bmatrix}$$

A feszültségtenzor:

$$\boldsymbol{\sigma}_i = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy}]^T = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_i = \mathbf{C} \cdot \mathbf{B}_i^{mech} \cdot \mathbf{U}_i$$

Hasonlóan a nyúlástenzorhoz X_i pont \mathbf{q}_i pont hőfluxus vektora:

$$\mathbf{q}_i = [q_x \quad q_y]^T = -\mathbf{k} \cdot \mathbf{B}_i^{therm} \cdot \boldsymbol{\Theta}_i$$

$$\mathbf{B}_i^{therm} = [\mathbf{B}_0 \quad \mathbf{B}_1 \quad .. \quad \mathbf{B}_n]$$

$$\mathbf{B}_0 = \sum_{j=1}^n \mathbf{B}_j$$

$$\mathbf{B}_j = \mathbf{K}_i \cdot \begin{bmatrix} \omega_{i1} \cdot \Delta X_{i1} & .. & \omega_{in} \cdot \Delta X_{in} \\ \omega_{i1} \cdot \Delta Y_{i1} & .. & \omega_{i1} \cdot \Delta Y_{in} \end{bmatrix}$$

ahol \mathbf{K}_i a kezdeti alaktenzor diszkrét formája:

$$\mathbf{K}_i = \left[\sum_{j=1}^n \begin{bmatrix} \omega_{ij} \cdot \Delta X_{ij}^2 & \omega_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot \Delta Y_{ij} \\ \omega_{ij} \cdot \Delta X_{ij} \cdot \Delta Y_{ij} & \omega_{ij} \cdot \Delta Y_{ij}^2 \end{bmatrix} \right]^{-1}$$

Vezessük be a \mathbf{X}_j pontban a feszültség és hőfluxus vektorokat:

$$\boldsymbol{\Sigma}_j = [\boldsymbol{\sigma}_0^T = \boldsymbol{\sigma}_j^T \quad \dots \quad \boldsymbol{\sigma}_n^T]$$

$$\mathbf{Q}_j = [\mathbf{q}_0^T = \mathbf{q}_j^T \quad \dots \quad \mathbf{q}_n^T]$$

A fenti definíciókban a j indexű elemen a központi részecske jellemzőjét és az e elemeken a szomszédok jellemzőit értjük.

Az \mathbf{X}_j pont mechanikai és termikus egyensúlyának diszkrét egyenletei ekkor:

$$\mathbf{B}_j^{mech^T} \cdot \boldsymbol{\Sigma}_j + \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{B}_j^{therm} \cdot \boldsymbol{\Theta}_j = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{B}_j^{therm^T} \cdot \mathbf{Q}_j + \varrho \cdot s_j = 0$$

A fenti egyenleteket minden részecskére felírva egy lineáris egyenletrendszerrel kapunk a gyengén kapcsolt hővezetési és rugalmassági problémára.

Időszerinti diszkretizálás és numerikus implementáció

A megoldásainkban gyenge kapcsolatot valósítottunk meg a hő- és mechanikai kölcsönhatások között. A mechanikai és a hőterhelés történetét külön-külön határoztuk meg a mechanikai és hőterhelés kezdeti és határfeltételek alapján. A számítás során minden időlépésnél a károsodási állapot fagyott volt. A jelenlegi hőfeltételek alapján meghatároztuk a jelenlegi hőmérsékletmezőt. A mechanikai feltételek alapján kiszámítottuk az elmozdulási mezőt, amikor a hőmérsékletmező további hőmechanikai terhelést gyakorolt a részecskékre.

A jelenlegi határfeltételek alkalmazásához a Lagrange-multiplikátor módszert alkalmaztuk. Az előírt elmozdulások és hőmérsékleti pontszerű elemi határfeltételeket alkalmaztuk a meghatározott elmozdulásokon és hőmérsékleti pontokon. A természetes határfeltételek, például a felületi húzóerő és hőátadás, a stressz és hő nemlokális peridinamikus közelítésével kerültek alkalmazásra, ahogyan azt a 2. szakaszban meghatároztuk. A megoldás-algoritmus a következő alakú:

1. start
2. read inputs
3. initialization of
 1. spatial discretization:
generating nodes and collecting neighborhood lists
 2. initial and boundary conditions,
 3. temporal discretization:
external mechanical and thermal load histories,
 4. loop over time steps: $k=1, \dots, nt$
 1. if (new) damage exists then modifying neighborhood lists, apply thermal BCs,
 2. update heat conduction and stiffness matrices,
 3. solve heat conduction problem,
 4. apply mechanical BCs,
 5. solve mechanical problem,
 6. compute secondary results: strains, stresses, damage,
 7. write output,
 8. end loop k
5. end

NUMERIKUS PÉLDÁK

A numerikus eredmények eléréséhez az állapotalapú peridynamika megközelítést alkalmazzuk, miközben a korábbi szakaszokban leírt numerikus sémákat használjuk. A peridynamikus szimulációk eredményeit a klasszikus megoldásokhoz hasonlítjuk, hogy megállapítsuk a peridynamikus hőelasztikus elemzés érvényességét. Ezek az eredmények véges lemezekre vonatkoznak, amelyek statikus mechanikai és állandó hővezetési problémákkal foglalkoznak. A folytonos megoldásokat és a repedések terjedésének hatását is vizsgáljuk.

Egy síklemez szabad hőtágulása

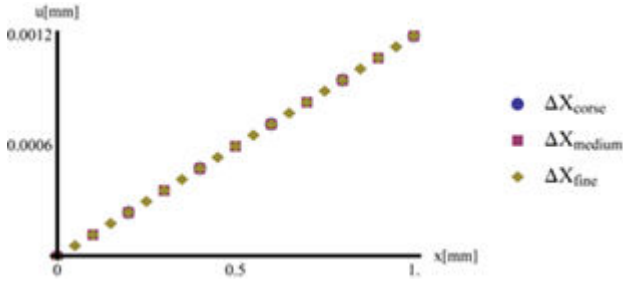
Egy téglalap alakú síklemez kezdeti hőmérséklete $T_0=293[\text{K}]$, pillanatnyi hőmérséklete $T_1=393[\text{K}]$.

Bal és alsó élét görgős támasszal kötjük környezetéhez. Jobb oldali és felső éle tehermentes.

A lemez magassága és szélessége $H=1[\text{mm}]$ és $W=1[\text{mm}]$. A lineáris hőtágulási együttható, a rugalmassági együttható és a Poisson-hányados $\alpha=12 \cdot 10^{-6} [\text{K}^{-1}]$, $E=200[\text{GPa}]$, és $\nu=0.3$.

A peridynamikus részecskéket egymástól egyenlő $\Delta X_{\text{corse}}=0.2[\text{mm}]$, $\Delta X_{\text{medium}}=0.1[\text{mm}]$ és $\Delta X_{\text{fine}}=0.05[\text{mm}]$ távolságra helyeztük el. A peridynamikus horizont nagysága $H=3.1 \cdot \Delta X$ volt.

3. ábra. A lemez vízszintes szimmetriatengelyén lévő pontjainak vízszintes irányú elmozdulása u



A lemez jobb oldali pontjainak pontos elmozdulása $u_{\text{exact}} = T_1 \cdot \alpha = 0.0012$ [mm]. A numerikus megoldás azonosan egyenlő volt a pontos megoldással. A lemez vízszintes szimmetriatengelyén lévő pontjainak vízszintes irányú elmozdulását a 3. ábra szemlélteti.

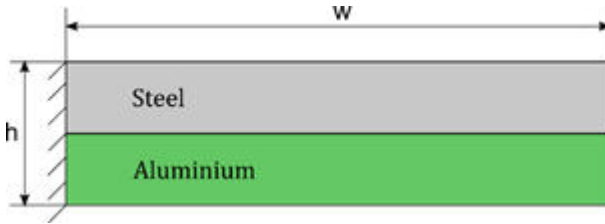
Egyik végén befogott inhomogén (kétanyagú) rúd hőtágulása

A rúd kezdeti hőmérséklete $T_0 = 293$ [K] és pillanatnyi hőmérséklete $T_1 = 393$ [K].

A rúd bal oldali élén lévő részecskék minden szabadságfokát lekötve modelleztük a befogás hatását. A rúd alsó, jobb oldali és felső éle tehermentes volt.

A rúd magassága és szélessége $h = 1$ [mm] és $w = 6$ [mm]. A rúd felső $h/2$ magasságú felének anyaga acél volt. Anyagjellemzői, a lineáris hőtágulási együttható, a rugalmassági együttható és a Poisson-hányados: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ [K⁻¹], $E = 200$ [GPa] and $\nu = 0.3$.

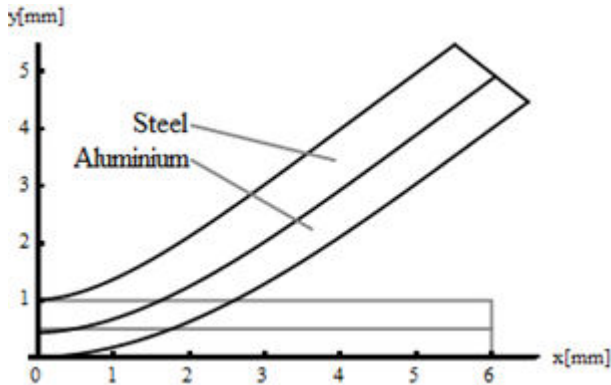
4. ábra. A kétanyagú rúd geometriája



A rúd alsó $h/2$ magasságú felének anyaga alumínium volt. Anyagjellemzői, a lineáris hőtágulási együttható, a rugalmassági együttható és a Poisson-hányados: $\alpha=21 \cdot 10^{-6} \text{ [K}^{-1}\text{]}$, $E=70 \text{ [GPa]}$ and $\nu=0.28$.

A peridinamikus részecskéket egymástól egyenlő $\Delta X=0.05 \text{ [mm]}$ távolságra vettük fel, a peridinamikus horizont nagysága $H=3.1 \cdot \Delta X$ volt.

5. ábra. Kétanyagú rúd kezdeti és hőtágulásnak kitett alakja



A rúd felmelegítése során a két különböző anyagú komponens hőtágulása eltérő. A két komponens közti kapcsolat megakadályozza a két elem egymáshoz képesti elcsúszását, ami így a rúd meghajlásához vezet. A rúd hőtágulását az 5. ábra szemlélteti.

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunkban egy állapotalapú hőrugalmas peridinamikus (PD) modellt mutattunk be. A konstitutív állandók azonosak a klasszikus hőrugalmas modellek állandóival. Kidolgoztuk a diszkrétizált egyenleteket és egy megoldási algoritmust is bemutatunk. A PD-modell viselkedését szabad és gátolt hőtágulási problémák megoldásán keresztül szemléltettük.

HIVATKOZÁSOK

1. S. A. Silling (1998): "Reformation of Elasticity Theory for Discontinuous and Long-Range Forces," SAND98-2176. Albuquerque: Sandia National Laboratories, NM.
2. S. A. Silling (2000): "Reformulation of Elasticity Theory for Discontinuities and Long-Range Forces." *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 48., pp. 175–209.
3. S. A. Silling (2010): "Linearized theory of peridynamic states". *J. Elasticity*, 99., (1.), pp. 85–111.
4. S. A. Silling–M. Epton–O. Weckner–J. Xu–E. Askari (2007): "Peridynamic states and constitutive modeling", *J. Elasticity*, 88., (2.), pp. 151–184.
5. J. T. Foster–S. A. Silling–W. W. Chen (2010): Viscoplasticity using peridynamics. *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 81., (10.), pp. 1242–1258.
6. T. L. Warren–S. A. Silling–A. Askari–O. Weckner–M. A. Epton–J. Xu (2009): A non-ordinary state-based peridynamic method to model solid material deformation and fracture. *Int. J. Solids Struct.*, 46., (5.), pp. 1186–1195.
7. D. J. Littlewood (2011): A nonlocal approach to modeling crack nucleation in AA 7075–T651. In: Proceedings of ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition I.

- 8 D. J. Littlewood (2010): Simulation of dynamic fracture using peridynamics, finite element modeling, and contact, In: *IMECE2010*, pp. 1–9.
9. M. R. Tupek–J. J. Rimoli–R. Radovitzky (2013): An approach for incorporating classical continuum damage models in state-based peridynamics. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, Vol. 263., pp. 20–26.
10. James O’Grady–John Foster (2014): Peridynamic beams: A non-ordinary, state-based model, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 51., (18.), pp. 3177–3183.
11. James O’Grady–John Foster (2014): Peridynamic plates and flat shells: A non-ordinary, state-based model. *International Journal of Solids and Structures*, 51., (25–26.), pp. 4572–4579.
12. C. T. Wu–B. Ren (2015): A stabilized non-ordinary state-based peridynamics for the nonlocal ductile material failure analysis in metal machining process. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 291., pp. 197–215.
13. O’Grady J–Foster J. (2016): A meshfree method for bending and failure in non-ordinary peridynamic shells, *Computational Mechanics*, 57., (6.), pp. 921–929.
14. J. Amani–E. Oterkus–P. Areias–G. Zi–T. Nguyen-Thoi–T. Rabczuk (2016): A non-ordinary state-based peridynamics formulation for thermoplastic fracture. *International Journal of Impact Engineering*, 87., pp. 83–94.
15. A. F. Queiruga–G. Moridis (2017): Numerical experiments on the convergence properties of state-based peridynamic laws and influence functions in two-dimensional problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 322., pp. 97–122.
16. S. Oterkus–E. Madenci, A. (2014): Agwai Peridynamic thermal diffusion. *Journal of Computational Physics*, 265., pp. 71–96.

*Dr. Pór Gábor, Molnár János, Koroknai László, Kocsó Endre,
Gárdonyi Gábor, Agócs Mihály, Szabados Ottó*

MAIDScan pásztázó ultrahangos berendezés

Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: SAM, ultrahang, anyagvizsgálat.

BEVEZETÉS

Több éves kutatási tapasztalatainkat felhasználva egy ipari alkalmazásra előkészített, minden elemében kiforrott pásztázó akusztikus vizsgáló berendezést terveztünk és valósítottunk meg. A MAIDScan berendezést a megfelelő alkotóelemeket összeillesztve állítottuk elő, úgy, hogy alkalmas legyen kis- és nagyméretű vizsgálati mintákban egyaránt.

A vizsgálathoz egy olyan mozgató rendszert kellett építeni, amely nagy pontossággal képes akár 0,1 mm-es lépések megtételére x–y irányban. Ez teszi lehetővé, hogy az ultrahangos kézi vizsgálatokban hihetetlen, akár 0,1 mm-es anyagfolytonossági hiányokat is fel tudjuk tárni vagy porozításokat is tudjunk észlelni, amennyiben azok száma és sűrűsége elegendő ehhez. A pásztázás immersion fejekkel történik, azaz folyadékba merítjük a vizsgált tárgyat, és úgy mozgatjuk a fejet X–Y vízszintes síkban. Eközben az ultrahangos fejből Z irányba kibocsájtott ultrahang visszhangjaiból készített A-képnek nevezett időjelből háromdimenziós adattömb készül, amelyből bármilyen 2D-metszet, vagy akár egy 3D-kép is készíthető a vizsgálati tárgyból kapott visszahangok alapján.

MAIDSCAN AZ ELKÉSZÜLT BERENDEZÉS

A tervezés során ügyeltünk az ergonómiára. A berendezés robusztus kivitele ellenére jól mozgatható, és a kezelőfelületek megközelítése kényelmes.

A vezérlő számítógép a berendezés belső polcán helyezkedik el. A számítógép alatt egy National Instruments PXI szolgálja a Real-Time környezetet. Az alaplap portot használjuk az EtherCAT alapú ipari kommunikáció megvalósítására a motorvezérlő egységekkel való kommunikációra, dinamikus IP kezelési módban használva. A bővítő hálókártya 2. portja felel a RT számítógéppel való kapcsolatért. Az EtherCAT kommunikáció RJ45 csatlakozókkal szerelt 8 eres patch kábelekkel történik.

A Rack számítógép alaplap Ethernet portját felhasználva első kapcsolódási pontként, a Z-tengely Kollmorgen AKD típusú vezérlő EtherCAT bemeneti pontjához csatlakozik. Ennek kimeneti pontja sorban tovább haladva az Y-tengely bemeneti pontjába, majd végül annak kimeneti pontja az X-tengely vezérlőjébe. Az EtherCAT kommunikáció vezérléséhez TwinCAT fejlesztő környezetet használunk, amelyben felismertetjük a hálózatban található eszközöket. A kapott és kiadott értékeket LabVIEW felületen jelenítjük meg.

A projektben az ultrahangos vizsgálatokhoz szükséges gerjesztést és mintavételezést végző egységnek egy PCI-csatlakozású, számítógépbe építhető, speciális ultrahangos vizsgálófejkezelő kártyát választottunk: US Ultratek 3100. A kártyához tartozó C nyelven írt DLL-fájlokat használva lehetséges a kártya vezérlése és az adatcsere.

LabVIEW fejlesztőkörnyezetben a MAIDScan Plugin architektúrához igazodva lett kialakítva a mozgató host egysége. A generált utasítások a LabVIEW Queue kommunikációs módszerével kerülnek átadásra az egyes egységek között, a Queue-módszer hozzáférést biztosít külső Plugin-ok számára is, hogy utasítást tudjanak adni külső forrásból az egység számára.

NÉHÁNY BEÜZEMELÉS ALATT SZERZETT TAPASZTALAT ÉS ELÉRT EREDMÉNY

A MAIDScan Viewer-modul feladata egy ultrahangos pásztázó mérés során készített mérési eredmény fájl betöltése, manipulációja, 2D- és 3D-megjelenítés a felhasználó számára a mérés kiértékeléséhez. Mérési eredményeket 2D-szintérképeken jelenítjük meg, a 3D-megjelenítővel a felhasználó akár több kameraállásból is „belelát a vizsgálat alá vont anyagba, látja az anyagban lévő visszaverő felületeket, azaz a furatokat, repedéseket, ugrásszerű anyagsűrűség változásokat.

A beüzemelési mérésekben láthatóvá vált, hogy a vizsgált nagy alumíniumtömbben, a két oldalról készített furatok nem egy tengelyben találkoznak. A 3D-kép ultrahangos szempontból azért is érdekes, mert a felső furatok nem takarják le az alatta elhelyezkedő furatokat, pedig alapvetően ezt várná az ultrahangos vizsgáló, ha kézzel hajtáná végre a vizsgálatot.

A két különböző, saválló és szénacélból összehegesztett sín hegesztési síkjában pedig jól láthatók a porozitások.

ÖSSZEFOGLALÁS

A MAIDScan-berendezés a Dunaújvárosi Egyetemen folyó több mint 10 éves kutatás-fejlesztés eredményeképpen megtervezett és ipari eszközökkel létrehozott vizsgáló berendezés, amellyel valós ipari feladatokat akarunk megoldani. Segítségével 2D metszeteket, és átlátható 3D ábrákat előállítva a szó szoros értelmében beleláthatunk az anyagba. Felbontása bizonyítottan jobb, mint 0,1 mm. Maximális pásztázási sebessége 250 mm/sec, amihez kiemelkedő gyorsulás (20000 mm/s^2) és gyorsulásváltozás ($500\,000 \text{ mm/s}^3$ jerk) párosul. Akár $1500 \times 1200 \times 600$ mm-es tárgyak leképezésére is alkalmas.

Köszönetnyilvánítás

A fejlesztés az NKFIH-1267-2/2020 számú, Roncsolásmentes folyamatkövetés tématerület című projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg. Köszönetet mondunk a BIBUS Kft.-nek, akik megálmodott fejlesztésünket, megrendelésre, kiváló minőségben megépítették. Köszönjük Balázs Krisztiánnak, Csincsi Zsuzsának, Fábíán Patriknak és Morvai Tibornak a bemérésekben végzett közreműködésüket.

Kuti János, Fehér Jánosné Dr., Kovács György **Tapasztalatok a korrózióálló cső hegesztésnél alkalmazott különböző gyökvédőgázokról**

*mesteroktató, Dunaújvárosi Egyetem,
tudományos kutató, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet,
tanszéki mérnök, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet*

Kulcsszavak: Korrózió, csőhegesztés, TIG hegesztés.

BEVEZETÉS

A legtöbb esetben a korrózióálló acél AWI-hegesztéséhez (volfrámelektrodás, semleges védőgázos ívhegesztés, a német szakirodalomban WIG, angol nyelvterületen TIG) védőgázként hagyományosan tiszta argont (hegesztőargon) alkalmaznak. Az iparban mai modern gyártási eljárások során folyamatosan a jobb minőségre és emellett a gazdaságosságra törekednek. Az AWI-hegesztésnek azonban megvannak a maga korlátjai, teljesítményhatárai, ezért nagyobb lemezvastagság esetén kizárólag

a varratgyök hegesztésére használják. Egyre elterjedtebb a nagyobb teljesítményű aktív gázos (MAG) fémhegesztés argon – CO₂ és (vagy) – O₂ gázkeverékekkel. Speciális impulzusprogrammal kombinálva, amit az alkatrészre vonatkoztatva egyedileg kell beállítani egy korábban ismeretlen eljárásbiztonságot lehet elérni, egyidejűleg nagy termelékenység mellett.

KUTATÁSI PROBLÉMA

Az elméleti ajánlások és a gyakorlati beállítások sok esetben eltérőek. A korrózióálló acélok hegesztése során a maradék oxigén-tartalomnak 50 és 25 ppm között kell lenni az ajánlások alapján. Gyakorlatban azonban sok esetben ez nem valósul meg a helytelen öblítések alkalmazása miatt.

A hegesztési kísérleteinknél keressük azt a gazdaságosságra optimalizált időtartamot, aminél a hegesztéseink védőgáz tekintetében elegendő öblítési idővel rendelkeznek, hogy a hegesztési varrataink még jók legyenek, és az öblítési idő ne legyen túl sok, ezáltal ne használjunk gázt feleslegesen. Ezzel a védőgázokkal nem történik pazarlás, és a hegesztő vagy hegesztőgép időben elvégezheti a hegesztési feladatait. 4 esetben vizsgáltuk a hegesztés megkezdése előtti védőgáz-beáramlást. 3 perc, 2 perc, 1 perc és 0.5 perc. Feltételezzük, hogy 3perc esetében biztos hogy a hegesztési varratunk tökéletes lesz. Feltételezzük azt is hogy 0,5 perc védőgáz-öblítés esetében a hegesztési varratban biztos, hogy hibákat fogunk találni.

