

Dunaújváros

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2026. XIV. évfolyam VIII. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok



PÓR GÁBOR

Turbinacsapágy rezgéskiváltó okának
feltárása mesterséges intelligenciával

PETROVICKIJNÉ ANGERER ILDIKÓ

Dunaújváros környezeti állapota és
települési környezetvédelmi programja

KOVÁCS IMRE

A hidrogén alapú üzemanyagcellák
gyenge pontjai

HORVÁTH MIKLÓS

Hidrogén-alfa naptávcső továbbfejlesztése
fókusznyújtással, a Nap nagyfelbontású
fotózása

SZABÓ ANDREA

Számítógépes képelemzés a metallo-
gráfiában

KOVÁCS IMRE

Platinafémek szerepe a kobalt nano-
ötvözetek kialakulására és szekezetükre



Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2026. XIV. évfolyam VIII. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

MEGJELENIK ÉVENTE 12 ALKALOMMAL

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

András István, Bacsa-Bán Anetta, Balázs László, Kovács-Bokor Éva,
Nagy Bálint, Németh István, Rajcsányi-Molnár Mónika.

Felelős szerkesztő: Németh István

Szerkesztők: Falus Orsolya, Halmai Nóra, Kőkuti Tamás, Varga Anita

Tördelés: Duma Attila

Szerkesztőség és a kiadó címe: 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUE Press, a Dunaújvárosi Egyetem kiadója

Felelős kiadó Dr. habil András István, rektor

<http://dunakavics.uniduna.hu/>

ISSN 2064-5007

Tartalom

PÓR GÁBOR

Turbinacsapágy rezgéskiváltó okának feltárása mesterséges intelligenciával

5

PETROVICKIJNÉ ANGERER ILDIKÓ

Dunaújváros környezeti állapota és települési környezetvédelmi programja

19

KOVÁCS IMRE

A hidrogén alapú üzemanyagcellák gyenge pontjai

31

HORVÁTH MIKLÓS

*Hidrogén-alfa naptávcső továbbfejlesztése fókusznyújtással,
a Nap nagyfelbontású fotózásával*

39

SZABÓ ANDREA

Számítógépes képelemzés a metallográfiában

53

KOVÁCS IMRE

Platinafémek szerepe a kobalt nano-ötvözetek kialakulására és szekezetükre

61

Galéria (Sóti István fotói)

67



Turbinacsapágy rezgés kiváltó okának feltárása mesterséges intelligenciával

Összefoglalás: Ez a tanulmány a mesterséges intelligencia (MI) gyakorlati alkalmazását mutatja be egy hagyományos erőmű turbinacsapágyának túlzott rezgését kiváltó ok azonosítására. A rezgés évekig szórványosan jelentkezett és a hagyományos diagnosztikai módszerekkel nem tudták meghatározni a turbinatengely ötödik csapágyában fellépő túlzott rezgés okát.

A probléma megoldására egy neurális hálózati programot alkalmaztunk, amely az erőműből származó rendelkezésre álló összes elérhető mérési adatot felhasználta a MI-rendszer betanításához.

A betanítás után a MI kimutatta, hogy a kondenzátor vízszintjével meghatározott sajtófrekvencia, a tengely forgási frekvenciájával kombinálva, volt az esemény tényleges oka.

Kulcsszavak: Mesterséges intelligencia, rezgés a turbinában, neurális hálózati program, forgási frekvencia.

Abstract: This study presents the practical application of artificial intelligence (AI) to identify the cause of excessive vibration in the turbine bearing of a conventional power plant. The vibration had occurred sporadically for years, and conventional diagnostic methods were unable to determine the cause of the excessive vibration in the fifth bearing of the turbine shaft.

To solve the problem, we used a neural network program, which utilized all available measurement data from the power plant to train the AI system. After training, the AI revealed that the natural frequency determined by the condenser's water level, combined with the shaft's rotational frequency, was the actual cause of the event.

Keywords: Artificial intelligence, vibration in the turbine, neural network-program, rotational frequency.