A kísérletet négyféle védőgázzal hajtjuk végre, itt további dolgokra tudunk következtetni, hogy az előöblítési idők között lesz e különbség, illetve milyen különbségek lesznek a hegesztési varratok között. A négy gáz alkalmazásával a főbb iparágakat (hagyományos szerkezetgyártás, élelmiszeripar, gyógyszeripar,

energetikai ipar) is szeretnénk volna lefedni, amik használják ezt az anyagot és ezt az eljárást. Így a kísérlet során a következőket alkalmaztunk:

- Tiszta Argon – mint a legáltalánosabb semleges védőgázt,
- Argon + Hidrogén, ami 98% Ar és 2% H₂ – mint a leggyakoribb aktív védőkomponenssel rendelkező kevert gázt,
- Tiszta Nitrogén – mint a feltörekvő gyökvédő gázt, hiszen olcsóbb mint az argon és a gyök oldalán a gáz funkciója „csak” a levegő kiszorítása és a gyök megtámasztása,
- Nitrogén + Hidrogén, ami 95% N₂ és 5% H₂ – mint a most alkalmazott modern formáló gáz.

MARADÉK OXIGÉN MÉRÉS

A védőgázzal való öblítés megkezdésekor egyfajta keverék képződik a környezeti levegővel. Így a maradék oxigéntartalom miatt a hegesztésnél a felület oxidációját eredményezi. Az öblítés megkezdése után, a maradék oxigéntartalom folyamatosan csökken. A hegesztési folyamatot akkor célszerű elkezdni, ha az öblítést követően az oxigéntartalom 50 ppm alatt van már.

Első esetünkben az összeállított csövünkön egyik irányból a beáramló Argon 6 liter/perccel, a csővégen pedig az oxigénmérőnk volt bekötve, a mérési időn 600 másodperc volt, a két összeállított hegesztésünk nem volt lefedve ragasztószalaggal. A mérés szerint 240s után esett le az oxigéntartalom 50ppm-re. A következő mérésnél az egyik hegesztendő illesztett részt leragasztottuk. A mérés szerint 170s után esett le az oxigén tartalom 50ppm-re. Mindkét hegesztendő illesztést leragasztottuk. A mérés szerint 160s után esett le az oxigéntartalom 50ppm-re. Ezen mérések alapján arra következtethettünk, hogy 180s azaz 3perc öblítési idővel megfelelően védjük a gyököt és jó hegesztett kötést kell kapjunk. Elrendezés az 1. ábrán látható.

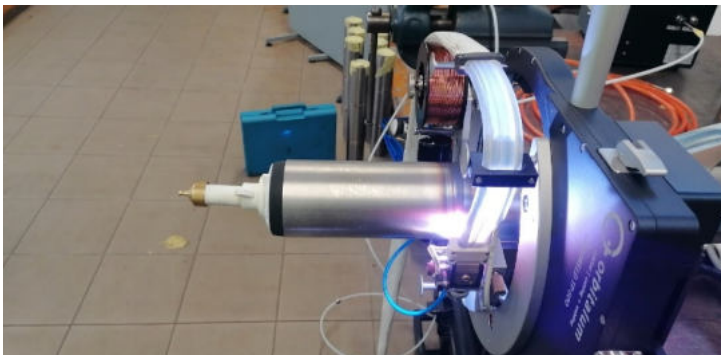
1. ábra. Maradékoxigén-mérés



KÍSÉRLETEK

A hegesztést Orbitális hegesztőgéppel végeztük minden esetben (2. ábra), hozaganyag nélkül mindig ugyanazt a kikísérletezett jól bevált programbeállításokat használtunk, hogy hegesztés szempontjából semmilyen változás ne legyen. A hegesztéshez 76,1mm átmérőjű és 2mm falvastagságú korrózióálló csövet választottunk. Anyagminősége: 1.4301 (X5CrNi18-10)

2. ábra. Nyitott fejes orbitális hegesztőgép működése a kísérlet során



3. ábra. Kivágott és beöntött metallográfiai minták



1. táblázat. Hegesztett minták és jelölésük

| | 3 perc | 2 perc | 1 perc | 0,5 perc |
|--------|--------|--------|--------|----------|
| Ar | Z1 | 3 | 4 | 5 |
| Ar + H | 6 | 7 | 8 | 9 |
| N | 10 | 11 | 12 | 13 |
| N + H | 14 | 15 | 16 | 17 |

EREDMÉNYEK

Megállapítható, hogy az orbitális gépen többszöri nekifutásra kikísérletezett hegesztési paraméterekkel a hegesztési feladatokat elvégeztük. Fő szempont volt a beállításoknál, hogy a varrat belesimuljon a csőfalba, se domború se homorú formát ne vegyen fel. Így se a korona se a gyökoldalal ne álljon ki. A gyökvédelmet szerettük volna ellenőrizni többféle védőgáz alkalmazásával. Ahhoz, hogy a gyökvédő gázokkal való öblítés ne tapasztalati úton történjen A Linde Gáz Magyarország Zrt. munkatársai által kölcsönként oxigénmérővel mértük a csőben az oxigéntartalmat.

Az így meghatározott időt fogadtam el a kutatás során a megfelelő öblítő időnek. Ehhez képest vizsgáltuk a harmadával, a két harmadával és az öt hatodával csökkentett öblítési idő alkalmazását. Megállapítható, hogy a keménységmérések és a metallográfiai vizsgálatok alátámasztják, hogy varratok jól sikerültek, nem keletkezett rossz gyök.

2. táblázat. Keménységmérési eredmények

| Minta | varrat közép | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Z1 | 165,53 | 164,36 | 170,06 | 162,82 | 172,39 |
| 3 | 162,82 | 159,39 | 165,92 | 161,3 | 164,36 |
| 4 | 151,55 | 159,8 | 153,89 | 158,05 | 146,7 |
| 5 | 155,14 | 161,3 | 159,8 | 164,36 | 172,39 |
| 6 | 144,8 | 161,3 | 155,43 | 151,24 | 151,23 |
| 7 | 159,78 | 155,43 | 172,08 | 165,84 | 164,08 |
| 8 | 158,33 | 162,82 | 149,88 | 155,43 | 161,3 |
| 9 | 155,6 | 140,06 | 136,78 | 159,8 | 167,5 |
| 10 | 161,3 | 164,36 | 164,36 | 167,5 | 162,82 |
| 11 | 169,11 | 161,3 | 172,39 | 165,92 | 155,43 |
| 12 | 157,21 | 169,11 | 165,92 | 165,92 | 151,24 |
| 13 | 164,34 | 169,11 | 165,92 | 169,11 | 175,77 |
| 14 | 162,82 | 164,36 | 163 | 164,36 | 148,72 |
| 15 | 152,19 | 140,66 | 140,65 | 145,72 | 169,11 |
| 16 | 167,5 | 159,8 | 164,36 | 169,11 | 174,07 |
| 17 | 165,44 | 157,7 | 172,39 | 167,5 | 167,5 |

JAVASLATOK

Mivel ugyanolyan jól teljesített a nitrogén gáz gyökvédőként mint az argon ezért megállapítható, hogy ahol lehet ezt használjuk (pl.: gyógyszeripar tiltja), mert jóval olcsóbb. Megjegyzem, hogy a titánnal stabilizált korrózióálló acéloknál kerüljük, mert biztosan titánnitrit képződik a felületen, mely túl nagy keményedést okoz

és végső soron nagy lesz a repedésveszély, illetve a heterogeneitás miatt nem lesz megfelelő a korróziós tulajdonság. A mintákat javasoljuk további korróziós vizsgálatokra küldeni, hogy jobban kimutatható legyen a gyökvédelmek közötti különbség.

Tapasztalataink szerint a királyvíz nem megfelelő maratószer az ausztenites acélokhoz, számomra a réz-klorid sokkal jobban működött és kevésbé gyengült.

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy az $Ar+H_2$ keveréggáz alkalmazása a legproblémásabb.

Köszönetnyilvánítás

A Linde Gáz Magyarország Zrt-nek, hogy biztosította kutatásunkhoz a gázokat, Dr. Gyura László, szakmai tanácsadónak, illetve a dunaújvárosi telephelyükön a hegesztési próbákat végzőknek.

IRODALOM

- [1] A. Farwer–M. W. Bernd Hildebrandt (2003): „Schweissen von hochlegierten Stählen für den Chemieapparatebau,” *Gas Aktuell* 65. *Berichte aus Forschung und Technik*, pp. 28–32.
- [2] Fülöp J. (1998): *Rövid kémiai értelmező és etimológiai szótár*. Celldömölk: Pauz–Westermann Könyvkiadó Kft.
- [3] Frischherz–Skop (1997): *Fémtechnológia 1. – Alapismeretek*. Budapest: B+V Lap- és Könyvkiadó Kft.
- [4] S. G. Nehme (Ed.): *Anyaghibák, korrózió és okai, javítás*. [Performance]. n.i..
- [5] Haraszi F. (2016): „KORRÓZIÓ VIZSGÁLATOK ALAPJAI,” Budapest: *Műszaki tudományos közlemények*, 5, p. 185.
- [6] Bödök K. (1994): *Korrózióálló és hőálló acélok*. Corweld.
- [7] Károly, B. (1997): *Az ötvözetlen, gyengén és erősen ötvözött szerkezeti acélok korrózió állósága, különös tekintettel azok hegeszthetőségére*. Corweld.
- [8] L. B. (2015): „Analysis of Super Duplex Stainless Steel Properties as an Austenite-Ferrite Composite,” *Materials Sciences and Applications*.

- [9] n.i., *Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods*. Washington: American Iron and Steel Institute. n.i., n.i..
- [10] Balázs V. (2019): *A nitrogén szerepe a duplex korrózióálló acélok*. Budapest..

Dr. Szabó Andrea, Fehér Jánosné Dr.

Nyomásos öntéssel előállított Al-öntvény mintadarabok szerkezetvizsgálati eredménye a korróziós tesztek tükrében
egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, tudományos kutató, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet,

Kulcsszavak: Nyomásos öntés, metallográfia, hibaokfeltáró vizsgálat.

BEVEZETÉS

AlSi12Fe minőségű, nyomásos öntéssel előállított, különböző felületkezelési eljárások után festett mintadarabok beömlő nyílással szemközti oldalán a bevonat elválását tapasztaltuk. A hibák okának felderítésére kidolgoztunk egy vizsgálati rendszert, melyben metallográfiai, illetve korróziós tesztekkel igyekeztünk a tapasztalt hibajelenség okát felderíteni. Az AlSi12Fe anyagfajta közleutektikusösszetételű, a spektrométeres elemzési eredmények szerint az eutektikumot módosító elemek (Na, Sr, Sb) nincsenek jelen az összetételben. Ennek megfelelően a szövetszerkezeti elemek primer alumínium dendrit, és eutektikum. Általánosan elmondható, hogy az alumíniumötvözetek általában ellenállnak a korrózióknak, mivel az alumínium felszínén természetesen kialakul egy vékony oxidréteg (alumínium-oxid), amely védelmet nyújt a további korrozív hatások ellen. Az alumíniumöntvények azonban érzékenyek lehetnek a repedések kialakulására, különösen, ha feszültségi körülmények is jelen vannak.

A korrozív hatások csökkentése érdekében az alumínium-ötvözeteket gyakran kezelik korróziógátló bevonatokkal, mint például a festékbevonatok.

VIZSGÁLATI RENDSZER

A bonyolult geometriával rendelkező alumíniumöntvények szemrevételezésekor a beömlő nyílással szemközti oldalon a darabok külső felületén helyenként a festékbevonat leválását tapasztaltuk mindkét típusú felületkezelésen átesett, illetve a kezeletlen mintadarabon egyaránt.

A mintadarabokból ezért páronként egyet hathetes korróziós tesztnek vetettünk alá.

A korróziós tesztek előtt a mintadarabok felületét bekarcoltuk annak érdekében, hogy a korróziós folyamatok minél markánsabban jelenjenek meg a mintadarabok felületén (1. ábra).

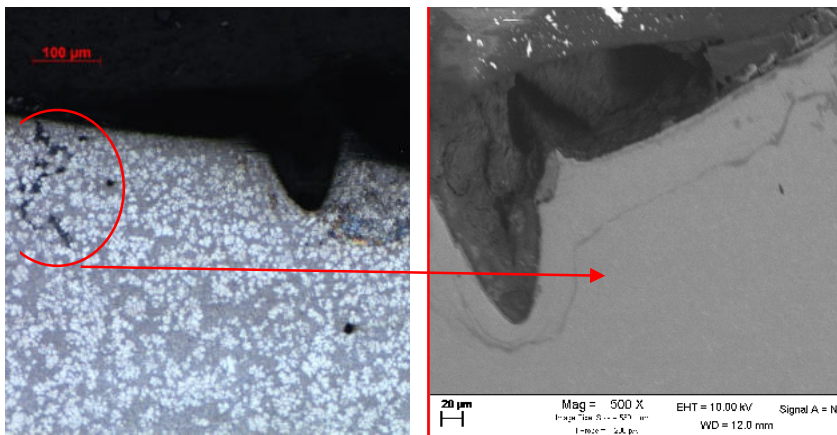
1. ábra. A mintadarabok felületén tapasztalható jellemző korróziós jelenségek



Az 1. ábrán látható korróziós helyekről metallográfiai csiszolatokat vettünk ki. Az optikai mikroszkópos és az elektronmikroszkópos felvételek a 2–3. ábrákon láthatók.

Szemcseközi korrózió a mintadarab szövetszerkezetében a korróziós teszt után.

2. ábra. Szemcseközi korrózió a mintadarab szövetszerkezetében a korróziós teszt után

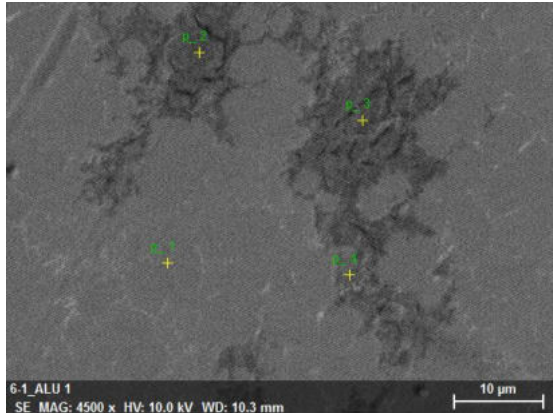


(b) Optikai mikroszkópos felvétel, N=100x, Nital

(j) Elektronmikroszkópos felvétel, N=500x, BSD

Az elektronmikroszkóphoz illesztett energiadiszperzív röntgenspektrométerrel határoztuk meg a szövetszerkezetben megfigyelt korróziós termék kémiai összetételét, lásd 3. ábra.

3. ábra. Korróziós termék a mintadarab szövetszerkezetében
a korróziós teszt után



| Mass percent (%) | C | O | Na | Mg | Al | Si | Ca | Fe |
|------------------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| Spectrum | | | | | | | | |
| p_1 | - | 1.04 | - | - | 96.81 | 2.15 | - | - |
| p_2 | 5.07 | 26.24 | 0.81 | 0.16 | 20.67 | 40.48 | 2.27 | 4.30 |
| p_3 | 4.14 | 25.85 | 0.91 | 0.23 | 25.72 | 33.02 | 2.49 | 7.65 |
| p_4 | 1.68 | 9.00 | 0.21 | 0.35 | 61.02 | 20.23 | 1.65 | 5.86 |
| Mean value: | 3.63 | 15.53 | 0.64 | 0.25 | 51.06 | 23.97 | 2.14 | 5.93 |
| Sigma: | 1.75 | 12.57 | 0.38 | 0.10 | 35.39 | 16.78 | 0.44 | 1.68 |
| Sigma mean: | 0.88 | 6.28 | 0.19 | 0.05 | 17.70 | 8.39 | 0.22 | 0.84 |

- (b) Elektronmikroszkópos felvétel, N=4500x
(j) a bal oldali ábrán jelölt pontok összetétele, m/m%

EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, KONKLÚZIÓ

A folyékony fém kétoldali beáramlása miatt a szívódási üreg jellegű hibák kialakulására ezeken a helyeken a legnagyobb az esély az esetlegesen jelenlévő oxidhártyák miatt. Ezek az oxidhártyák az öntvény gyors hűlése miatt az öntési folyamat során már nem tudnak összezáródni, és az öntvény belsejében szívódási üregeket hoznak létre.

A korróziós tesztek megkezdése előtt feltételeztük, hogy a szívódási üregek, melyek a felület közelébe érnek (és a karcteszt során megsérülnek), kiinduló pontjai lehetnek a felületi korrózióknak. A korróziós teszten részt vett mintadarabok szövetszerkezetében azonban nem találtunk szívódási üregeket vagy olyan szövetszerkezeti anomáliát, amelyek a korrózió kiindulópontjaként viselkedtek volna a teszt során. A hibák kialakulási oka ezért úgy tűnik, hogy nem alapanyag eredetű.

A festékréteg felhólyagosodását nemcsak a bekarcolt felületeken tapasztaltuk, hanem a mintadarabok olyan részein is, ahol nem ejtettünk karcot.

Mivel nem tudunk párhuzamot vonni a fémmikroszkópos és elektronmikroszkópos vizsgálataink során feltárt szövetszerkezeti anomáliák, a korrózió megjelenési helye és a festékréteg felhólyagosodása között, feltételezzük, hogy az öntvények felületén a festékréteg alatt maradhatott olyan anyag, ami közrejátszhat a festékréteg elválásában. Ha az öntvények felületén a vizes mosás után nem történik megfelelően a szárítás, víz marad a felületen, ami a festékréteg felvitele után a beégetési hőmérsékleten hidrogén fejlődéséhez vezet, ami miatt a festékréteg felhólyagosodik.

Ha figyelembe vesszük, hogy a szakirodalom szerint az öntött anyagban mikro porozitás, vagy kapillárisok vannak jelen, akkor a felületen maradó víz vagy szilikonszármaszerek a felületről a kapillárisokba szívódva okozhatják a festékbevonat elválását az öntvény felületétől.

A hibaokok az alábbiak lehetnek:

- Formakitöltéskor, a beömlő nyílástól távol a megszilárduló öntvény felületén kialakul egy oxidréteg, amely felelőssé tehető az öntvénybelsejében az anyagfolytonossági hiány kialakulásáért [1]
- Szívódási üregek vagy áramlási vonalak kialakulásának oka a nyomásos öntés esetében többféle lehet: a nem megfelelő beömlő

- csatornakialakítás, a nem megfelelő szerszámkenés, vagy a nem megfelelő féminjektálás, illetve visszaható nyomás [2]
- Ha az öntvények felületén a vizes mosás után nem történik megfelelően a szárítás, víz marad a felületen, ami a festékréteg felvitele után a beégetési hőmérsékleten hidrogén fejlődéséhez vezet, ami miatt a festékréteg felhólyagosodik. [3]
 - Az öntött alumínium szerkezetében eltérő méretű és alakú szemcsék találhatóak, amelyek különböző hőtágulási tulajdonságokkal rendelkeznek. Az öntési folyamat során ezek a szemcsék nem egyforma módon hűlnek le, ami feszültségeket okozhat az öntvény szerkezetében, és kapillárisokat alakíthat ki. [4]

IRODALOM JEGYZÉK

- [1] *New classification of defects and imperfections for aluminium alloy castings* c. tanulmány (Elena Fiorese, Franco Bonollo, Giulio Timelli és társaik)
- [2] ASM Specialty Handbook: *Aluminium and Aluminium Alloys*.
- [3] Réger Mihály et al. : *Detection of Porosity in Impregnated Die-Cast Aluminum Alloy Piece by Metallography and Computer Tomography*.
- [4] Lihong Shang (2004): *Prediction of Microloposity in aluminium silicon castings using criteria functions*.

Dr. Bereczki Péter, Baross Tétény

316L acélminőség diffúziós hegesztési kísérletei Gleeble 3800-as termomechnikus szimulátoron

*Műszaki Intézet, Dunaújvárosi Egyetem,
ELKH Energiatudományi Kutatóközpont.*

Kulcsszavak: Gleeble 3800; diffúziós hegesztés; kontakt villamos-ellenállás.

Diffúziós hegesztési és referencia-kísérleteket végeztünk el 316L mintákon a Dunaújvárosi Egyetem Gleeble 3800 fizikai szimulátorán. A kísérletek és a kísérletek numerikus modellezései alapján megállapítottuk, hogy a hegesztett minták kisebb tengelyirányú deformációt szenvedtek el a referenciamintákhoz képest, melyeknek nem volt hegesztési varratuk. A jelenséget a hegesztési felületen ébredő kontakt villamos-ellenállással magyaráztuk, ahol az ott keletkező hő jelentősen befolyásolja a hőmérsékleteloszlást a mintában. A hosszú hegesztési folyamat alatt a kontakt villamos-ellenállás csökkenését is figyelembe tudtuk venni, melyet az elméleti összefüggésekkel összehasonlítottunk. Ennek pontosabb modellezése segíthet jobban megérteni a diffúziós hegesztési varrat kialakulását, és a hegesztési paraméterek megfelelő megválasztását.

SZAKIRODALMI ÖSSZEFOGLALÓ/BEVEZETÉS

A világ energiaigénye folyamatosan növekszik, így új környezetbarát erőművek fejlesztésére van szükség. A jövőben ilyen erőművek lehetnek a magfúziós elven működő új erőművek. Ezek megvalósításának következő mérföldköve a napjainkban Franciaországban CEA (Cadarache) épülő ITER fúziós tokamak.

A fúziós folyamat során vákuumkörnyezetben mágneses térrel lebegtetnek töltött részecskéket: deutériumot és tríciumot, ahol nagy energiájú neutronok szabadulnak fel. A semleges töltésű neutronok mozgási energiáját, a vákuumot közvetlenül határoló első fal nyeli el, ahol a neutronsugárzás nagyságrendekkel nagyobb lesz, mint ami egy atomerőmű reaktortartályának falát éri. Ezért a hegesztési varratok a mechanikai kötések mellett a megfelelő hővezetést, és vákuumhatárt is biztosítják. A fúziós reaktor sajátossága miatt ciklikus üzemeltetés lesz, ezért a hőfejlődés és hűlés ismétlődése további ciklikus terhelést is jelenthet a hegesztési varratokon.

A vákuumedény belső falára szerelt hűtött köpenyelemek (ún. blanket modulok) hegesztési kötéseit többek között szilárd halmazállapotú diffúziós hegesztési eljárással, (angolul HIP: Hot Isostatic Pressing) meleg izosztikus sajtolással alakítják ki. Különböző szerkezeti anyagok mellett a fő szerkezeti elemeket 316L(N) minőségűnek megfelelő minőségű 316L(N)-ITER GRADE acélból készítik.

Kutatásunk során diffúziós hegesztési kísérleteket végeztünk el a Dunaújvárosi Egyetem Gleeble 3800 termomechanikus szimulátorán. A diffúziós hegesztés főbb jellemzői: a hőmérséklet, nyomás és idő, melyre az irodalomban a HIP izosztikus nyomású kísérletekre a 316L (1.4404) acélra 1000–1050°C / 100–150 MPa / 1–2 óra értékeket találunk. Ugyanakkor esetünkben az egytengelyű terhelés mellett a mintákon alacsonyabb nyomást és rövidebb időt választottunk - így elkerülve a jelentős tengelyirányú alakváltozást. Az 1. ábrán egy Gleeble diffúziós hegesztési kísérlet látható, réz befogó pófákkal.

1. ábra. Diffúziós hegesztési kísérlet a Dunaújvárosi Egyetem Gleeble 3800-as termomechanikus szimulátorán



Ahogy a korábbi tanulmányok is rámutattak a 316L esetében a diffúzióshegesztésifolyamatotjelentősenátoljákaszennyeződések,

illetve az oxidok jelenléte. Ezek mellett a nem megfelelő felületi érdesség és síklapúság is ronthatja a folyamatot. Így a felületek megfelelő kezelése elengedhetetlen része a jó hegesztési varratnak.

A diffúziós kötés esetében a kontaktfelületen keletkező üregek eltűnése, azaz a teljes felület áthegedése, jellemzően hosszú időt vesz igénybe. Az ilyen hosszú hegesztési folyamatok magas költséggel járnak, valamint a mintadarabok gondos előkészítésével.

A Gleeble-berendezés ellenállásfűtését kihasználva lehetőségünk adódott a felületi kontakt villamos-ellenállás és a kontakt felület létrejöttét összekapcsolni, mely vizsgálathoz hasonlót a diffúziós hegesztési irodalomban nem találtunk.

A kontaktfelület villamos-ellenállással való megfigyelését tettük meg, mely hasznos eredményeket adhat a felületen lejátszódó folyamatok vizsgálatára.

A GLEEBLE-KÍSÉRLETEK ÉS A NUMERIKUS MODELLEZÉSEK ELVÉGZÉSE

Egy adott anyagpárosítás hegesztési minőségének teljes körű ellenőrzéséhez a kötési felület mikroszerkezeti vizsgálata mellett a szakítópróbák és a töréspróbák elvégzése is szükséges. Mivel ezek igen költségesek és a 316L acélra számos vizsgálat született már, ezért a kontaktfelületen létrejövő kötési mechanizmusok jobb megértésére és azok modellezésére fókuszáltunk.

A minták felületének kialakítása

A hengeres mintákat a Gleeble befogópofáknak megfelelően alakítottuk ki, ahol a hegesztendő kontaktfelületet az irodalom alapján készítettük elő.

A felületek csiszolásával a mérések alapján a minták felületi érdességét $R_z = 0.5 \div 1 \mu\text{m}$ értékekre állítottuk be vizes csiszoló papírral. Az acetonos tisztítás után a króm oxid eltávolítása CITRANOX[®] 2-5% savas oldattal történt 35°C-n, ultrahangos fürdőben. Majd desztillált vízben a savas oldat tisztítása történt meg, szárazra töröltük, fújtuk. A mintákat egy vákuumedénybe Ar-gáz alatt tároltuk, megelőzve ezzel a további oxidációt. Bár a részleges oxidáció elkerülhetetlen a minták kivételénél és a mérőcellába való szerelésekor, azonban az így keletkező oxidréteg feltehetően jóval kisebb, mint az eredeti felületen. A fél minták a 2. ábrán láthatóak.

2. ábra. Próbatestek diffúziós hegesztésre előkészített felülettel



A hegesztések kivitelezése és mért paraméterek

Hegesztési és referencia kísérleteket végeztünk azonos paraméterek mellett: 1000°C/30 MPa/60 min (DG3/RG3) és 1055°C/30 MPa/40 min (DG7/RG7), ahol az „R” referenciamérések egy teljes mintát jelentenek, hegesztési varrat nélkül. A kísérleteket a berendezés vákuumozható kamrájában hajtottuk végre, a vákuum értékét

$(1-5) \times 10^{-3}$ torr tartományban tartottunk. A kísérlet alatt mért adatokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A Gleeble-vezérlés által rögzített adatok

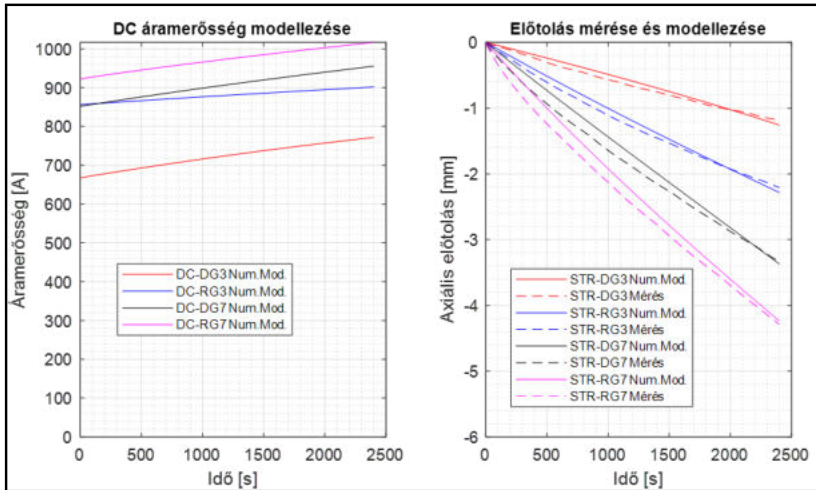
| Mért értékek | Jellemzők | Mértékegység |
|---|--|--------------|
| Hegesztési hőmérséklet, legmelegebb pont, a fűtési teljesítményt erre az értékre szabályoztuk | R-típusú termoelem, 10 Hz | °C |
| A minta befogás melletti hőmérséklete, leghidegebb pont | R-típusú termoelem, 10 Hz | °C |
| Az axiális deformáció / a hidraulikus munkahenger pozíciója alapján | 10 Hz | mm |
| A minta tengelyirányú terhelése | Vezérelt paraméter a programban rögzített érték feszültségérték, 10 Hz | N |
| Kitöltési tényező (a fűtési teljesítmény szabályozását mutatja) | A Gleeble az előírt hegesztési hőmérsékletnek megfelelően szabályozza. | % |
| Vizsgálókamra vákuumértéke | Manuálisan került rögzítésre, a kontrollkijelzőről leolvasva | torr |

A kísérletek során megfigyeltük, hogy a hegesztett minták kevésbé kúsztak a referenciamintákhoz képest, azaz a hegesztett minták tengelyirányú deformációja kisebb volt az azonos terhelés mellett (hőmérséklet, nyomás) a referenciamintákhoz képest. Mivel a kettő között az egyedüli különbség a hegesztési varrat volt, ezért a jobb megértésért a Gleeble működésének megfelelően egy numerikus modellt hoztunk létre.

A Gleeble-kísérleteket leíró numerikus modell a minta hőmérséklet-eloszlását számolja a hőmérsékletfüggő anyagjellemzőkkel, valamint kúszási függvénnyel közelíti a tengelyirányú deformációt. A kontaktfelülethez egy feltételezett kontakt villamosellenállás-függvény hozzáadásával a hegesztési varrat hatását tudtuk modellezni. A modell és a számítási folyamat [4] részletes ismertetésétől jelen cikkben terjedelmi korlátok miatt eltekintünk, a következőkben az eredményeket ismertetjük.

A modell alkalmas az ellenállásfűtésből származó hőmérséklet-eloszlás meghatározására a hőmérsékletfüggő anyagjellemzők figyelembevételével. A numerikus modell a Gleeble-berendezéshez hasonlóan szabályozta a szükséges egyenáramot. Továbbá a berendezés szabályozta és állandó értéken tartott, a minta felületén a 30 MPa felületi nyomást és a tengelyirányú terhelést változtatva. Ennek megfelelően a hosszváltozás alapján a növekvő felület arányában növeltük a tengelyirányú nyomást a modellben. A numerikus modellezéseket a kísérletekhez igazítottuk, ahol a DG3 / RG3 (1000 °C) és DG7 / RG7 (1050 °C) kísérleti párok esetében ugyanazzal a feszültségkitevővel (kúszási paraméter) számoltunk. A modellezett áramerősség egyenáram mértékét és a méréssel összevethető axiális előtolás modellezését a 3. ábra mutatja.

3. ábra. a.) Az áramerősség modellezése b.) 2400 s-ig az előtolás mértéke DG3, RG3, DG7, RG7 fizikai kísérletekre összevetve a modellekkel [4]



EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE, ÖSSZEFOGLALÁS

A modellezéssel megállapítottuk, hogy a hegesztési varratnál fellépő kontakt villamos-ellenállás jelentősen befolyásolja a minta hőmérséklet-eloszlását és áramfelvételét. Összefüggést találtunk a minta tengelyirányú deformációja, a hegesztéskor a felületen létrejövő kontakt villamos-ellenállás és a diffúziós hegesztés folyamata között. A mérések és a numerikus modellezések alapján feltételezhetjük, hogy a kontakt villamos-ellenállás meghatározása jó jelzője lehet a hosszú hegesztési folyamat előrehaladására. A módszer előnye, hogy ezzel a diffúziós hegesztési kötés alakulása a hosszú folyamat megállítása nélkül is vizsgálhatóvá válik.

IRODALOM

- [1] Barabash, V. (2005): „*ITER dokumentum, Fusion Welds and HIPed Joints.*” G 74 MA 10 W0.3, (Letöltve: 2019. 03. 14.).
- [2] Barabash, V. (2013): „*ITER dokumentum, Appendix A, Materials Design Limit Data.*” (ITER_D_222RLN), (Letöltve: 2016. 02. 07.).
- [3] Sato, S.–Enoeda, M.–Kuroda, T.–Ohara, Y.–Mohri, K.–Cardella, A. (2001): „Characteristic evaluation of HIP bonded SS/DSCu joints for surface roughness” *Fusion Engineering and Design. FUSION ENG DES.* 58., pp. 749–754. 10.1016/S0920-3796(01)00557-9.
- [4] Baross, T.–Bereczki, P.–Jánosi, L.–Palánkai, M.–Sánta, B.–Veres, G. (2020): „Diffusion bonding experiments of 316L steels in a Gleeble 3800 thermomechanical simulator for investigation of non-destructive inspection methods.” *Fusion Engineering and Design*, 160., 111768, ISSN 0920-3796, <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2020.111768> <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920379620303161>.

Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Pázmán Judit **Ötvöző elemek hatása a reaktoracélok anyagkárosodási folyamataira – szakirodalmi elemzés**

*PhD-hallgató, Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola,
egyetemi docens, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet*

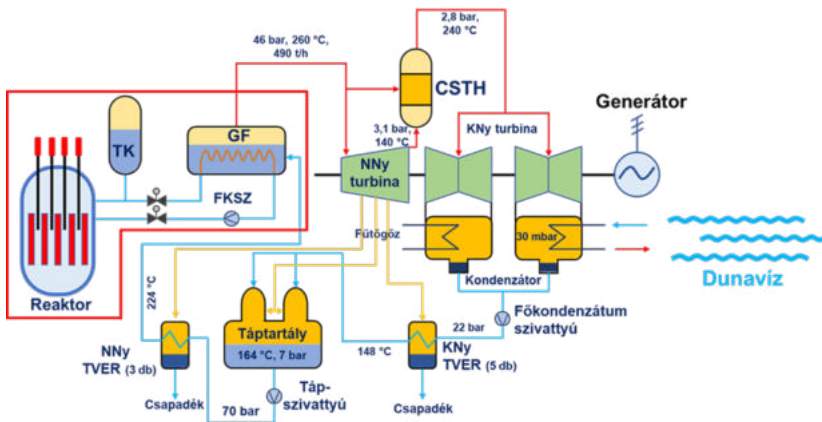
Kulcsszavak: Reaktoracél, ötvöző elemek, szennyező elemek, termikus öregedés, neutronbesugárzás okozta anyagkárosodás.

BEVEZETŐ

A nyomottvízes atomerőműveket – felépítésüket tekintve – egy primerkör és egy szekunder kör alkotja. A primerkör főbb elemei: a reaktortartály, a reaktor hűtőkör, a térfogatkompenzátor, a gőzfejlesztő és a főkeringtető szivattyú (1. ábra).

A reaktorban lejátszódó folyamatok, úgy, mint az ^{238}U maghasadása, felszabaduló neutronokat eredményez, melyek gyors neutronok, azaz mozgási energiájuk nagyságrenddel nagyobb, mint a szabályozható maghasadást biztosító termikus neutronoké. Éppen ezért a reaktortartályban lévő moderátor, azaz könnyűvíz – paksi blokkok esetén – fő feladata a neutronok lelassítása és a láncreakció szabályozása. A szabályozható maghasadáshoz védelmi gátakat kellett beépíteni, úgy, mint az üzemanyag pasztillák speciális kialakítása, azok védőburkolata, maga a reaktortartály és a konténment.

1. ábra. Nyomott könnyűvízes atomerőmű felépítésének sematikus ábrája



Forrás: Kovács, 2021.

Kutatómunkánk során a reaktortartály anyagával a hozzákapcsolódó kritériumokkal foglalkoztunk és elemeztük szakirodalmi adatok alapján az ötvözőelemek hatását a reaktortartály anyagkárosodási folyamataira.

A REAKTORTARTÁLY-ACÉLTÍPUSOK KÉMIAI ÖSSZETÉTELE ÉS KRITÉRIUMAI

A pasztilla és a burkolatától kifelé haladva a reaktortartály a harmadik védelmi gát, mellyel szemben igen magas elvárások vannak. Két fő igénybevételnek kell ellenállnia. Az egyik a magas üzemelési hőmérséklet kb. 300°C, ami termikus ridegedést okoz a fémszerkezetben. A másik pedig a maghasadások során az üzemanyagból kiszökő gyors neutronok, melyek a moderátoron átjutva a reaktortartály falába csapódnak, azaz a besugárzás okozta ridegedést generálnak. Tehát a kiválasztott acél anyagminőségnek egyaránt meg kell felelni a magas hőmérsékletű üzemelésnek és az azonos idejű neutron besugárzásnak. Így a legfontosabb feladat a reaktortartály gyártása során a megfelelő anyagminőség kiválasztása, ezt követően a falvastagság meghatározása, és részegységeinek összehegesztése, mivel a reaktortartály a nukleáris védelmi gátak harmadik – és mivel nincs redundanciája, a legfontosabb – eleme. A reaktortartály ferrites acél, mely főként krómot, szilíciumot és mangánt, továbbá molibdént, nikkelt és vanádiumot tartalmaz.

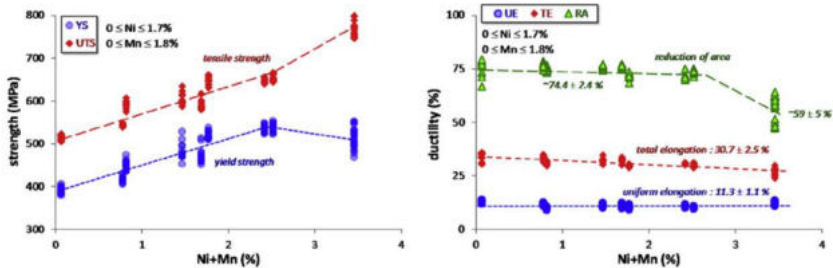
2. táblázat. Jellemző reaktoracélok kémiai összetétele

| Kémiai elemek | VVER-440 /15H2MFA névleges | 20MnMoNi55 |
|---------------|-------------------------------|------------|
| C | 0,13–0,18 | 0,15–0,23 |
| Mn | 0,3–0,6 | 1–1,5 |
| Si | 0,17–0,37 | Max. 0,4 |
| Cr | 2,5–3 | Max. 0,2 |
| Ni | Max. 0,04 | 0,4–0,8 |
| Cu | Max. 0,02 | Max. 0,01 |

| | | |
|----|------------|-----------|
| S | Max. 0,025 | Max. 0,01 |
| P | Max. 0,025 | Max. 0,02 |
| V | 0,25–0,35 | Max. 0,02 |
| Mo | 0,06-0,08 | 0,4–0,6 |
| As | Max. 0,05 | - |
| Co | Max. 0,02 | - |

A 2. ábra a Ni és Mn együttes hatását mutatja a szilárdsági és Co-szívóssági jellemzőkre. Az egyezményes szakítószilárdság növekszik a Ni+Mn mennyiségének növelésével, de a folyáshatáregy maximumos görbét rajzol ki. A maximuma pedig kb. Ni+Mn≈2,5. A nyúlásértékekre nincs hatással a Ni+Mn növekedése, de a kontrakcióra igen, mégpedig kb. 2,5-nél drasztikusan lecsökken.

2. ábra. Ni és Mn hatása a szilárdsági és szívóssági jellemzőkre nem besugárzott minták esetén



Forrás: Chaouadi–Gérard–Stergar–Renterghem, 2019.

Az előzőekben ismertetett ötvözőelemek a reaktoracélok főbb ötvözői (2. táblázat), melyek megválasztása kulcsfontosságú az üzemelés során fellépő termikus hatások és neutronsugárzás következtében. Információkkal kell rendelkezni az egyes ötvöző elemek hatásáról, de kulcs ötvöző elemek együttes hatását is

figyelembe kell venni. Az egyes ötvözőelemek (Mn, Ni, Si) és szennyező elemek (Cu, P) hatását elemeztük a termikus és a besugárzás indukálta ridegedésre

ÖTVÖZŐELEMENK MENNYISÉGÉNEK HATÁSA A TERMIKUS ÖREGEDÉS ÉS NEUTRON OKOZTA ANYAGKÁROSODÁS LEFUTÁSÁRA

A termikus ridegedés hatását elsődlegesen a mechanikai jellemzőkben követhetjük nyomon, és a szövetszerkezetben nem mutatnak ki jelentős módosulások,

A reaktoracél közel 300°C-on üzemel, mely hőmérsékleten a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet (DBTT) kismértékű növekedése figyelhető meg. De jelentős szövetszerkezet-változást atomerő-mikroszkóppal nem lehet kimutatni a hosszú idejű termikus öregedéskezelés előtt és után sem. A 260°C-os 209.000 órás kezelés csak minimális hatással van a mechanikai jellemzőkre, azaz a reaktoranyagok szakítószilárdságára és az ütőmunka-értékekre. Összességében, az üzemközbeni vizsgálatok eredményei nem mutatnak jelentős termikus öregedési hatást a reaktoracélokra 300°C alatti hosszú idejű termikus öregítés után.

Vu és társai (Vu, és mtsai., 2018) 10.000 órás 350°C–450°C között termikus öregedési kísérleteket végeztek (Termikus öregítés 350°C-on 500, 1000, 1500 és 3000 óra) levegő atmoszférában. Azért választották a 350°C-ot mert ez megegyezik a nyomott vizes reaktortartály-anyagok tervezési hőmérsékletével. Az öregítést követően szakítóvizsgálatot, ütővizsgálatot hajtottak végre, így elemezve a termikus ridegedés hatását a reaktoracélra. A szakítószilárdság, Charpy-ütőmunka, és törési szívósság értékekben a 350°C, 400°C és 450°C 10.000 órás öregítést követően nem észleltek jelentős változást. De a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet (DBTT) 20°C-kal növekedett és JIC törési szívósság

30%-kal csökkent a 450°C-on végzett 10.000 órás öregítés hatására. Az öregítési időt növelve a DBTT-értékek további emelkedését tapasztalták (450°C-os 15.000 órás öregítés után 33°C-kal). Következtetésként levonható, hogy a laboratóriumi adatok jelentős termikus öregedést mutatnak 400°C feletti öregítések után, mely a DBTT-jelentős növekedésében mutatkozik meg (Vu, és mtsai., 2018).

A neutronbesugárzás, elsődlegesen az anyagszerkezetben lévő vakanciák, nulldimenziós hibák és az ötvöző elemek (Cu, Mn, Ni, Si, Cr, Mo) valamint a szennyező elemek (P, As, Sn) kölcsönhatását váltja ki, okozva ezzel olyan egyedi fázisképződéseket, melyek hatása már a mechanikai jellemzők, különösen a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet drasztikus növekedésében és a besugárzási keményedésben, azaz a folyáshatár növekedésében ($\Delta\sigma$ -ban) mutatkozik meg.

A mechanizmus: a reaktortartályfalába becsapódó nagyenergiájú neutronok vakanciákat (üres atomhelyeket) és interstíciós beékelődéseket hoznak létre az elmozdulási kaszkádokban. A diffúzió, az ötvözőelemek csoportosulása és a rácshibák megszűnése az alábbiakhoz vezet (Almirall, és mtsai., 2019):

- a. hibaoldó komplexek képződése
- b. besugárzással növelt oldó diffúziós kiválások (RED).

Tehát a szerkezeti anyagok felkeményednek, ridegednek a besugárzás alatt, mégpedig a sugárzási hibák, diszlokációs hurkok kialakulása és a sugárzás okozta kiválások (Gurovich, 2015.), kölcsönhatásának eredményeként, melyek akadályt jelentenek a diszlokációs mozgások számára. A sugárkárosodás mértéke a kiválások akadályozó képességének és a kiválások sűrűségének, azaz térfogathányadának a függvénye.

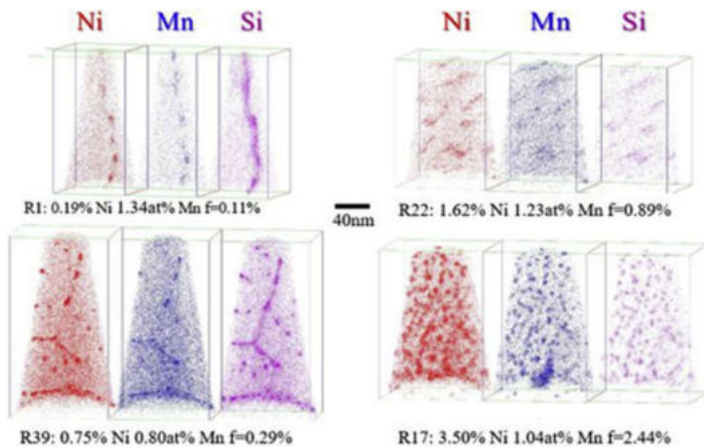
A kiválások létrehozásában az egyik meghatározó ötvözőelem a réz, melynek hatását és mechanizmusát évtizedekre visszanyúlóan vizsgálták. Hatását úgy mutatták ki, hogy a szövetszerkezeti vizsgálatokat megújuló, lágyító hőkezelést követő mechanikai

vizsgálatokkal párosították és detektálták, hogy a vakanciák kölcsönhatásba lépnek a réz klaszterekkel, ennek eredményeként egyedi kiválásokat képeznek, melyek száma sokkal több és sokkal stabilabbak, mint a réz hiányában létrejött fázisoké. Azaz a rézklaszterek lesznek a csíráképző helyek, a kiválások számára. Harries (Harries, 1983) Az A533B reaktortartály szerkezetét vizsgálta 290°C-on 3×10^{19} n/cm² neutronfluenciával történt besugárzást követően, fókuszáltan a réz és a nikkelt hatására. A réztartalmú ötvözetek nagy sűrűségű szóráscentrumokat mutattak, amelyek hiányoztak az azonos körülmények között besugárzott, de rézmentes kontrollötvözetből. Ezeket a <1,5 nm átmérőjű centrumokat háromdimenziós kiválásokként azonosította, amelyek vagy rézatomokat tartalmaztak önmagában, vagy a besugárzás során keletkező pontszerű hibákkal, vakanciákkal kombinálva jelentek meg. Ezek a klaszterek akadályozzák a csúsztási (él) diszlokációk mozgását és így felelősek a besugárzási keményedésért (Harries, 1983). **A rézkiválások csak 0,1% feletti rézkoncentráció esetén detektálhatók.**

A réz mellett a másik ötvözőelem, mely a reaktoracélok neutron-sugárzási érzékenységét indukálja, a nikkelt. Káros hatása egyaránt jelentkezik a kovácsolt szerkezetben és a hegesztett kötésekénél. Ezek a problémák 0,4% feletti nikkeltartalomnál jelentkezhetnek. Azok az acélok, melyeknek magas a réz- és a nikkeltartalma, nagy a besugárzási érzékenysége. Azok az acélok, melyekben a réz és a nikkelt csekély mértékű, szinte érzéketlenek a besugárzásra. A nikkelt hatása nagyban függ a réz mennyiségétől, és a nikkelt-koncentráció nem játszik szerepet, ha a réz mennyisége csekély, azaz 0,1% alatti. Ezek a vizsgálati megállapítások a réz és nikkelt közti kölcsönhatásból eredő szinergikus mechanizmus jelenlétére utalnak. A nikkelt ridegítő hatásának növekedése a Cu-Ni-vakancia-hibák képződésével magyarázható, melyek sokkal stabilabbak, mint a réz vakancia-hibák (Ghoniem-Hammad).

A rézmentes vagy csekély réztartalmú reaktortartály-acélokban Mn–Ni–Si intermetallikus kiválásokat figyeltek meg termikus öregítését és besugárzást követően. Pl. nagy térfogathányadú MNSPs (Mn–Ni–Si kiválások) kiválások képződnek a reaktortartály-acélokban nagy intenzitású besugárzások hatására, melyek eltérő keménység okozta ridegedést eredményeznek. (Almirall et al. 2019)

3. ábra. Mn–Ni–Si elemek eloszlása, oldott elemtérkép



Forrás: Almirall et al. 2019.

ÖSSZEFOGLALÁS

- Termikus öregedés nem jellemző a ferrites reaktoracélokra normál üzemi körülmények között, ennek vizsgálata csak növelt 400°C feletti laboratóriumi körülmények között lehetséges. Anyagszerkezeti változás nem detektálható, csak a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet (DBTT) magasabb hőmérsékletek felé tolódása figyelhető meg.

– Az ötvöző elemek közül a gyors neutronbesugárzásra kritikus a nikkell, a mangán és szilícium, melyek MNSP (Mn–Ni–Si) kiválásokat hoznak létre. Ezek rideg fázisok és ebből eredően anyagkárosodás – ridegedés – indul meg az acélban. Ezek térfogathányadának négyzetgyöke egyenes arányt mutat a folyáshatár növekménnyel, mely a besugárzási keményedést jelenti. Így ezek mennyisége nagy körültekintést igényel, mert 0,4% Ni és 0,1% Cu felett ezeknek a térfogathányada szignifikánsan növekszik a neutronbesugárzás hatására. Ebből eredően a VVER–440 reaktoracél esetén ez a jelenség nem áll fenn, mert a nikkell csupán szennyezőként van jelen, de ahol a nikkeltartalom 1–1,2% és a Cu mennyisége is a kritikus értéket közelíti.

IRODALOM

1. Almirall, N.–Wells, P.–Yamamoto, T.–Wilford, K.–Williams, T.–Riddle, N. (2019): Precipitation and hardening in irradiated low alloy steels with a wide range of Ni and Mn compositions. *Acta Materialia*, 179., pp. 119–128.
2. Chaouadi, R.–Gérard, R.–Stergar, E.–Renterghem, W. (2019.): Neutron irradiation hardening of chemically-tailored RPV steels with respect to Cu/P and Ni/Mn elements. *Journal of Nuclear Materials*, 519., pp. 188–204.
3. Ghoniem, M.–Hammad, F. (9–13 Dec. 1996): *Pressure Vessel Steels: Influence of Chemical Composition on Irradiation Sensitivity*. Damascus AAEE: Third Arab Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy.
4. Gurovich, B. (2015.): Evolution of structure and properties of VVER–1000 RPV steels under accelerated irradiation up to beyond design fluences. *Journal of Nuclear Materials*, 456., pp. 23–32.
5. Harries, D. (1983): *Annual Report on Underlying Research at Harwell*. Harwell: AERE.
6. Vu, D.–Xing, R.–Xie, G.–Yang, Z.–Wang, X.–Chen, X. (2018): Effect of thermal aging on mechanical properties of a bainitic forging steel for reactor pressure vessel. *Materials and Science Engineering*.

Olesnyovicsné Szabadi Zsuzsa, Pázmán Judit

VVER–440 reaktoracél termikus öregedése

*PhD-hallgató, PhD Hallgató, Óbudai Egyetem, Anyagtudományok
és Technológiák Doktori Iskola,*

egyetemi docens, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Termikus öregedés, reaktoracél, szövetszerkezet-vizsgálat, keménységmérés.

BEVEZETŐ

A termikus öregedés idő- és hőmérsékletfüggő folyamatként ismert, amelynek során az ötvöző elemek diffúziója zajlik és ez megváltoztatja az ötvözött anyag általános szövetszerkezetét. Az öregedési körülmények között a reaktoracélokban a termikus öregedés okozta ridegesség általában két típusba sorolható:

- hő okozta ridegedés,
- alakváltozási öregedés [1–8].

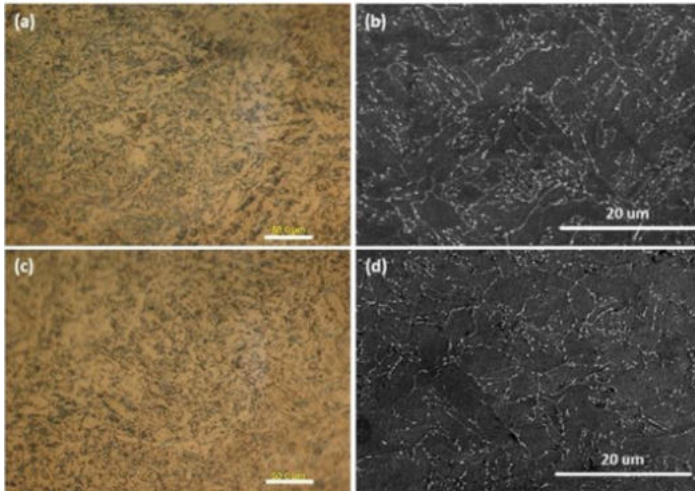
Az alakváltozási öregedés utal a statikus, illetve a dinamikus alakváltozás során bekövetkezett termikus öregedésre, ami általában a mobilis diszlokációk és az intersztíciósan oldott atomok közti reakciókat eredményezi.

A hő okozta termikus ridegedés mechanizmusai a reaktoracélokban két típusra osztható:

- a szennyező elemek diffúziója és szegregációja, például a P és a Cu [6],
- valamint a karbidok kiválása és más vegyületek, például cementit és MnS [8].

Mindkét mechanizmus a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet (ductile brittle transition temperature = DBTT) magasabb hőmérsékletek felé való eltolódásához vezethet, míg a szakító tulajdonságokra és a keménységre gyakorolt hatásuk határozottan eltérő. A kiválós ridegség folyásifeszültség-növekedésében, valamint a rugalmasság csökkenésében nyilvánul meg [4] a szegregációs ridegség olyan nem keményedő mechanizmust mutat, amely alig befolyásolja a szakító tulajdonságot vagy a keménységet [6].

1. ábra. 350°C-on 3000h öregítés hatására kialakult szövetszerkezet



Forrás: (9.)

Olyan termikus öregedés is lehetséges, amelyben a szegregáció és a kiválási mechanizmusok egyensúlya figyelhető meg. Amint azt a 1. ábra. (a) és (c) optikai mikroszkópos felvételein látható, hogy a termikus öregedés után kevesebb sötét terület figyelhető meg,

ami valószínűleg a visszamaradt martenzit ferritté és cementitté történő bomlására utal [7]. A 1 (b) és (d) ábrákból látható a szemcsén belüli kiválások csökkenése termikus öregítés után, ami annak köszönhető, hogy a martenzit jobban látható a felvételen, mint a cementit. A cementittartalom kismértékű növekedése magyarázza a keménység enyhe emelkedését, de nem magyarázza a szakítószilárdság enyhe romlását. Ezt a termikus öregedés során a szemcsehatárok mentén jelentkező szennyező elemek szegregációja okozza, ami bizonyos mértékig gyengíti az anyagot. Ezt támasztja alá Morvan [5] és Auger elektronspektroszkópia vizsgálata, mely során foszforszennyeződés jelenlétét mutatta ki a 16MND5 acél szemcsehatárain növelt, laboratóriumi körülmények között végzett, 500°C 1440 órán keresztül történt termikus öregítés után. Ennek oka lehet a szennyező elemek diffúziója a ferrites és bainites szemcsékből.

TERMIKUS ÖREGEDÉS VIZSGÁLATA

A termikus öregedés hatását az alacsony ötvözésű reaktoracélokra kétféle módon vizsgálhatjuk. Az üzem közbeni kitettséget az RPV üzemi hőmérsékletén, és a laboratóriumi szimulált és gyorsított hőkezelésekkel.

A reaktoracél közel 300°C-on üzemel, mely hőmérsékleten a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet (DBTT) kismértékű növekedése figyelhető meg. De jelentős szövetszerkezet változást atomerő mikroszkóppal nem lehet kimutatni a hosszú idejű termikus öregedéskezelés előtt és után sem. A 260°C-os 209.000 órás kezelés csak minimális hatással van a mechanikai jellemzőkre, azaz a reaktoranyagok szakítószilárdságára és az ütőmunka értékekre. Összességében, az üzem közbeni vizsgálatok eredményei nem mutatnak jelentős termikus öregedési hatást a reaktoracélokra 300°C alatti hosszú idejű termikus öregítés után.

Ahhoz, hogy a termikus öregedés hatását vizsgálni lehessen laboratóriumi termikus öregedési kísérleteket kell végezni. A kovácsolt acél mechanikai tulajdonságai 300°C alatti öregítések nem okoznak látványos tulajdonságbeli romlást, azonban az öregítést 450°C-ig kiterjesztve, a szakítószilárdság és a keménység kismértékű csökkenését és a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet jelentős növekedését okozzák.

ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK

Kutatómunkánk során VVER-440 reaktoracél, azaz 15H2MFA ferrites acélt vizsgáltunk, 400°C-on 350h, 500h és 1000h időtartamban. A minták mérete 20x20x20 mm kiskocka. Így az öregített reaktoracélokon makro-keménységmérést és szövetszerkezet-vizsgálatot végeztünk.

A kapott makro-keménységmérési eredményekből következtettünk a szakítószilárdságra a jól ismert $R_m=3,45 \cdot HB$ -összefüggéssel. A mintákon pásztázó elektronmikroszkóppal felvételeket készítettünk SE- és BSE-detektorral, továbbá kémiai elemzéseket, valamint fázisazonosítást végeztünk.

IRODALOM

- [1] Xu, H.–Grambau, B.–Moore, K.–Fyfitch, S. (2003): *EPRI Report*. Palo Alto: Electric Power Research Institute.
- [2] Eiselt, C.–König, G.–Hein, H.–Selektor, M.–Widera, M. (2015.): *Proceedings of the ASME 2015 Pressure Vessels & Piping Conference*.
- [3] Gerard, R.–Ballesteros, A.–Wallin, K.–Debarberi, L. (2003): *Proceedings of PISA*.
- [4] Guo, W.–Dong, S.–Guo, W. (2015): *Materials Science and Engineering: A*, 625., pp. 65–80.
- [5] Morvan, T.–Ganster, P.–Barnier, V.–Wolski, K. (2017): *Surface and Interface Analysis*, 49., pp. 666–673.

- [6] Nakata, H.–Fujii, K.–Fukuya, K.–Kasada, R.–Kimura, A. (2006): *Journal of Nuclear Science and Technology*, pp. 785–793.
- [7] Saha, D.–Biro, E.–Gerlich, A.–Zhou. (2016): *Materials Science and Engineering: A*, 673., pp. 467–475.
- [8] Tanguy, B.–Besson, J.–Piques, R.–Pineau, A. (2005): *Engineering Fracture Mechanics*, 72., pp. 49–72.
- [9] Vu, D.–Xing, R.–Xie, G.–Yang, Z.–Wang, X.–Chen, X. (2018): Effect of thermal aging on mechanical properties of a bainitic forging steel for reactor pressure vessel. *Materials and Science Engineering A*.

Petrovickijné Angerer Ildikó

A talajvíz nitrát-, nitrit- és ammónium-koncentráció változásainak elemzése a részlegesen rekultivált kommunális hulladéklerakón

egyetemi docens, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Részlegesen rekultivált hulladéklerakó, talajvíz, nitrát, nitrit, ammónia, átmeneti felső záró réteg.

Kisapostag külterületén elhelyezkedő, Dunaújváros önkormányzatának tulajdonában lévő nem veszélyes hulladéklerakót 2009-ben zárták be, és 2012-ben részlegesen rekultiválták. A rekultivált nem veszélyes hulladéklerakó fotója az 1. ábrán látható.

Minden évben mérik a hulladék szintjének süllyedését, a depóniagáz összetételét, a talajvíz szintjét és a talajvízben lévő szennyezőanyagok koncentrációját. A mért adatokat gyűjtik, elemzik, és évente összefoglaló jelentést készítenek a környezetvédelmi hatóság részére.

2012. évben fejeződött be a rekultiváció I. üteme, mely során átmeneti felső záró réteggel látták el a volt lerakót és befüvesítették a területet.

A rekultivált hulladéklerakó annak ellenére, hogy annak idején szigetelés és műszaki védelem nélkül létesült és működött, nem okozott környezetszennyezést.

A módosított rekultivációs engedély alapján 2025. június 30-ig a lerakót el kell látni felső végleges záró réteggel. [7] A hulladéklerakón a végleges felső záró réteg kialakításának határideje a FE/KTF/6507-8/2022. számú határozat szerint: 2025. június 30.

Azonban a vizsgálatok szerint a jelenlegi átmeneti felső záró réteg jól ellátja a funkcióját, így a költséges végleges felső záró réteg megépítését, mely rendkívül magas költségekkel jár, érdemes felülvizsgálni.

1. ábra. Rekultivált nem veszélyes hulladéklerakó látképe



Forrás: Saját készítésű fotó.

Másrészt a növényzetet teljesen indokolatlan lenne emiatt kiirtani. A jogszabály lehetőséget ad a záró réteg átminősítésére. Több tanulmány is ezt támasztja alá [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]. Továbbá érdemes lehet figyelembe venni,

hogy a záró réteg kialakításánál jól lehetne majd hasznosítani a Dunaújvárosban keletkező biológiailag lebomló hulladékból készült komposztot [1], [4], [5], [6].

IRODALOM

- [1] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László: (2022): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.*” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata. Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. ISSN 1786-7592 p. 83.
- [2] Petrovickijné Angerer Ildikó–Tóth Tamás–Szántó Krisztina–Tóth László (2021): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.*” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata. Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- [3] Petrovickijné Angerer Ildikó–Tóth Tamás–Szántó Krisztina–Tóth László (2020): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.*” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata. Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- [4] Petrovickijné Angerer Ildikó, Tóth Tamás, Szántó Krisztina, Tóth László: (2019): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.*” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata. Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- [5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László (2022): „*Környezetvédelmi Nyilatkozat a 2021. évről - Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal.*” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata. Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. ISSN 2062-0896 p. 75.
- [6] Barta Judit–Éri Vilma–Petrovickijné Angerer Ildikó–Tóth László–Szántó Krisztina –Tóth Tamás (2019): *Dunaújváros Megyei Jogú Város Települési Környezetvédelmi Programja 2009–2024.* Dunaújváros: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. p. 122.
- [7] 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről
- [8] 6/2009. (IV.14.) KvVM–EüM–FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről.

- [9] Gulnihal Ozbay et al. (2021): *Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health J Environ Public Health*. Published online 2021 Sep 6. doi: 10.1155/2021/6921607
- [10] United States Environmental Protection Agency (USEPA): *Municipal solid waste 2016*. <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/>
- [11] United States Environmental Protection Agency (USEPA): *Basic Information about landfill gas*. 2018.
- [12] 9. United States Environmental Protection Agency Community-Focused Exposure and Risk Screening Tool (USEPA C-FERST). *View your community*. 2017. <https://www.epa.gov/c-ferst>.
- [13] Joseph K.-Nagengran R.-Thanasekaran K. (2013): *Dumpsite Rehabilitation Manual*. Chennai: Center for Environmental Studies.
- [14] Rushbrook P.: *Guidance on Minimum Approaches for Improvements to Existing Municipal Waste Dumpsites*, Institutional Repository for Information Sharing EUR/01/5021815. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- [15] Hughes, K.-Christy, A.-Heimlich, J. (2017): *Landfill Types and Liner Systems; Ohio State University Extension Fact Sheet CDFS-138-05*. Columbus: The Ohio State University. p. 4. Available online: <http://ce561.ce.metu.edu.tr/files/2013/11/liner-1.pdf> (accessed on 3 July 2017).
- [16] U.S. Department of Energy. *Alternative Landfill Cover. Subsurface Contaminants Focus Area and Characterization, Monitoring, and Sensor Technology Crosscutting Program*. Office of Environmental Management Office of Science and Technology. 2000; p.27. Available online: <https://www.flagstaff.az.gov/DocumentCenter/View/11018/USDOE-2000?bidId=> (accessed on 2 July 2017).
- [17] Abu-Rizaiza, A. S.-Abdul Aziz, H. (2011): *The Proposed Design and Tendering for the New Phase of Landfill at Southern Makkah Disposal Site: Phase 1; Design Report; Collaborative Consultation Project between Jeddah: King Abdulaziz University. Penang: Universiti Sains Malaysia*. p. 80.
- [18] Abdulla Mustafa Muhamed Al-Rawabdeh (2018): *Landfill Final Cover Systems Design for Arid Areas Using the HELP Model: A Case Study in the Babylon Governorate, Iraq*.
- [19] Andreas, S. Diener-A. Lagerkvist (2013): *Steel slags in a landfill top cover – Experiences from a full-scale experiment*.

Kovács-Bokor Éva

Növényi szinergia hatásának vizsgálata a nehézfém akkumulációra

egyetemi adjunktus, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Iszap, szinergia, akkumuláció, nehézfém, transzlokáció.

BEVEZETÉS

Kutatásom során folyóvízi környezetben két növényfajta, a kerek repkény és angol perje szinergikus növekedésének hatását vizsgáltam meg a nehézfém-tartalom akkumulációs képességükre nézve. A kutatásban résztvevő mintavételi helyszínt Veszprémben választottam ki, a Séd vízgyűjtő területéhez tartozó Békatói-árok mentén (1. ábra). Ez a felszíni vízfolyás Veszprém északi részén, a Házgyári utca mentén, Jutaspusztá határában található. A patak a Séd-patak középső szakaszába torkollik. A Békatói-árok a város felszíni vízvezető rendszerének egy része, amelybe az északi ipari zóna szennyvize és a Dózsaváros csapadékvize folyik [1].

1. ábra. A Békatói árok elhelyezkedése Veszprémben [1]



FELHASZNÁLT MÓDSZER ELVE

A veszprémi Békatói-árok három mintavételi pontján (3. ábra, 1–2–3 pont) 3–3 db növénymintát gyűjtöttem be. A szinergia-vizsgálatra a területen megtalálható, természetes növényfajok közül az alábbi két fajt választottam ki teszt növényként: angol perje (*Lolium perenne* L.), kerek repkény (*Glechoma hederacea* L.) (2. ábra).

2. ábra. A Békatói-árok teszt növényfaj



A Békatói-árok part menti részéről iszap-, és növénymintát vettem. A növények esetén fontos volt, hogy olyan területről származzanak, ahol csak egyedül, illetve együtt is megtalálhatók voltak. Az iszapmintákat közvetlenül a növények gyökérzetétől gyűjtöttem, 0–10 cm mélységből. A mintákat egy minta és helyazonosítóval, dátummal ellátott polietilén tasakba helyezve, hűtve szállítottam a laboratóriumba. A növénymintákat a laboratóriumba szállítás után főbb növényi részeikre (gyökér, szár, levél, virág), osztottam, majd kiszárítottam. Az üledék- és növénymintákat kiszárítás után savas (salétromsavas-

hidrogén peroxidos) módszerrel tartam fel CEM Mars 6 típusú mikrohullámú roncsolóval. Az eljárás után kapott szűrletek fém tartalmát (Cr, Ni, Cu, Zn) ICP–OES készülék (Perkin Elmer Avio 200) segítségével elemeztem [3].

A növényi részek közötti elemmegoszlásokhoz, a nehézfém akkumulációs potenciál meghatározásához két factorszámítást végeztünk el, a bioakkumulációs és a transzlokációs faktor számítását [4, 5, 6, 7].

$$\text{BCF} = C_{\text{növényi rész}} / C_{\text{üledék, talaj}}$$
$$\text{TF} = C_{\text{hajtás}} / C_{\text{gyökér}}$$

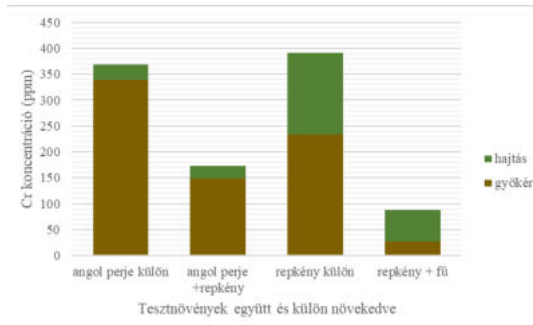
Ahol:

- $C_{\text{növényi rész}}$: a növényi részekben mért fémkoncentráció (mg/kg)
- $C_{\text{üledék/talaj}}$: az üledékben, talajban mért fémkoncentráció (mg/kg)
- $C_{\text{hajtás}}$: a felszín feletti növényi részek összes fémtartalma (mg/kg)
- $C_{\text{gyökér}}$: a gyökérben mért fémtartalom (mg/kg)

EREDMÉNYEK

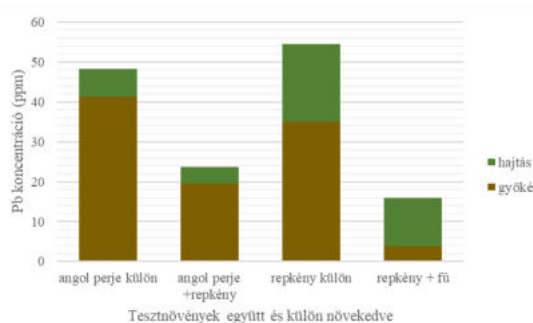
A növéyminták összes krómtartalmát vizsgálva megállapítottuk, hogy az angol perje együtt növekedve a repkénnyel 54%-kal kevesebb krómot tudott akkumulálni. Mind külön, mind együtt fejlődve a gyökérzetben rakódott le nagyobb mennyiségben (86–92 %) a króm. A repkény esetében is külön növekedve volt képes a növény több krómot felhalmozni. Ez a növény már nagyobb arányban (40–70%) volt képes ezt az elemet a levelében elraktározni (3. ábra).

3. ábra. Az angol perje és kerek repkény króm
akkumulációjának megoszlása



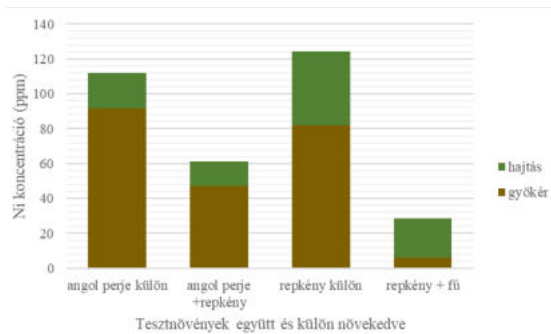
A két teszt növény ólomakkumulációját vizsgálva láthatjuk, hogy hasonlóan a krómhoz, ezt az elemet is inkább akkor halmozták fel a növények nagyobb mértékben, amikor egyedül fejlődtek a területen. Az angol perjénél 52%-kal, a kerek repkénynél 70%-kal kevesebb ólmot tudott felvenni a két növény együtt fejlődve. Az ólom is inkább a gyökérzetben maradt, kivéve a repkény szinergiájánál, amikor ez az elem 75%-ban a levelekből volt kimutatható (4. ábra).

4. ábra. Az angol perje és kerek repkény ólom
akkumulációjának megoszlása



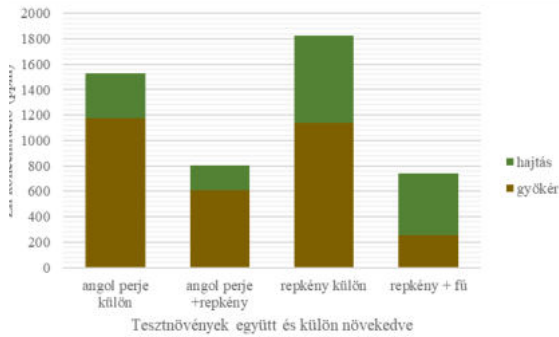
A következő vizsgált elem a nikkelt volt. Hasonló helyzet állt fent ennél az elemnél is, azaz a perje és a repkény szinergiában kevesebb nikkelt tudott akkumulálni, mint külön fejlődve. A növényi részek közötti eloszlások alapján megállapítható, hogy az angol perje 5%-kal, míg a kerek repkény 59%-kal jobban tudta szinergiában a levelek felé transzlokálni a nikkelt (5. ábra).

5. ábra. Az angol perje és kerek repkény nikkelt akkumulációjának megoszlása



Végül a növényi részek cinktartalmát határoztuk meg. A cink, mint esszenciális elem könnyen felvehető a növények számára, bár túlzott mennyiségben ez is toxikus hatást tud okozni. A gyökérszövet és a hajtások cinktartalma alapján látható, hogy inkább a gyökérszövetben maradt ez az elem, csak a repkény tudta szinergiában a levelekben is nagyobb arányban (66%) felhalmozni (6. ábra).

6. ábra. Az angol perje és kerek repkény cink-akkumulációjának megoszlása



A bioakkumulációs és transzlokációs faktorokat kiszámítva az 1. táblázatban összegezzük az eredményeket. A legtöbb elem esetén a növények nagy hatékonysággal tudták bioakkumulálni az üledékben található nehézfémeket. Transzlokációban csak a szinergiában növekedett repkény volt eredményes.

1. táblázat. BAF és TF értékek

| | BAF | | | | TF | | | |
|----|-------------------|-----------------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| | angol perje külön | angol perje + repkény | repkény külön | repkény + fű | angol perje külön | angol perje + repkény | repkény külön | repkény + fű |
| Cr | 46,9 | 36,5 | 246,7 | 95,7 | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 2,3 |
| Pb | 0,3 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 3,1 |
| Ni | 2,1 | 1,4 | 4,3 | 2,3 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 3,9 |
| Zn | 2,8 | 1,5 | 5,4 | 3,8 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 1,9 |

ÖSSZEGZÉS

A két tesztnövény részeinek nehézfém tartalmát elemezve megállapítottuk, hogy a vizsgált elemek (Cr, Pb, Ni, Zn) inkább a gyökérzetben halmozódtak fel. Külön növekedve a növények több elemet voltak képesek felvenni. A repkény nagyobb arányban tudta a levelében raktározni ezeket az elemeket, ezt támasztják alá a transzlokációs faktorértékek is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Környezetvédelmi program Veszprém, 2014
- [2] Link: <https://www.vizugy.hu/?mapModule=OpVizallas&SzervezetKod=4&mapData=VizmerceLista#mapModule>
- [3] Kovács-Bokor Éva (2022): *Iszapok nehézfém tartalom mobilizációjának monitorozása, a nehézfém tartalom csökkenése kémiai és biológiai módszerekkel*. Disszertáció. Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola. p. 139.
- [4] Baker, A. J. M.–Brooks, R. R. (1989): Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1., (2.), pp. 81–126.
- [5] Lago-Vila, M.–Arenas-Lago, D.–Rodríguez-Seijo, A.–Andrade Couce, M. L.–Vega, F. A. (2015): Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry. *Solid Earth*, 6., (1.), pp. 323–335.
- [6] Khan, S.–Cao, Q.–Zheng, Y. M.–Huang, Y. Z.–Zhu, Y. G. (2008): Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152., (3.), pp. 686–692.
- [7] Mehr, M. R.–Keshavarzi, B.–Moore, F.–Hooda, P. S.–Busquets, R.–Ghorbani, Z. (2020): Arsenic in the rock–soil–plant system and related health risk in a magmatic–metamorphic belt, West of Iran. *Environmental Geochemistry Health*, 42., (11.), pp. 3659–3673; <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00599-y>

Kiss Endre, Joanna Kubczak, Agnieszka Smukala, Marta Weiss, Szabóné Juhász Ildikó

Energiatermelő termoelemek vizsgálata, hallgatói mérési gyakorlaton való alkalmazására

Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet,

Poznan Műszaki Egyetem, Műszaki Intézet

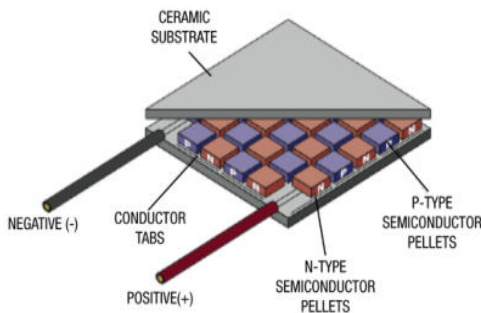
ÖSSZEFOGLALÓ

Az energiatermelő termoelemek újabban nagyobb teljesítményű változatban is megjelentek, vizsgálják annak a lehetőségét, hogy belsőégésű motorokban hogyan lehet a kipufogógázok által elvitt hőt felhasználni. Nagyobb autógyárak vizsgálódnak ezen a téren, ugyanakkor az elektromos meghajtású járművek kissé háttérbe szorították a lehetőségeket. Egy ilyen irányú vizsgálódás néhány vonását közöljük az alábbiakban.

A vizsgált termoelem antimon-bizmut párokból áll, a területe 70x70 mm, a pakett vastagsága 11mm, és a névleges adatai 260°C hőmérsékletkülönbség esetében 15V feszültség és 15W teljesítmény.

Az egység hozzávetőleges szerkezete az 1. ábrán látható.

1. ábra. A vizsgált gyári kivitelű termoelem szerkezete



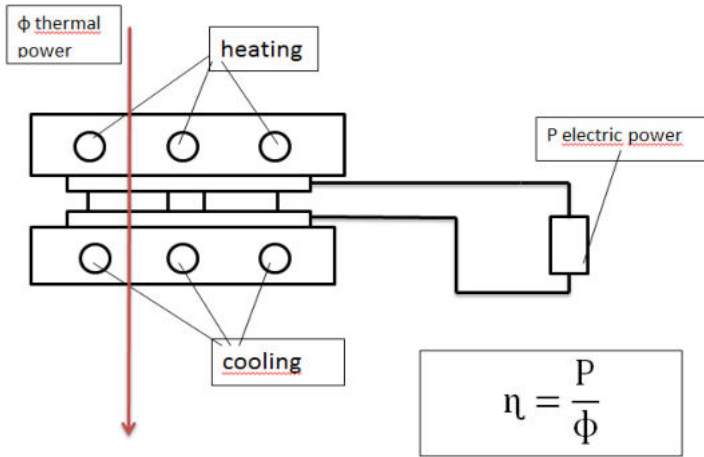
A vizsgált gyári termoelem fényképét a 2. ábrán mutatjuk be. A két alumínium fedél között látszik a négy darab, 64 termoelemből álló modul.

2. ábra. A gyári termoelem fényképe



A termoelemet két 15 mm vastag alumínium lap közé fogtuk be, felülről fűtöttük forraszópáka betétekkel (3x20W), alulról fagyponthoz közeli vízzel hűtöttük, amit keringtettünk és a belépő és a kilépő hőmérséklet mérésével a folyadékáram ismeretében a felülről lejutott energiát, illetve teljesítményt meghatároztuk, a folyamat termikus paramétereinek ismeretében a hatásfok kiszámítható volt. A mérési elrendezést a 3. ábrán mutatjuk be. A főtőlapok fényképét a 4. ábrán láthatjuk.

3. ábra. A mérési elrendezés



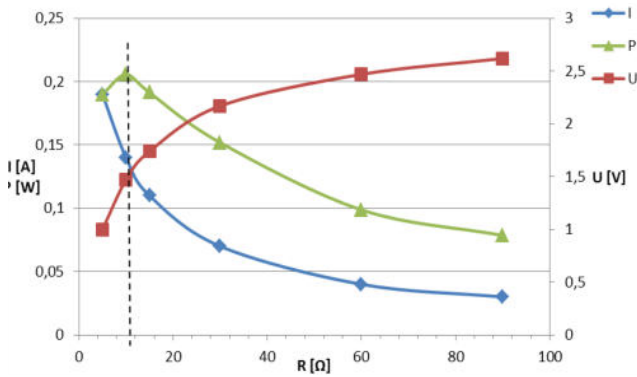
4. ábra. A fűtőlapok fényképe



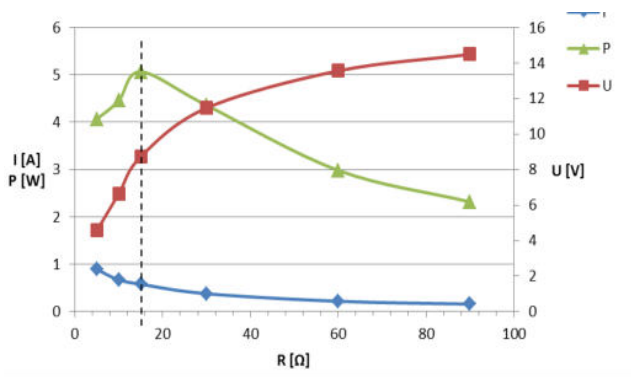
EREDMÉNYEK

A termoelem által termelt feszültséget 50°C hőmérséklet különbség esetében az 5., 260°C–6. ábrán mutatjuk be.

5. ábra. A mérési eredmények 50°C hőmérsékletkülönbség esetében



6. ábra. A mérési eredmények 260°C hőmérsékletkülönbségnél



Az eredmények azt mutatják, hogy a termoelem belső ellenállása a hőmérsékletkülönbség növekedésével növekszik.

IRODALOM

1. Budó Á.–Szalay L. (1974): *Fizikai laboratóriumi gyakorlatok*. Budapest: Tankönyvkiadó.
2. K. Scheel (1926): *Handbuch der Physik*, Bd. II-ben: A. Berroth: *Schwehremessungen*. Berlin: Verlag von Julius Springer.
3. Joshua Daw–Joy Rempe–Darrell Knudson (2009): *High Temperature Irradiation-Resistant Thermocouple Performance Improvements*.

Kiss Endre, Szabóné Juhász Ildikó

Porszerű részecskék kiszűrése peroxidáz enzim vizes oldata esetében villamos porleválasztó segítségével

Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

A peroxidáz enzim előállításánál napjainkban elsősorban tormagyökérből indulnak ki, amit megtisztítás után darabolnak, majd nagyon erősen megdarálnak, és a következő lépésben kipréselnek. A préselés után keletkezett folyadékban sok, részecskeszerű tormadarab van, ami ki kell szűrni. A szűrés többnyire ultracentrifuga segítségével zajlik le, amely folyamat költséges és lassú. Ha sikerülne villamos porleválasztószerű technológiát kidolgozni, az eljárás könnyebben beleilleszthető lenne a folyamatba még akkor is, ha valamilyen fokú centrifugálás még szükség lenne.

A villamos porleválasztás berendezése egyszerű, de fennáll a veszélye, hogy az ehhez szükséges villamos feszültség túl nagy, és az enzim sérülhet, még akkor is, ha a szeparáció sikerül. A nehézségeket fokozza, hogy a víz dielektromos állandója jóval

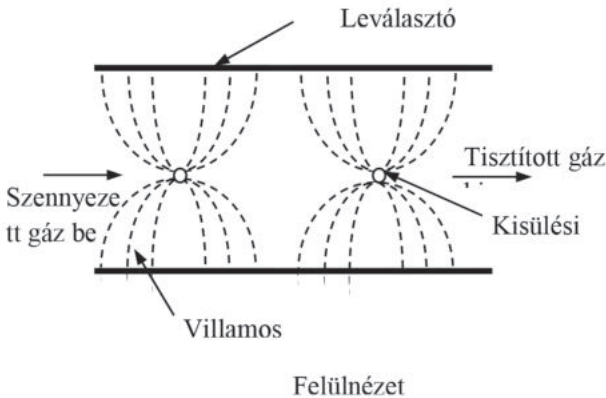
nagyobb, mint a porszerű részecskék anyagáé. A kísérletek azt mutatják, hogy a nehézségek legyőzhetőek.

Az elektrosztatikus porleválasztók alapelve az alábbi ábra alapján érthető meg [1]:

Érkezzen töltött porrészecske két, ellenkező feszültségre kötött lemez közé. A részecske a töltésével ellentétes feszültségű lemez felé mozog, s ha elegendő ideje van, akkor azt el is éri.

A valóságban a részecskék töltése nem elegendő ehhez, mesterségesen kell őket feltölteni az egyébként azonos feszültségre kötött, majd leföldelt lemezek közé húzalelektrodákat téve, melyek ionizátorként és egyben taszító elektródaként működnek (1. ábra).

1. ábra. Lemezes porleválasztó elvi rajza



Negatív töltésű elektróda: elég nagy térerősséget alkalmazva (azaz nagy negatív feszültséget kötve a kisülési elektródára) elektronok lépnek ki a fémszálból és felgyorsulnak, aminek következtében elektronsokszorozódás indul el. A hengerpalást (leválasztó elektróda) közelében negatív tértöltés alakul ki.

A negatív tértöltés megakadályozza az áramnövekedést, így csökkenti az átütés valószínűségét, egyben lehetővé teszi, hogy az ebbe a tartományba belépő porszemcsék negatív töltéshez jussanak, s ezzel a földelt elektróda felé mozogva azon leváljanak.

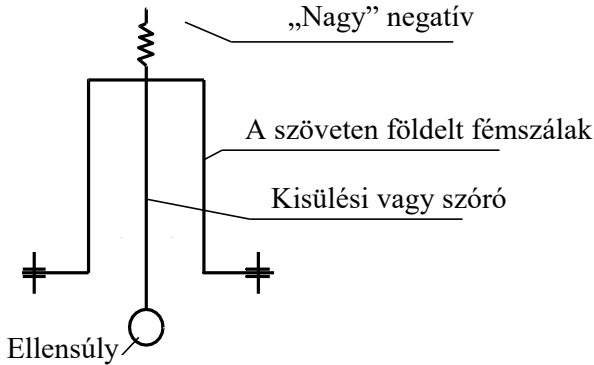
A porleválasztó kisülési elektródájának feszültségét növelve a körülötte levő villamos térerősség is növekszik, ha a fémszál vékony, vagy éles csúcsok, illetve sarkok vannak rajta. Akkor a villamos mező a szál, vagy a kis sugarú felületek között igen erős, még vízben is. A feszültség növelésekor a szimmetrikus töltéseloszlású molekulák, vagy atomok külső elektron burka deformálódik, a negatív töltések súlypontja a földelt elektróda felé mozog, míg a pozitív töltéseké a szóró elektróda irányában.

Pozitív töltésű elektróda: térerősség hatására feltöltődnek az atomok és a molekulák, de ez csak az elektród kis környezetében történik meg, aminek következtében elektronsokszorozódás nem fog fellépni, így tértöltés nem alakul ki nagyobb feszültségnél.

VILLAMOS TÉRREL SEGÍTETT ZSÁKOS SZŰRŐ

Amennyiben egy belülről kifelé haladó áramlású zsákos szűrőre a 2. ábra szerinti összeállításban ionizáló elektródot szerelünk, és a szövetbe periodikusan fémszálat szövünk, úgy egy elektrosztatikus porleválasztóval kombinált zsákos szűrőhöz jutunk az alábbi ábra szerint.

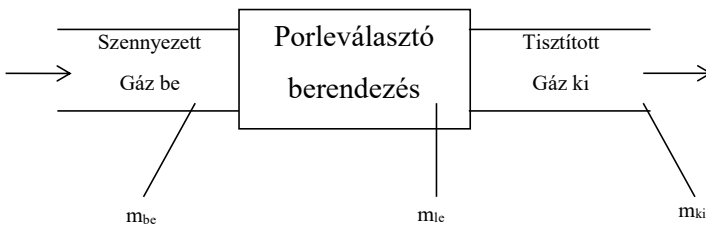
2. ábra. Villamos porleválasztóval kiegészített zsákos szűrő



PORLEVÁLASZTÓK HATÁSFOKA

A porleválasztók hatásfoka azok leírását könnyíti meg, megadja a tervezési, illetve alkalmazási paramétereket, melyeket figyelembe lehet és kell venni, segítségével jellemezhető a porleválasztók jósága. A porleválasztók hatásfokát az alábbi ábra alapján értelmezhetjük.

3. ábra. Porleválasztók hatásfokának értelmezéséhez



m_{be} : szennyezett gázáramban időegység alatt beérkező por tömege;

m_{le} : az időegység alatt leválasztott por tömege;

m_{ki} : tisztított gázban időegység alatt eltávozó por tömege.

Érvényes az alábbi egyenlet:

$$m_{be} = m_{le} + m_{ki}.$$

ÖSSZLEVÁLASZTÁSI HATÁSFOK:

$$\eta = \frac{m_{le}}{m_{be}} \cdot (100\%)$$

Egy villamos porleválasztóhoz hasonló szerkezetet elkészítettünk, és 18V feszültség körül működik. A leírásban a gázok esetében használatos kifejezések közül a villamos kisülést ionizációval kell helyettesítenünk. Sajnos a gázoknál használt átütéshez hasonló jelenség itt is lejátszódik, ezért az áramok kialakulását szigetelő bevonattal kell megakadályozni [2, 3, 4].

IRODALOM

- [1] Kiss Endre: *Környezetvédelem és energiagazdálkodás*. Elektronikus jegyzet. DUE Moodle.
- [2] Calle, C. I.–Buhler, C. R.–McFall, J. L.: Snyder: Particle removal by Electrostatic and Dielectrophoretic Forces for Dust Control: tl-filtrec.com
- [3] Dorp, S. van (2009): Origin of electrophoretic force on DNA in solid state nanopores: *Nature Physics*, 5., pp. 347–351.
- [4] Lavrov, Sintef Blog oct. 1. 2019

Kiss Endre, Almusztafa Ihab, Szabóné Juhász Ildikó **Karbongazdag pellet előállítás a biomasszából**

Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

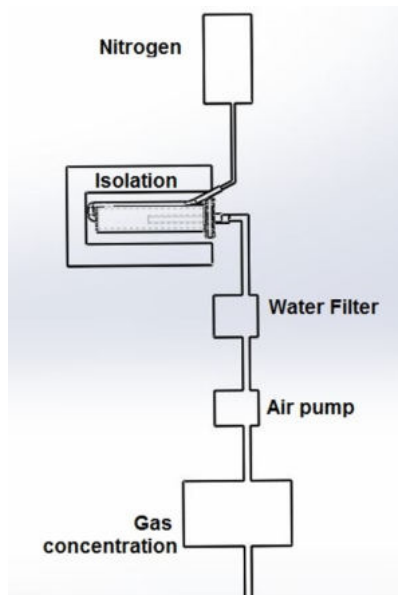
Napjainkban a biomasszával való fűtés meglehetősen népszerű, sok helyen ez az egyetlen alternatíva. Fejlettebb, kényelmesebb és hatékonyabb megoldás a biomassza pelletizálása, mivel a pelletes tüzelőanyag adagolása sokkal jobb szabályzást tesz lehetővé, kevesebb hamut és környezetszennyezést eredményezve. A környezetszennyezésből a kéndioxid és a szén-dioxid, valamint a nitrogén-oxidok sajnos bejutnak a füstgázba, mivel az első két összetevő abból származik, hogy mind a kén, mind a klór esszenciális elem, mindenképpen megtalálható a növényekben (és alapvetően biomasszaként hazánkban növényeket égetünk), a nitrogén-oxidok az égetés táplálásában levegőt szokás használni. A nitrogén oxidációjával ezek mindenképpen keletkeznek. Amennyiben a tüzeléshez karbonizált biomasszát égetünk, ami tulajdonképpen faszén vagy aktív szén, akkor a tüzeléskor csak széndioxid (esetleg kevés szénmonoxid, ami kiküszöbölhető) és kevés nitrogén-oxid keletkezik. A súlyegységre vetített energiatartalom is nagyobb, mint a biomassza esetében. Természetesen felmerül a környezeti emisszió kérdése, hogy az hol keletkezik. Erre a válasz, hogy a karbonizálás helyén, amit érdemes központosítva végezni, és a felhasználónak csak a karbongazdag pelletet eladni. A jelen vizsgálat-sorozatban különböző biomasszákat égettünk el, úgymint energiafűzet, energia nádat, és bambuszt. A biomasszát 100 g, 200 g mennyiségben az alábbi, 100 mm átmérőjű, 400 mm hosszú retortában (1. ábra) hevítettük kevés nitrogén-gáz bevezetésével az oldalán látható 4 mm belső átmérőjű csövön. A retortát egy vízszintes kemencében helyeztük el, amelynek a hőmérsékletét 1100 °C-ig tudtuk hevíteni.

1. ábra. Az alkalmazott retorta



A kísérleteket a 2. ábrán bemutatott folyamatábra. szerint végeztük el.

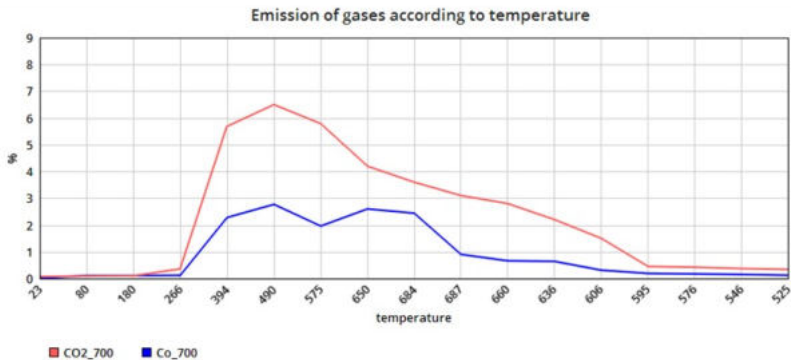
2. ábra. A kísérletek folyamatábrája



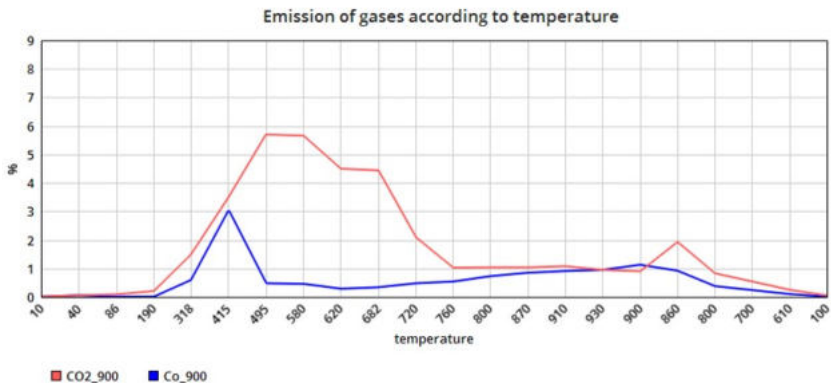
EREDMÉNYEK

A hevítés során felszabaduló gázok koncentrációját mértük folyamatosan a rendelkezésre álló SERVOMEX berendezéssel. Alább a széndioxid- és nitrogénoxid-koncentráció mérési eredményeit adjuk meg, az alacsonyabb hőmérsékletű tartományban a 3. ábrán, a teljes koncentráció-intervallumban a 4. ábrán.

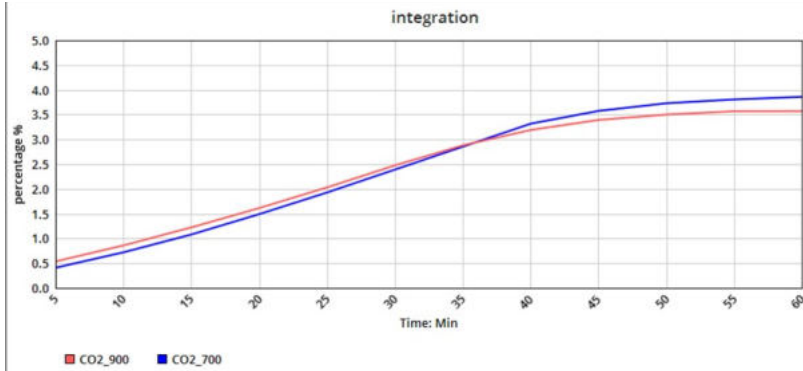
3. ábra. A széndioxid és nitrogén oxid-gázok emissziója alacsonyabb hőmérsékleten



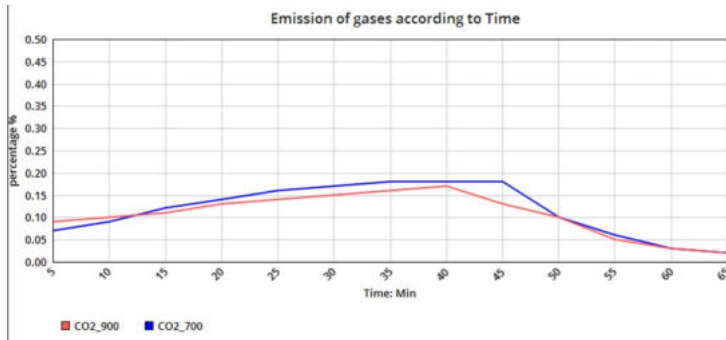
4. ábra. A két gáz emissziója a teljes hőmérsékleti tartományban



5. ábra. A két gáz emissziója az idő függvényében magasabb emissziós koncentrációban



6. ábra. A két gáz emissziója az alacsonyabb koncentrációjú esetben



Az emisszó integrált értéke alacsonyabb és magasabb koncentráció esetén a 5. és 6. ábrán látható.

IRODALOM

1. Robins, J. G.–Luth, D.–Campbell, T. A.–Bauchan, G. R.–He, C.–Viands, D. R.–Hansen, J. L.–Brummer, E. C. (2007): *Genetic mapping of biomass production in tetraploid alfalfa*.
2. Büki Gergely (2007): *Kapcsolt energiatermelés*. Budapest: Műegyetemi Kiadó.
3. Gőgös Zoltán Bioenergetikai kormánybiztos: *Biomassza potenciál és hasznosítása Magyarországon*.

Kiss Endre, Szabóné Juhász Ildikó
Mágneses szuszceptibilitás, és annak alkalmazása a paramágneses szeparálásban
Dunaújvárosi Egyetem Műszaki Intézet

Ha homogén mágneses térbe valamilyen anyagot helyezünk, akkor abban valamilyen mágneses tulajdonságok lépnek fel. Ferromágneses anyagokban a mágneses térrel azonos irányban mágneses dipólusok formálódnak, és jelentősen módosítják az eredő mágneses teret.

Ha a sorban elhelyezkedő dipólusok póluserőssége „p”, „l” a távolság a „sorba” kapcsolt pólusok két végpontja között, akkor a $V = Al$ térfogatú hasáb kialakuló mágneses momentuma

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{V}$$

a mágneses polarizáció (mágnesezettség) amelyet az anyag belsőjében levő \mathbf{H} mágneses térerősséggel az alábbi egyenlet kapcsol össze

$$\vec{M} = \chi \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}.$$

Itt χ a mágneses szuszceptibilitás, μ_0 a vákuum mágneses permeabilitása.

A teljes mágneses permeabilitás a és a mágneses szuszceptibilitás kapcsolata:

$$\mu=1+\chi .$$

A permeabilitás és a szuszceptibilitás látszólag alig különbözik egymástól, azonban a diamágneses anyagok és a paramágneses anyagok mágneses szuszceptibilitása előjelben különbözik, a diamágneses anyagoké negatív, a paramágneses anyagoké pozitív érték. Amint az alábbi táblázatból látszik, a víz értéke negatív, azaz diamágnesesanyag, azazhemenélkülaperoxidázenzimvalószínűleg diamágneses tulajdonságokat mutatna a kísérő víz miatt.

1. táblázat. Néhány anyag (diamágneses) szuszceptibilitása

| Sorszám | Anyag neve | Jele | $\chi(x 10^{-5})$ |
|---------|---------------|------------------|-------------------|
| 1. | Bizmut | Bi | -16,6 |
| 2. | Kobalt | Co | -2,1 |
| 3. | Réz | Cu | -1,0 |
| 4. | Ólom | Pb | -1,8 |
| 5. | Ezüst | Ag | -2,6 |
| 6. | Higany | Hg | -2,9 |
| 7. | Víz | H ₂ O | -0,91 |
| 8. | Oxyhemoglobin | | -0,92 |
| 9. | Zsír | | -0,83 |

2. táblázat. Néhány anyag paramágneses szuszceptibilitása

| Sorszám | Anyag neve | Jele | $\chi(x 10^{-5})$ |
|---------|------------|--------------------------------|-------------------|
| 1. | Hematit | Fe ₂ O ₃ | +130 |
| 2. | Urán | U | +40 |
| 3. | Platina | Pt | +26 |

| | | | |
|-----|--------------------------|----------------|--------|
| 4. | Wolfrám | W | +6,8 |
| 5. | Cérium | Ce | +51 |
| 6. | Alumínium | Al | +2,2 |
| 7. | Lítium | Li | +1,4 |
| 8. | Magnézium | Mg | +1,2 |
| 9. | Nátrium | Na | +0,72 |
| 10. | Oxigén | O ₂ | +1,9 |
| 11. | Methemoglobin | | +0,012 |
| 12. | Gadolínium szervekben | Ga | +1,3 |

A hematit adott értéke az alfa változatra vonatkozik, a gamma változatként három nagyságrenddel nagyobb értéket ad egyes kristályszerkezeteknél. A peroxidáz enzimmel kapcsolatban nincsenek olyan kristálytani adataink, amelyek a vasatom kristálytani környezetére vonatkoznának, a mágneses szuszceptibilitás, egyáltalán a mágnesség, nem elsősorban vegyület, illetve összetétel függő, hanem kristálytani tulajdonság, így csak saját méréseinkre hagyatkozhatunk. Egy néhány tized százalékosnak tekinthető oldatban az érték a víz diamágneses negatív értékét kompenzálja ki, annál kicsit pozitívabb, a mintegy 10%-os oldat (régí peroxidáz enzimből kivált Fe₂O₃) esetében 10x10⁻⁵-ös értéket mértünk.

A MÁGNESES SZUSZCEPTIBILITÁS MÉRÉSE

A vízzel kevert peroxidáz enzim, amellyel a jelenleg rendelkezünk, előzetes mérési eredményeink alapján rendelkezik paramágneses tulajdonságokkal, ahogy fentebb már említettük egy híg „oldatos” variációban kompenzálja a víz diamágneses szuszceptibilitását. A jelenség leírást az alábbiakban adjuk meg.

A vizgálatsorozat célja, hogy ezen paramágneses tulajdonságok segítségével koncentrálni tudjuk a peroxidáz enzimet a víz hordozóban anélkül, hogy ultracentrifugálni, vagy más eljárással kezelni legyen szükséges.

Bizonyos paramágneses tulajdonságokkal rendelkező anyagokat már sikeresen szétválasztottunk paramágneses szeparátor segítségével erősen inhomogén mágneses tér segítségével.

Ennek a szerkezetnek a megtervezéséhez szükséges a különböző peroxidáz enzim tartalmú közbenső termékek paramágneses tulajdonságainak ismerete, amelyre a legcélszerűbb a paramágneses szuszceptibilitások meghatározása.

Ennek a mérésnek a lebonyolításhoz szükséges egy változtatható egyenáramú elektromágnes lehetőleg koncentrált mágneses mezővel. A vizsgálandó anyagot az elektromágnes pólusai közé helyezük, és a bekapcsolt mágneses tér hatására fellépő erőt mérjük alkalmas szerkezettel.

Az erő mérésére egy mérleget célszerű használni, amelyet mi egy kiszolgált felhajtóerőmérő készülékkel oldottunk meg.

A mérendő folyadékot egy 3mm belső, és 5mm külső átmérőjű, alul lezárt üvegcsőbe helyeztük, és a csövet a mérlegre akasztottuk. A csőbe először desztillált vizet helyeztünk, és a mérleget kiegyensúlyoztuk mágneses tér nélkül. Ezután a mágneses teret bekapcsoltuk, és az elmozdulást megjegyeztük. Ezzel megkaptuk a referencia értéket.

Ezután a csőbe azonos mennyiségű peroxidáz enzimtartalmú folyadékot helyeztünk, és a mérleg elmozdulását feljegyeztük.

Tudjuk mérni a mágneses indukciót is fluxusmérő segítségével.

A peroxidáz enzim tartalmú folyadékot a nyers torma peroxidáz enzim tartalmú részének eltávolításával, mintegy 1–3 mm nagyságú részekre való feldarabolásával, azok nagyteljesítményű mixerrel való pépesítésével (az átlagos részecskeméret 0,2 és 0,3 mm) állítottuk elő. A darálást megfelelő, meghatározott

mennyiségű 10°C hőmérsékletű desztillált víz hozzáadásával végeztük úgy, hogy a pép hőmérséklete mindig 10°C alatt maradt. Ez utóbbi kritérium jelentősen megnövelte a darálási időt.

A pépet gyümölcsprésbe helyeztük és a kifolyt folyadékot 10 000 ford/min fordulatszám mellett centrifugáltuk 10 percig 2 ml-es adagokban. A küvettában megmaradt folyadékot vizsgáltuk a mágneses szuszceptibilitás meghatározásához.

A SZUSZCEPTIBILITÁS MEGHATÁROZÁSA

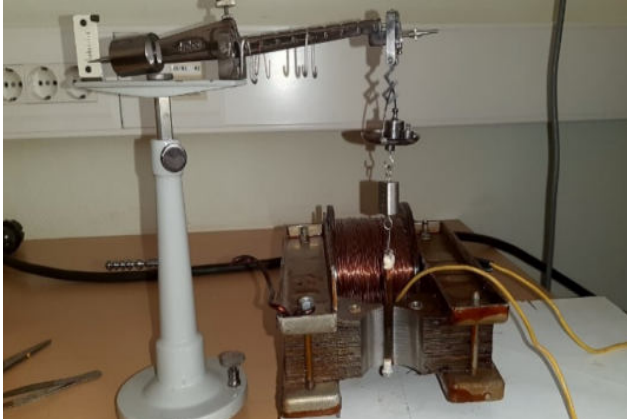
A mágneses szuszceptibilitás meghatározásához szükség van egy szabályozható elektromágnesre, amelynek gerjesztését egy 2000 menetes, 0,5 mm átmérőjű rézhuzalból tekercseltük.

1. ábra. Az elektromágnes nagy indukciójú részének kialakítása



A mágneses kör nem teljesen zárt, értelemszerűen szükség van egy légrésre, amibe a szuszceptibilitás mérésére behelyezhetjük a mérendő közeget, illetve az azt tartalmazó küvettát, vagy csövet. Ezt az elrendezést az 1. ábrán mutatjuk be. A légrés szélessége 6 mm, amibe egy 5 mm átmérőjű mintatartó küvetta befér.

2. ábra. A mérőrendszer és a küvetta elhelyezkedése



A mérőrendszer oldalnézetben jól mutatja a küvetta és a mágnes. Az is jól látszik, hogy a mágnes hat a küvetta felfüggesztésére.

Saválló anyagokat alkalmaztunk, azonban a mágneses vonzóerő nem küszöbölhető ki teljesen, tehát ez nem is cél, hanem a mérést elvégeztük üres küvettaival is, és később a küvetta hatását kiküszöböltük.

3. ábra. Az elkészített küvetta tipikus példánya

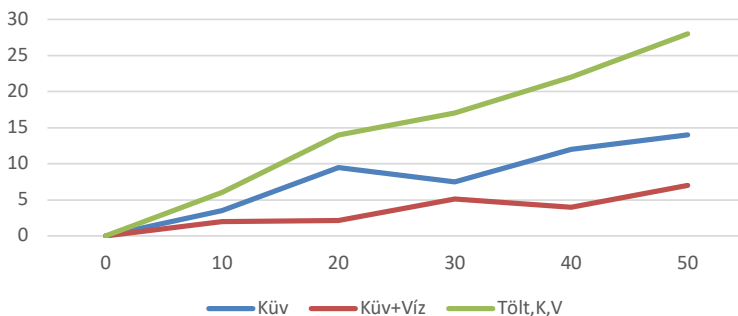


A megfelelő erők előállítása és azok mérésére alkalmazott Mohr–Wesphal-féle mérleggel történt azzal, hogy az erők értékét nem határoztuk meg, hanem csak azok összehasonlítására fektettünk hangsúlyt. A gerjesztő áramot egy BOMEKO típusú tápegységgel biztosítottuk, amivel 50V gerjesztő feszültséget tudtunk előállítani, amely feszültség által biztosított áramerősség még éppen elviselhető volt a tekercs számára.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérési eredményeket a 4. ábrán adtuk meg, amelyről jól látszik egy lineáris viselkedés. A grafikon függőleges tengelyén a mérleg gerjesztés nélkül kiegyenlített értékétől való elmozdulását tüntettük fel. A grafikon minden pontja többszörös ismétlések átlagértékét jelenti. A grafikonok meggyőzően mutatják a peroxidáz enzimmal töltött küvettákra ható nagyobb erőt, legalábbis a töltetlen és a vízzel töltött helyzethez képest. Ez a tény arra sarkalhatja a kísérletezőt, hogy érdemes a mágneses erőt szeparáláshoz felhasználni.

4. ábra. A különböző variációkkal töltött küvettákra ható relatív erők összehasonlítása



Az MSC a különböző módon töltött küvetákra ható erők változása a mágneses gerjesztő feszültség (a gerjesztő áram) különböző értékeinél. A függőleges tengelyen az erő látható relatív, de összehasonlítható értékekkel, a „Küv” jelű grafikon az üres küvetára ható erőt mutatja, a Küv+Víz a vízzel töltött küvetára ható erő grafikonja, és Tölt,K,V a töltettel (peroxidáz enzim, a küvetta, és az enzimmel együtt levő víztömegére jellemző.

Az összefüggés jól láthatóan egy lineáris mintát követ.

EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Az eredmények alapján elkészítettünk egy olyan szerkezetet, amelyben a peroxidáz enzim tartalmú folyadék egy téglalap keresztmetszetű csatornában áramlik, amely csatornának egy bemenő nyílása van, amelyen a szeparálandó folyadékot bevezetjük. A csatorna két kimenő vezetékkel bír, amelyek a csatorna két oldalán helyezkednek el.

A csatornát úgy helyezzük el, hogy annak egyik felében az elektromágnes teljes mágneses mezeje megjelenjen (ez a mágneses mező mintegy 5 mm széles. A csatorna másik fele teljesen kívül esik a mágneses mezőn. A csatorna két fele között a mágneses mező inhomogenitása jelentős, azaz a peroxidáz tartalmú folyadék főleg a mágneses tér felé, a víz pedig alapvetően a ritka mágneses mező irányában lép ki a csatornából.

IRODALOM

1. Dekkers, M. J.–Schoonen, M. A. A. (1996): *Magnetic properties of hydrothermally synthesized greigite (Fe_3S_4) – I. Rock magnetic parameters at room temperature.*
2. Elston, D. P.–Lantos, M.–Hámor, T. (1994): *High resolution polarity records and the stratigraphic and magnetostratigraphic correlation of Late Miocene and Pliocene.*

3. Feynman, R. P.–Leighton, R. B.–Sands, M. (1970): *Mai fizika 7. Kristályszerkezetek. Dia-, para-, és ferromágnesség. Folyadékok áramlása.*

Kovács Imre

Hidrogén mint anion?!

Egyetemi docens, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Kulcsszavak: Hidrogén tárolás, UPS, He I.

A hidrogén kémiájáról szinte mindenki hallott. Tudja, hogy a legkisebb atomsúlyú elem. A molekuláról is hallottak mindannyian, akár csak a pH-ról és a pozitív ionos formáról. De a negatív formáról már kevesebben tudnak. Ez a közlemény ennek hiányát igyekszik a „teljesség igénye nélküli” pótolni.

A hidrogén a periódusos rendszer első oszlopában található. Ez azonban úgy is érthető, hogy az utolsó előtti oszlopban. Ettől a provokatív kijelentéstől, még egyetlen elektron van a legkülső héjon. A fentiekből következik, hogy a halogén elemekhez is sorolhatnánk. De haladjunk sorjában.

Elemi állapotban ez az elem a Földön nem található. Ha valahol keletkezne azonnal is elillanna a világűr felé. Mivel az atomsúlya a legkisebb az elemek között, a kétatomos molekula is még a legkönnyebb gáz [1, 2]. Mivel a sűrűsége is kicsi normál körülmények között, egyik első és világszerte emlékezetes alkalmazása volt az 1937-ben Németország és az USA közötti menetrendszerű léghajójarat esete; az ún. „Hindenburg-katasztrófa” ként lett ismert.

1. ábra. A Hindenburg megérkezése New Yorkba, 1937

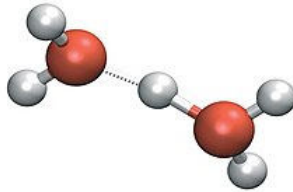


A PH FOGALOMMAL KAPCSOLATBAN

A hidrogén vegyületei közül minden kétségen kívül a legjelentősebb a víz, ami az élet egyik feltétele. Az auto-protonáció miatt vízben mindig jelen van a hidrogén ion azaz a pozitív hidrogén, amit egy elektronok nélküli csupasz protonként foghatnánk föl. A gyakorlatban, a vízben és minden OH csoportot tartalmazó vegyületben – hidrogén hidak alakulnak ki, így a H^+ helyett inkább a H_3O^+ iont képzelhetjük el [1].

Ennél 1–2 vízmolekulával nagyobb szerkezetet is feltételezhetünk. Az említett szerkezetek illusztrálása látszik a 2. ábrán. Az előbbi gondolatmenet kiterjeszhető, természetesen igaz minden vizes oldatra sőt olyan oldószerekre is melyekben a H-t tartalmazó molekula heterolitikusan bomlik, mint például ammónia vagy CH_3COOH .

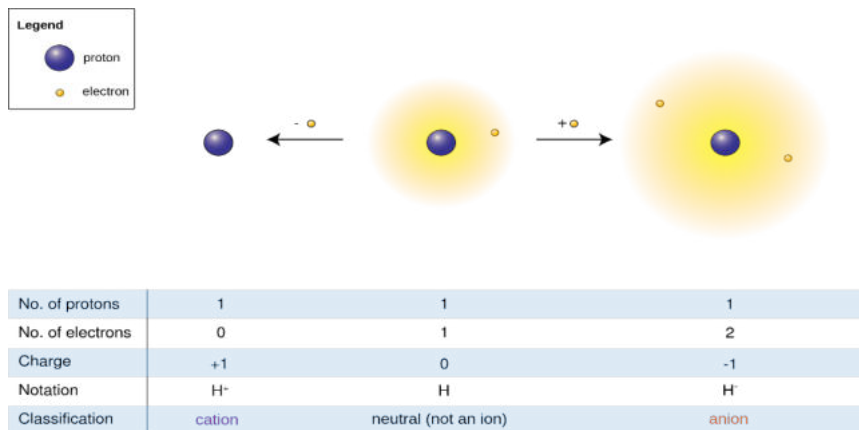
2. ábra. A $H_5O_2^+$ ion elképzelt szerkezete



H-ION

A szokatlannak érzett negatív ionos állapot azzal magyarázható, hogy a kialakulásához igen kicsi elektronegativitású reakciópartner kell. Az ilyen elemek – elsősorban alkáli és alkáliföld fémek – a környezetünkben elemi formában nem fordulnak elő. Ha ilyen elemeket tisztán állítunk elő hagyományos laboratóriumi körülmények között akkor is igen rövid idő alatt oxidálódik a felületük és esetleg még meg is gyulladnak. Ha kísérleteket vákuum-készülékben vagy védőgáz mellett végezzük, akkor közvetlenül is reagálhat a fém a hidrogénnel. Mivel hidrogén elektronegativitása a nagyobb a fém „s” elektronjait átveszi. [3] Az értelmezéshez kapcsolódik a 3. ábra.

3. ábra. A kétféle ion összehasonlítva a semleges atommal.

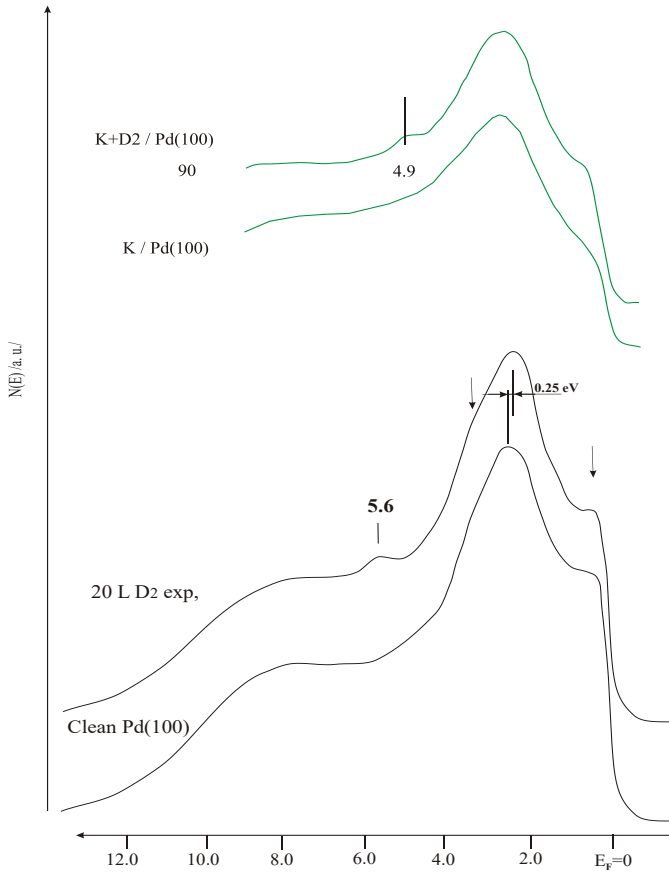


A H-ION KÍSÉRLETI KIMUTATÁSA

Ha az ilyen ionos kötésű vegyület vízzel vagy savak oldatával találkozik a



4. ábra. A tiszta és deutériummal (nehéz hidrogénnel borított palládium UPS spektruma



Spektroszkópiai azonosítása fotonelektron spektroszkópiával is lehetséges, ha mono-energius – pl. He I vákuum UV fotonokkal, [3] – világítunk meg egy olyan felületet amin alkáli fém párologtattunk vákuumban majd H₂-t vezetünk a felületre létrejön a fémhidrogén kötés. (Kísérleti munkánk során deutériumot

használtunk, ami ezzel a módszerrel vizsgálva ugyanazt mutatja, mint a könnyű hidrogén.) Az Einstein-féle egyenlet értelmében megfigyelhetjük, hogy a hidrogén atomok „s” elektronjai 5.6 eV kötéseenergiánál jelennek meg a tiszta Pd egykristályfelületen. Ha K is volt a felületen, akkor ez a spektroszkópiai jellegzetesség kisebb kötéseenergiák felé tolódik el, azaz negatívabb a hidrogén környezete, 4,9 eV. A 4. ábrán látszik a jelentős méretű eltolódás [4]. Felmerül a kérdés, hogy a pozitív töltésű változatot láthatjuk-e ezzel a módszerrel? A szomorú valóság, hogy ebben az esetben nincs vagy nem elegendő az ilyen ion közelében az elektronok száma. Természetesen más spektroszkópiai módszer is szóba jöhet az azonosításra pl. NMR.

IRODALOM

- [1] Szabó Zoltán–Nyilasi János (1978): *A szervesetlen kémia alapjai*. Budapest: Műszaki.
- [2] Hans Breuer (1995): *SH atlasz Kémia*. Budapest: Springer-Verlag.
- [3] G. Ertl–J. Küppers (1985): *Low energy electrons and surface chemistry*. Weinheim.
- [4] Kovács Imre (2023): Hydrogen Storage as K-H salt on Pd(100) surface CANDO-EPE 2023 IEEE 6th International Conference AND Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (Budapest, 2023. október 19-20.)

Lama Mkanna

Charpy Impact Testing and Hardness Evaluation of S355MC High-Strength Steel After Gleeble Modeling with Varied Cooling Times

assistant professor, University of Dunaújváros, Institute of Engineering, PhD student at Szechenyi Istvan University

Keywords: S355MC high-strength steel, Gleeble modeling, Charpy impact testing, Vickers hardness, cooling time, microstructure, mechanical properties.

High-strength steel alloys, like S355MC, are widely employed in structural and automotive applications, demanding a deep understanding of their behavior under different processing conditions. This study investigates the impact toughness and hardness of S355MC steel samples after Gleeble modeling, a thermomechanical simulation technique. The cooling time, a critical factor in microstructural development, is varied to explore its influence on mechanical properties. Charpy impact testing and Vickers hardness measurements were performed to assess the steel's response to different cooling conditions [1].

The research includes a series of S355MC steel specimens, each subjected to Gleeble modeling under distinct cooling times. Charpy impact tests, following ASTM standards, reveal the steel's ability to withstand sudden loading and its energy absorption capacity. The results show that with shorter cooling times, the impact energy absorption capacity of the steel decreases. Vickers hardness tests provide information on the material's resistance to localized plastic deformation and its suitability for specific applications. The findings reveal that the hardness of S355MC increases with reduced cooling times, indicating a relationship between microstructure and hardness [2].

This study highlights the significance of cooling time control in the heat treatment process for S355MC steel. The insights obtained from the impact and hardness testing are essential for optimizing processing conditions, ensuring the steel's reliability in applications where impact resistance and hardness are vital.

REFERENCES

- [1] Hutchinson, B.-Ghosh, A. K. (2006): Microstructure and Impact Properties of HSLA-100 Steel Subjected to Controlled Rolling and Cooling. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37., (7.), pp. 2127–2137.

- [2] Callister, W. D.–Rethwisch, D. G. (2014): *Materials Science and Engineering: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- [3] Gao, J.–Zhang, Y.–Liao, B. (2019): Effects of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of a New High-Strength Steel. *Metals*, 9., (1.), p. 42.
- [4] Lama Mkanna–Béla Palotás (2023): Physical based determination of preheating temperature of High Strength Steels, Welding Managers XXIV. National Consultation (Visegrád, October 5–6, 2023)
- [5] Smith, W. F.–Hashemi, J. (2006): *Foundations of Materials Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [6] S355MC Steel Data Sheet. (Manufacturer's Data).
- [7] ASTM E23-18, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- [8] Porter, D. A.–Easterling, K. E.–Sherif, M. Y. (2009): *Phase Transformations in Metals and Alloys*. CRC Press.
- [9] S355MC High-Strength Steel Application Guidelines. (Manufacturer's Technical Documentation).
- [10] Liu, D.–Liu, J.–Wang, Z.–Lu, L. (2012): Effects of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of a Low Carbon High-Strength Interstitial Free Steel. *Materials Science and Engineering: A*, 556., pp. 96–101.
- [11] Charpy, G. (1896): Essais durs de résilience et recherches sur la loi de l'impact. *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 7., pp. 1051–1059.

Kővári Attila

Zöld adatközpontok és felhőszolgáltatások: a jövő energiahatékony informatikai infrastruktúrája

*egyetemi tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi Tanszék,
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Digitális Technológia Intéze*

Kulcsszavak: Zöld Adatközpontok, Felhőszolgáltatások, Energetikai hatékonyság, Megújuló energia, Hűtési rendszerek.

Ahogy az informatika egyre inkább behálózza mindennapjainkat, az adatközpontok jelentőségét aligha lehet túlbecsülni. Ezek az intézmények a globális adatforgalom és számítási kapacitás

alappillérei, de az energiafelhasználásuk és a hozzájuk kapcsolódó környezeti hatások is egyre nagyobb figyelmet kapnak [1].

A cikk célja, hogy bemutassa a zöld adatközpontok és a felhőszolgáltatások jelenlegi helyzetét, és felvázolja azokat az innovatív megoldásokat, amelyek a fenntarthatóbb és energiahatékonyabb informatikai infrastruktúra létrehozásához járulnak hozzá.

Az adatközpontok a folyamatosan növekvő számítási igények miatt egyre nagyobb energiafelhasználást generálnak. Az adatfeldolgozás, adattárolás és adatátvitel jelentős elektromos áramigényt támaszt, és a hűtés is komoly energiaszükséglettel jár. Mindez nem csak gazdasági, de környezeti szempontból is aggasztó, hiszen az energiaforrások jellemzően nem megújulók, és a nagy energiafelhasználás hozzájárul a szén-dioxid kibocsátáshoz.

ZÖLD ADATKÖZPONTOK

A zöld adatközpontok az energiahatékonyság és a fenntarthatóság érdekében számos innovatív megoldást alkalmaznak, amelyek a következőkben kerülnek összefoglalásra.

Megújuló energiaforrások

Az egyik legfontosabb lépés az átállás megújuló energiaforrásokra. Nap-, szél- és vízenergia használata segíthet csökkenteni az adatközpontok szén-dioxid lábnyomát.

Hatékony hűtési rendszerek

Tradicionális hűtési módszerek helyett egyre több adatközpont használ olyan megoldásokat, mint az alacsonyabb hőmérsékletű szabadlevegő hűtés vagy a folyékony hűtés, amelyek jelentősen csökkenthetik az energiafelhasználást.

Informatikai optimalizálás

Virtualizációs technológiák és energiahatékony algoritmusok alkalmazása segíthet a hardverek jobb kihasználásában. Így kevesebb fizikai szerverre és tárolóra lehet szükség, amelyeknek pedig alacsonyabb az energiaigénye.

Felhőszolgáltatások szerepe

A felhőszolgáltatások lehetőséget adnak az erőforrások dinamikus allokációjára és a környezeti hatások minimalizálására. Ezzel nem csak az energiafelhasználás, de a hardver gyártásával és fenntartásával járó környezeti terhelés is csökkenthető.

ÖSSZEGZÉS

A zöld adatközpontok és a fenntarthatóbb felhőszolgáltatások nem csupán technológiai, hanem etikai és gazdasági imperatívusok is. Az átállás komplex folyamat, amely interdiszciplináris megközelítést igényel, de az első lépések már megtörténtek. A következő években minden bizonnyal további innovációkra és elterjedésre számíthatunk ezen a területen, amelyek jelentős mértékben hozzájárulnak a zöld transzformáció sikeréhez.

IRODALOM

- [1] European Commission (2022): *Green cloud and green data centres*, EU, Link: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/green-cloud>

Kővári Attila

IoT az energiahatékonyságért: intelligens városok és ipari alkalmazások

*egyetemi tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi Tanszék,*

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Digitális Technológia Intézet

Kulcsszavak: Internet of Things (IoT), energiahatékonyság, okos épületek, intelligens mezőgazdaság, urbanisztika.

A technológia gyors fejlődése és az Internet of Things (IoT) elterjedése egyre nagyobb lehetőségeket kínál az energiahatékonyság terén. Az IoT-technológiájának köszönhetően már nem csak az ipari, hanem az urbanisztikai tervezésben is új horizontok nyílnak. Ebben a cikkben arra összpontosítunk, hogy az IoT-eszközök – szenzorok, aktuátorok, és vezérlőegységek – hogyan segíthetnek az energiahatékonyabb városi és ipari infrastruktúrák létrehozásában.

IoT AZ OKOS ÉPÜLETEKBEN

Az IoT-eszközök lehetővé teszik az épületek világítási rendszereinek optimalizálását [1]. A fényerősség szabályozása az adott helyiségben tartózkodó személyek számától vagy a természetes fény mennyiségétől függően jelentős energia-megtakarítást eredményezhet.

Az okos termosztátok és légkondicionálók, amelyek az IoT-alapú vezérlésnek köszönhetően képesek adaptálódni az időjárási viszonyokhoz és a szobák kihasználtságához, szintén csökkenthetik az energiafelhasználást.

IoT AZ INTELLIGENS MEZŐGAZDASÁGBAN

Az IoT-szenzorok segíthetnek a mezőgazdasági területek öntözésének optimalizálásában, ezáltal jelentős mennyiségű víz megtakarításával [2].

IoT-alkalmazások segítségével a mezőgazdasági gépek és traktorok automatizáltan és hatékonyabban végezhetnek el bizonyos feladatokat, így csökkentve az üzemanyag-felhasználást.

IoT AZ IPARBAN

Az IoT technológia lehetővé teszi a gépek teljesítményének folyamatos monitorozását, és ezáltal az energiafelhasználás időben történő optimalizálását.

Az előrejelző karbantartás IoT-eszközök segítségével csökkentheti a gépek meghibásodásának kockázatát, és ezzel egyidejűleg az energiafelhasználást is.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az IoT-technológiák nyújtotta lehetőségek széleskörűek és dinamikusak. A városi és ipari környezetben történő alkalmazásuk energiahatékonysági szempontból komoly előrelépéseket tesz lehetővé. A fejlesztések által nem csupán az üzemeltetési költségek csökkennek, hanem a környezeti lábnyom is mérséklődik, elősegítve ezzel a fenntartható fejlődést.

Ez a terület folyamatosan fejlődik, és a további kutatások számos új alkalmazást és megoldást hozhatnak, amelyek pozitív hatással lesznek az energiahatékonyságra és a környezetvédelemre egyaránt.

IRODALOM

- [1] Schneider Electric: *Így teszi okosabbá az épületeket az IoT*. Műszaki Magazin Link: <https://www.muszaki-magazin.hu/2018/06/09/igy-teszi-okosabba-az-epuleteket-az-iot/>
- [2] IOT Zrt: *Mezőgazdasági felhasználás IoT*. Link: <https://iotzrt.hu/mezogazdasag/>
- [3] Phoenix Contact: *IoT-alapú energiamentés a gyártásban*. Link: <https://www.phoenixcontact.com/hu-hu/iparagak/alkalmazasok/iot-alapu-energiamentesment-gyartas>

Kővári Attila

Big Data és mesterséges intelligencia a fenntarthatóságért
*egyetemi tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi Tanszék,
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Digitális Technológia Intéze*

Kulcsszavak: Mesterséges Intelligencia, Big Data, Fenntarthatóság, Energiagazdálkodás, Megújuló energiák.

A fenntarthatóság az egyik legnagyobb kihívás, amellyel a modern világ szembesül. A mesterséges intelligencia (MI) és a Big Data-analitika olyan eszközöket kínál, amelyek segíthetnek ebben az átalakulásban. A cikk célja, hogy bemutassa, hogyan járulhatnak hozzá ezek a technológiák a zöld transzformációhoz, legyen szó energiahatékonyságról, természeti erőforrások kezeléséről vagy környezetszennyezés monitorozásáról.

ENERGIAGAZDÁLKODÁS ÉS BIG DATA

A Big Data-analitika segítségével pontosabb fogyasztási modellek hozhatók létre, amelyek alapján optimalizálni lehet az

energiaelosztást és a tárolást. Az MI algoritmusok a meteorológiai adatok és a fogyasztási statisztikák alapján előrejelezhetik a megújuló energiaforrások, például a nap- és szélenergia termelését, így jobban integrálhatók a hálózatba [1].

TERMÉSZETI ERŐFORRÁSOK KEZELÉSE

A Big Data segítségével elemezhető az időjárási minták, a talajviszonyok és az öntözési igények, amelyek alapján a vízfogyasztás optimalizálható.

MI-algoritmusok segíthetnek az erdőirtás és az illegális favágás felismerésében, elősegítve ezzel a fenntartható erdőgazdálkodást.

MI- és Big Data-elemzések segítségével modellezhető és monitorozható a vadállomány mozgása és számának változása [2].

Így hatékonyabb megoldásokat találhatunk az állományok fenntartható kezelésére és a biodiverzitás megőrzésére.

Big Data-analitikával történő talaj- és kőzettani elemzések segíthetnek fenntarthatóbb bányászati technikák kidolgozásában, például az erózió és a talajszennyezés megelőzésében.

KÖRNYEZETSZENNYEZÉS MONITOROZÁSA

Szenzorok és Big Data-analitika segítségével real-time monitorozható a levegő minősége, és az MI-alapú rendszerek javaslatokat tehetnek az emisszió csökkentésére.

Az MI-algoritmusok felhasználhatók a hulladékgyűjtési és -feldolgozási folyamatok optimalizálásában, így csökkentve a környezeti terhelést.

Mesterséges intelligencia segíthet az ivóvíz és egyéb vízkészletek szennyeződésének időben történő észlelésében és kezelésében, növelve ezzel a vízbiztonságot és a fenntartható vízgazdálkodást.

Big Data-analitika és MI segíthetnek a természetvédelmi területek állapotának monitorozásában, így gyorsabban és hatékonyabban reagálhatunk az esetleges veszélyekre, mint például az illegális favágás vagy az élőhelyek pusztulása.

ÖSSZEFOGLALÁS

A mesterséges intelligencia és a Big Data számos lehetőséget kínálnak a fenntarthatósági kihívások kezelésére. Az energiafelhasználástól kezdve a természeti erőforrások kezelésén át a környezetszennyezés monitorozásáig, ezek az eszközök alapvetően alakíthatják át a zöld transzformáció folyamatát.

A kutatás és fejlesztés ezen a területen további innovációkat és megoldásokat hozhat, amelyek hozzájárulnak a globális fenntarthatósági célok eléréséhez.

IRODALOM

- [1] Tomas Bigorda: Az új energiaforradalom a Big Data révén. *Renovable Sverdes*, Link: <https://www.renovablesverdes.com/hu/la-nueva-revolucion-energetica-a-traves-del-big-data/>
- [2] Microsoft (2021): *Életeket és természeti értékeket ment a mesterséges intelligencia*. <https://news.microsoft.com/hu-hu/2021/02/24/eleteket-es-termeszeti-ertekeket-ment-a-mesterseges-intelligencia/>
- [3] Szakos Judit (2020): *Mesterséges intelligencia a közjóért – környezetvédelem*. *ludovika.hu*, Link: <https://www.ludovika.hu/blogok/cyberblog/2020/05/25/mesterseges-intelligencia-a-kozjoert-kornyezetvedelem/>

Kővári Attila

Blokklánc a körkörös gazdaságban: átláthatóság és fenntarthatóság

*egyetemi tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természet-
tudományi és Környezetvédelmi Tanszék,
Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Digitális Technológia Intéze*

Kulcsszavak: Blokklánc, körkörös gazdaság, átláthatóság, nyomkövethetőség, fenntarthatóság, ellátási lánc.

A körkörös gazdaság modellje egy fenntarthatóbb jövő alapjait teremti meg, ahol az anyagok és termékek életciklusa nem lineáris, hanem zárt rendszerben működik. A körkörös gazdaság alapelve az, hogy a termékek, anyagok és erőforrások maximális értékét hosszú ideig megtartsuk, miközben minimalizáljuk a hulladéktermelést és az erőforrás-felhasználást.

A blokklánc-technológia egy olyan eszköz lehet ebben az ökoszisztémában, amely nagymértékben fokozza az átláthatóságot és a fenntarthatóságot [1]. Ebben az ökoszisztémában a blokklánc technológia új lehetőségeket kínál az átláthatóság és az ellenőrizhetőség terén, és ezzel elősegítheti a körkörös gazdaság hatékony működését. A cikk célja, hogy bemutassa, miként járulhat hozzá a blokklánc a körkörös gazdasági modellek megbízhatóságához és hatékonyságához.

ÁTLÁTHATÓSÁG AZ ELLÁTÁSI LÁNCSBAN

Az átláthatóság kulcsfontosságú az ellátási láncban, főként olyan komplex termékek esetében, amelyek több forrásból és feldolgozási lépésből származnak. A blokklánc-technológia segítségével minden egyes termékhez társíthatók metaadatok,

amelyek információt nyújtanak annak összetételéről, eredetéről és az azt előállító folyamatokról.

Ez lehetővé teszi a fogyasztók számára, hogy tudatos döntéseket hozzanak, és elősegíti az etikus és fenntartható gyártási módszerek alkalmazását.

A blokklánc, egy decentralizált és átlátható digitális főkönyv, lehetővé teszi az adatok hiteles és manipulációmentes tárolását. Ezen adatok az ellátási lánc minden szegmensében, a nyersanyagoktól a termelésen át a fogyasztóig, hozzájárulhatnak az erőforrások hatékonyabb felhasználásához.

Az ellátási láncban történő nyomonkövethetőség jelentős mértékben növeli a fenntarthatóságot. Egy termék eredetének, összetevőinek és előállítási körülményeinek ismerete lehetővé teszi a fogyasztók számára, hogy tudatos döntéseket hozzanak. A blokklánc-technológia az átláthatóság révén biztosítja, hogy a termékek megfeleljenek a körkörös gazdasági és fenntarthatósági normáknak.

IoT ÉS BLOKKLÁNC

Az Internet of Things (IoT) szenzorokkal gyűjtött adatai és a blokklánc kombinációja új szintre emelheti a fenntarthatóságot. A gyártási folyamatok, logisztika, és az újrahasznosítás során keletkező adatok valós idejű monitorozása javítja az erőforrás-allokációt és csökkenti a pazarlást.

ÖSSZEFOGLALÁS

A blokklánc-technológia komoly lehetőségeket kínál a körkörös gazdaság előmozdítására. A magas szintű átláthatóság, az incentivizációs mechanizmusok és a valós idejű monitorozási

lehetőségek mind hozzájárulhatnak egy fenntarthatóbb és etikusabb gazdasági modell kialakításához. Ahhoz azonban, hogy ezeket a lehetőségeket teljes mértékben kiaknázzuk, további kutatásra és jogszabályi keretek megalkotására van szükség.

Az említett szempontok és eszközök figyelembevétele nélkülözhetetlen a blokklánc-technológia fenntartható és hatékony alkalmazása érdekében, ami hozzájárulhat egy igazán fenntartható körkörös gazdaság megteremtéséhez.

IRODALOM

- [1] Sipos Dániel: Blokklánc-technológia alkalmazása az ellátási láncokban, *Multidiszciplináris tudományok*, 10., (2.), pp. 525–531.

Kövári Attila

Virtuális és kiterjesztett valóság a fenntarthatóságért: oktatás és tudatosság növelése

egyetemi tanár, Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Természet-tudományi és Környezetvédelmi Tanszék,

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Digitális Technológia Intéze

Kulcsszavak: Virtuális valóság (VR), kiterjesztett valóság (AR), fenntarthatóság, oktatás, tudatosság.

A virtuális- és kiterjesztettvalóság (VR és AR) technológiák forradalmasítják az oktatást és a tájékoztatást a fenntarthatóság és a környezetvédelem terén [1] [2]. Az emberiségnek sürgetően cselekednie kell a környezeti válság megoldása érdekében, és ezek a technológiák hatékony eszközök lehetnek az emberek tudatosságának és ismereteinek növelésére.

A VR és AR az oktatásban új módszereket kínálnak a környezeti problémák bemutatására és a fenntarthatósági ismeretek közvetítésére. Az interaktív szimulációk segíthetnek a diákoknak megérteni az ökoszisztémák működését, a klímaváltozás hatásait, vagy akár az erdőirtás következményeit, mindezt egy közvetlen, személyes tapasztalat révén. A VR és AR nem csak információkat közvetítenek, hanem lehetővé teszik az emberek számára, hogy személyes kapcsolatot alakítsanak ki a tárgyalt témákkal. Egy virtuális kirándulás a Nagy-korallzátonynál például rávilágíthat, milyen sérülékenyek ezek az ökoszisztémák, és milyen gyorsan pusztulnak a klímaváltozás és az emberi tevékenységek hatására.

GAMIFICATION

A gamifikáció, vagyis a játékelemek alkalmazása az oktatásban, tovább erősítheti az érdeklődést és a tudatosságot. VR- és AR-alapú játékok, amelyek a fenntarthatósági kihívások megoldására ösztönöznek, nem csak szórakoztatóak, hanem informatívak is, és segíthetnek a játékosoknak saját maguk felfedezni a fenntartható megoldásokat.

OKTATÁS

A VR- és AR-technológiák lehetővé teszik a specifikus készségek és ismeretek átadását is. Azonban a VR és AR nem csak egy általános ismeretátadásra alkalmas eszköz, hanem konkrét, gyakorlati képzési célokra is használható. A mezőgazdaság, mint egy kulcsfontosságú iparág a fenntarthatóság szempontjából, különösen jól kihasználhatja ezt a technológiát. Például, egy AR-alkalmazás segíthet a munkásoknak abban, hogy pontosan lássák,

mely területeket kell kezelniük és milyen mennyiségben, ezáltal minimalizálva a vegyszerek használatát és az ezzel járó környezeti hatásokat.

TÁVOKTATÁS ÉS TANÁCSADÁS

Egy AR alkalmazás lehetővé teszi a szakértőknek, hogy távolról is tanácsokat adjanak a mezőgazdasági munkásoknak, akár valós időben. Ez különösen hasznos lehet elszigetelt, kevésbé fejlett régiókban, ahol a hozzáférés a szakértői tudáshoz korlátozott.

IRODALOM

- [1] Cosio, L. D.–Buruk, O. O.–Fernández Galeote, D.–Bosman, I. D. V.–Hamari, J. (2023): Virtual and Augmented Reality for Environmental Sustainability: A Systematic Review. In: *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. pp. 1–23.
- [2] Varun Sakhuja (2021): How Can Augmented Reality Encourage Sustainability? *Nerd For Tech*, Link: <https://medium.com/nerd-for-tech/how-can-augmented-r-encourage-sustainability-4450a84224c5>

Szabó Attila, Nagy András, Zahola Tamás **A jövő elektromotora: az amorf anyagtechnológiák fókuszában**

Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Keywords: Lágýágneses anyag, amorf, elektromotor, soft magnetic material, metallic glass, electric motor.

A kutatás célja az elektromos hajtásokban alkalmazott elektromotorok hatásfokának növelése, megfelelő anyagok kiválasztásával. A kutatás során arra törekszünk, hogy az Fe–Si-alapú kristályos mikroszerkezetű mágneses anyagokat olyan

amorf ötvözetekkel helyettesítsük, amelyek lehetővé teszik az elektromotorok hatékony működését magasabb fordulatszámon is. Az amorf szerkezetű anyagok kedvező mágneses tulajdonságai révén várhatóan javul az elektromotorok hatásfoka. Az amorf lapok kialakítása kihívást jelent, és ezért a kutatómunkánk fő célja az alakítástechnológia kidolgozása, amely lehetővé teszi az amorf fóliászerű lemezekből álló lemezipakettek gyártását.

Abstract: The aim of the research is to enhance the efficiency of electric motors used in electric propulsion by selecting appropriate materials. In this research, our focus is on substituting Fe-Si-based crystalline microstructured magnetic materials with amorphous alloys that enable efficient operation of electric motors at higher rotational speeds. It is anticipated that the favorable magnetic properties of amorphous materials will lead to an improvement in the efficiency of electric motors. Shaping amorphous sheets presents a challenge, and therefore, the primary objective of our research is to develop shaping technology that allows for the production of laminates consisting of amorphous foil-like sheets.

BEVEZETÉS

Az energia nélkülözhetetlen szerepet játszik a modern társadalomban. Bár a megújuló energiák alkalmazása elterjedőben van, de jelentős részét még fosszilis energiahordozókból nyerik. Európában jelenleg a felhasznált energia 77%-a fosszilis tüzelőanyagokból áll elő [1].

A közlekedés energiaigénye a világ globális energiaigényének mintegy 33%-a [2], melynek 78,6%-át [3] a közúti közlekedés használja fel. A gépjárművek energiagazdálkodásának javítására tehát kiemelten fontos, globális, energetikai és környezetvédelmi problémákat egyaránt érintő kutatási terület.

A fosszilis tüzelőanyagokat kiváltó gazdaságosabban előállítható és környezetet kevésbé terhelő alternatív energiaforrások, mint például a villamos energia a közúti közlekedésben való elterjedése elsősorban az energiatárolási nehézségek miatt még nem problémamentes.

Szélesebb körű elterjedésének feltétele az egy töltéssel megtehető távolság növelése, és a jelenleg használt gépjárművek hatótávolságával összemérhető hatótávolság elérése. Ennek lehetséges módja az energiatárolás hatékonyságának növelése mellett a járművek energiagazdálkodásának javítása.

Az elektromotorok hatékonyságának növelése az utóbbi években kiemelt szerepet kapott, ugyanis az elektromos hajtások térhódítása közúti közlekedésben egyre jelentősebb, illetve a légiközlekedésben is a figyelem középpontjába került. [4]

A járművek hatásfokjavításának egy lehetséges lehetősége a járművek meghajtására szolgáló elektromotorok hatásfokának növelése.

A korszerű anyagok és gyártási technológiák alkalmazásával a működés során keletkező veszteségek tovább csökkenthetők. Fontos megjegyezni, – alapul véve az OECD kimutatását – hogy kis, mindössze néhány tized %-os hatásfokjavulás is jelentős energiamegtakarítást jelent; a világon használatban levő villanymotorok jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható legnagyobb hatásfokúakra cserélésével 2030-ig az összes energiamegtakarítás elérné a 322 TWh-t, amely energia konverziója során mintegy 206 Mt CO₂ szabadul fel. [5]

Motorok hatásfokjavításának lehetséges módszere a motor fordulatszámának növelése. A növelt fordulatszám megnövelt mágneses térfrekvenciával érhető el, mely frekvenciát a jelenleg mind a forgórészben, mind pedig az állórészben alkalmazott kristályos szerkezetű vasmagok nem képesek követni, a permeabilitásuk lecsökken, továbbá koercitív erejük megnő, mely

a motor működése során teljesítményvesztést és hatásfokcsökkenést eredményez [6] [7].

Új típusú, amorf szerkezetű vasalapú magok alkalmazása, – mely magokat a transzformátorgyártásban már nagy sikerrel alkalmaznak – a jelenleg alkalmazott Fe–Si lemezek hátrányos tulajdonságait kiküszöböli, és nagyobb statikus szilárdsága a mechanikailag is hozzájárul a fordulatszámnövelés lehetőségéhez. Az amorf anyagok alkalmazásai között a nagysebességű generátorok is szerepelnek, például a szélturbina esetében is vizsgálhatók az előnyök [14].

AZ ELEKTROMOTORGYÁRTÁSBAN ALKALMAZANDÓ LÁGYMÁGNESES ANYAGOK

Noha az amorf ötvözetek kutatása már 50 éves múltra tekint vissza, még mindig sok, nem tisztázott kérdés foglalkoztatja a kutatókat ebben a témakörben. A kristályos rend hiánya a mágneses tulajdonságok megszokott értelmezését nem teszi lehetővé. [8]

A kutatások elején az amorf anyagok nagyon ígéretesnek mutatkoztak, széles körű alkalmazásukat tervezték néhány kiugróan jó mágneses tulajdonságuk miatt. Az érdeklődés irántuk a rendkívül kicsi koercitív erő miatt indult meg. A H_c egy nagyságrenddel kisebb, míg a permeabilitásuk egy nagyságrenddel nagyobb a szilíciumacélokéhoz viszonyítva. Az amorf anyagok fajlagos ellenállása általában nagyobb a kristályos anyagokhoz képest (a nagy metalloid tartalom miatt, valamint a rendezetlen kristályszerkezet akadályozza a vezetési elektronokat), amely hozzájárul az amorf anyagok jelentősen kisebb vasveszteségéhez is. Az utóbbiak miatt nagyobb frekvenciás alkalmazások ideális alapanyaga. A gyorshűtött állapot („as cast”) kiváló tulajdonságai még jobban javíthatók hőkezeléssel egy olyan közbülső hőmér-

sékleten, ahol a minták kristályosodása még nem indul el. Az „as cast” állapot ugyanis belső feszültséggel terhelt, amely nagy Hc-vel és kisebb permeabilitással jár együtt. [8]

Az általános elterjedésüknek néhány rossz tulajdonságuk emelt gátat. Az egyik a kis szalagvastagság, amely megnehezíti a gyártást követő alakíthatóságot, ezáltal a megnehezíti a felhasználhatóságot. A másik ok az általánosan érvényes kis telítési indukció, amely a nagy teljesítményű alkalmazásoknak szabott határt. Kisebb hátrány, hogy az amorf anyagok Curie-hőmérséklete általában kisebb, mint az azonos összetételű kristályos anyagoké.

ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK

A kutatómunkánk megoldandó feladatköre a lemezvágás technológiájának kidolgozása. Ez komoly kihívást jelent, ugyanis a lemezvastagság (25 mikrométer) határt szab a mechanikus technológiák alkalmazhatóságának. Célkitűzésünkben éppen ezért nagy hangsúlyt fektetünk olyan vágástechnológiák alkalmazására, amelyekkel lehetőség nyílik a lemezek kívánt geometriára történő alakítására tekintetbe véve a felhasznált alapanyag termikus igénybevétellel szemben tanúsított érzékenységét is.

A hagyományos mechanikus technológiák biztosította termelési lehetőség egyedi megmunkálásokkal csak úgy érhető el, ha a lemezeket nem egyesével munkáljuk ki a szükséges geometriára, hanem minél nagyobb lemezipakettet egyben kezelve több lemezt alakítunk.

Ebben az esetben több vágástechnológia alkalmazhatósága – úgy mint vízsugaras vagy lézersugaras technológiák – annak technológiai korlátai miatt nem bizonyulnak gazdaságosnak. [10] [11]

Kutatómunkánk jelen fázisában tehát kísérletet teszünk a csévetest szikraforgácsolással történő előállítására.

Elgondolásunkat segíti az a tény, hogy szikraforgácsolással nagy keresztmetszetű elektromosan vezető anyagokat tudunk kívánt geometriára alakítani úgy, hogy a munkadarab a teljes vágott keresztmetszetben egyenletes minőségű és pontosságú, illetve a munkadarabot számottevő termikus igénybevétel nem éri.

A szikraforgácsolás olyan fémforgácsolási technológia, ahol az elektróda és a munkadarab között szabályozott elektromos ívkisülések folyamata választja le a munkadarabról az anyagi részecskéket.

Először nem folyik áram az elemek között, mert a dielektrikum szigetelőként működik. Ha a két felület közötti távolságot lecsökkentjük, egy bizonyos (nagyon kicsi) távolságban egy szikra létrejöttével megtörténik a kisülés. A kisülés során csökken a feszültség, és az áram jelentős hőmérséklet-emelkedést okoz a szikra becsapódási helyén. A hőfejlődés hatására a kis fémrészecskék megolvadnak és elpárolognak.

Ha megszakítjuk az áramkört, a megolvadt anyag robbanásszerűen kihordódik a kráterből, a kisülési csatorna deionizálódik és egy kis kráter marad vissza. [12]

FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK ÉS ANYAGOK

Kutatómunkánk során az alábbi, Molibdén szálás huzalszikraforgácsoló berendezést alkalmaztuk.

5. ábra. Az alkalmazott szikraforgácsoló berendezés



METGLAS ANYAG ISMERTETÉSE

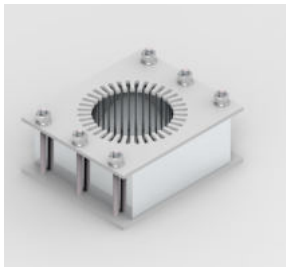
Nanokristályos lágymágneses amorf ötvözetek között találjuk a Hitachi-metals által fejlesztett Metglas fantázianevű Fe–Si–B összetételű amorf fázisú anyagot, ami mind a mai napig az érdeklődés középpontjában áll [13]. Ennek oka a kedvező telítési mágnesezettség és nagy üvegtévesztő hajlam mellett az alkotó komponensek kedvező árfekvése is.

Több altípusból álló ötvözetcsalád számunkra legkedvezőbb tulajdonságait a METGLAS 2605SA1 típusú ötvözet hordozza. Telítési indukciója 1,56 T, amihez igen nagy, 600000-es mágnese permeabilitás tartozik. Vasvesztése a kristályos anyagokhoz hasonlítva kicsi, sőt a veszteségek nagyobb frekvenciákon kisebbek a nagy ellenállás miatt ($1,3 \mu\Omega\text{m}$). A kristályosodás körülbelül 510°C -on indul el, ami természetesen függ az ötvözők mennyiségétől, hőkezelés típusától is. Az 50g terheléssel mért Vickers-keménységértéke 900 HV_{0,05} körüli. [9]

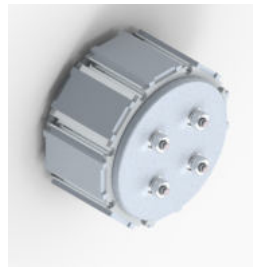
EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A szikraforgácsoláshoz a csévetest és a forgórész lemezpakettet elő kellett készíteni, hogy az a technológiai folyamat során kezelhető legyen. Ehhez az alábbi ábrán látható elrendezést választottuk.

6. ábra A szikraforgácsoláshoz előkészített csévetest (a) és forgórész (b) rajza



(a)



(b)

A 6. ábrán ismertetett megfogás biztosította, hogy a szikraforgácsolás során, illetve az azt követően a lemezpakettek egyes lemezei ne mozduljanak el.

7. ábra A legyártott elektromotor fékpadra szerelt állapotban (a) és önmagában (b)



(a)



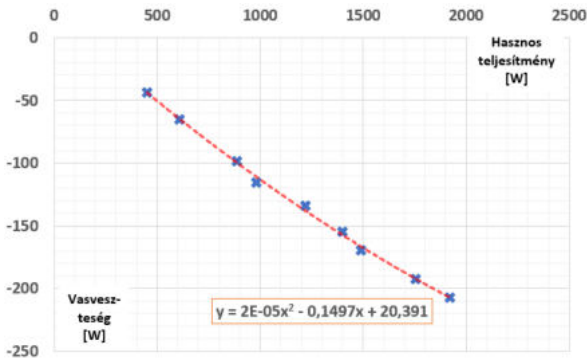
(b)

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A motorfékpad alkalmazásával tesztsorozatot hajtottunk végre az új típusú motoron. Összefoglalva a tesztek eredményét azt tapasztaltuk, hogy az újfajta elektromotor melegedése jelentősebb alacsonyabb fordulatszámokon.

Ennek oka valószínűleg a gyártási pontatlanságban keresendő, a lágymágneses amorf ötvözetek megmunkálásának technológiáját tovább kell finomítani.

8. ábra A lágymágneses anyagból készült motor vasvesztési teljesítménye a hasznos teljesítmény függvényében



Az egyik jellemző mérési görbét a 8. ábra mutatja, ahol állandó fordulatszámon a vasvesztés a hasznos teljesítmény függvényében. Látható a közel lineáris összefüggés (a másodfokú tag 10⁻⁵ nagyságrendű), ami enyhén laposodó parabola jellegűt mutat.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatómunkánk során elvégeztük az elektromotor állórész prototípus gyártástechnológiájának kidolgozását. Kutatási eredményeinkre alapozva meghatároztuk az optimális gyártási technológiát, majd kísérletet tettünk a lemezttest gyártására.

Munkánk során a lemezttest szikraforgácsoklással történő alakítása sikeresen megtörtént. További feladatunk a tekercselés elvégzése és az elektromotor összeállítása, amelyen a hatásfokmérést elvégezhetjük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Európai Környezetvédelmi Ügynkség: *Energia – a felhasználás jellemző mutatói*. <https://www.eea.europa.eu/hu/themes/energy/intro> (Letöltve: 2022. 10. 20.).
- [2] Moriarty, Patrick–Damon Honnery (2016): „Global transport energy consumption.” *Alternative energy and shale gas encyclopedia*, pp. 651–656.
- [3] Payam Nejat–Fateme Jomehzadeh–Mohammad Mahdi Taheri–Mohammad Gohari–Muhd Zaimi Abd. Majid: A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume. 43, 2015, Pages 843–862, ISSN 1364–0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>.
- [4] Nagy, Andras (2019): „Electric aircraft-present and future.” *Production Engineering Archives* 23.
- [5] Paul Waide (2011): *Conrad U. Brunner Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. International Energy Agency.
- [6] A. Hiura, Y.–Oda, K.–Tomita et Y. Tanaka: Magnetic properties of high-permeability thin gauge non-oriented electrical steel sheets. *J. Phys. IV France*, 08 PR2 (1998) Pr2-499-Pr2-502 DOI: <https://doi.org/10.1051/jp4:19982115>
- [7] Non oriented, fully processed electrical sheet – Cogent – adatlap <https://cogent-power.com/downloads> (Letöltve: 2018. 02. 15.)
- [8] Herzer, G. (1997): *Handbook of Magnetic Materials*. Buschow K. H. J. (Ed.): v.10, *chapt.* 3., p. 415. Amsterdam: Elsevier Science.
- [9] *METGLAS adatlap*. <https://metglas.com/wp-content/uploads/2016/12/Amorphous-Alloys-for-Transformer-Cores-.pdf> (Letölve: 2017. 11. 13.)

- [10] Attila Szabo–Daniel Koti–Orsolya Santa–Gabor Kozsely (2019): *Development of the shaping method of amorphous ribbons used in electric drives Perner's Contacts*. May 2019. 2., (XIX.), pp. 282–291.
- [11] Attila Szabo–Andras Nagy–Gabor Kozsely (2019): Laser Cutting Technology Development for Fe-based Metallic Glass, SISY 2019, IEEE 17th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, September 12–14, 2019 Subotica.
Közlemény: 30939260
- [12] Gergő Ferenc (1986): Szikraforgácsolás. Ipari szakkönyvtár. Budapest: Műszaki.
- [13] Yaodong Yang–Junqi Gao–Zhiguang Wang–Menghui Li–Jie-Fang Li–Jaydip Das–D. Viehland (2011): Effect of heat treatment on the properties of Metglas foils, and laminated magnetoelectric composites made thereof. *Materials Research Bulletin*, 46., (2.), pp. 266–270.
- [14] Csaba Hetyei–Ferenc Szlivka (2020): Ellenirányú ikerszél turbinák rotorméretének vizsgálata. *Biztonságtudományi Szemle*, 2., (4.)



DUNAÚJVÁROSI EGYETEM
www.uniduna.hu

D-U-E PRESS

Kiadóvezető Németh István

Felelős kiadó Dr. habil András István

Felelős szerkesztő Nemeskéry Artúr

Tördelés Duma Attila

Készült a HTSART nyomdában

Felelős vezető Halász Iván