* *Dunaújvárosi Egyetem*

Email: porg@uniduna.hu

ORCID: 0000-0003-1022-5847

Bevezetés

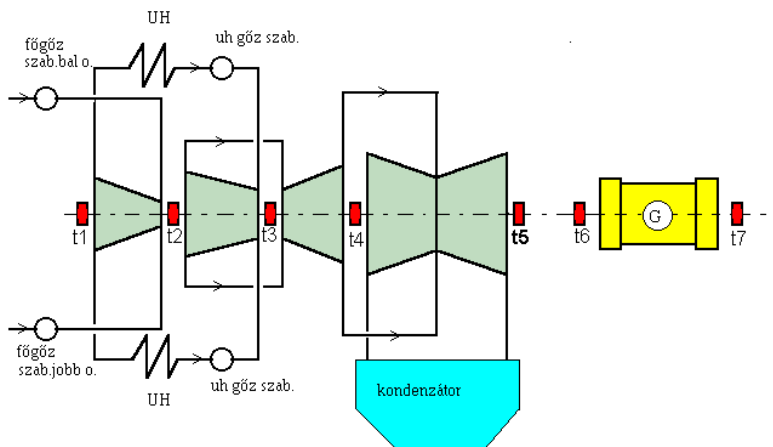
A mesterséges intelligencia (MI) módszereit egyre inkább alkalmazzák az ipari folyamatok matematikai modellezésében. Számos publikáció foglalkozik a neurális hálózati szoftvercsomagok fejlesztésével, mégis kevés jelentés emeli ki ezen technikák sikeres alkalmazását valós ipari problémák megoldásában. Ez a tanulmány egy figyelemre méltó esetet mutat be, ahol a mesterséges intelligenciát sikerrel alkalmaztunk egy hagyományos erőműben régóta fennálló rezgési probléma megoldására.

A probléma évekig fennállt a hagyományos diagnosztikai módszerekkel, beleértve a rezgismérésekkel, számításokkal és végeselemes elemzésekkel végzett ismételt próbálkozások ellenére. Ezen módszerek egyike sem tudta azonosítani a turbinacsapágyak egyikében megfigyelt túlzott rezgéskiváltó okát. A rendszer összetettsége és a fizikai modellek korlátjai miatt a MI-hez fordultunk megoldásért, neurális hálózati technikákat alkalmazva a rendszer viselkedésének modellezésére és a mögöttes ok feltárására.

A probléma leírása

A hagyományos erőmű turbina-generátor rendszerrel működik, amely gyakran különböző gyártók által előállított részekből állnak. Ebben az esetben a turbinát a Brown–Boveri-től, míg a generátort a Ganz-Huslet-től vásárolták. A két alkatrész összekapcsolására kezdetben egy további csapágy nélküli tengelykapcsolót javasoltak, a Brown–Boveri eredeti terve alapján. Mivel azonban az alkatrészek különböző gyártóktól származtak, egy további csapágyat (melyet a továbbiakban t5-nek nevezünk) helyeztek el a tengelykapcsoló közelében (lásd az *1. ábrát*).

1. ábra. A turbina-generátor együttes sematikus ábrázolása. A fő alkatrészek, jelek és csapágyságok megjelölve. A t5-tel jelölt csapágy időnként meg nem engedett rezgést mutatott.



Forrás: Saját ábra.

Normál körülmények között a rendszer komolyabb problémák nélkül működött. Azonban a teljesítménycsökkentések során, amikor az egység teljesítményét kapacitásának körülbelül 50%-ára redukálták, időnként túlzott rezgést figyeltek meg a t5 csapágyban. Ezek a rezgések néha meghaladták a megengedett határértékeket, különösen az egység tehermentesítésekor. A probléma megoldására tett különféle vizsgálatokkal, beleértve a rezgésméréseket, számításokat és végelemes analízist, a rezgéskiváltó okát nem sikerült egyértelműen azonosítani és a nemkívánatos rezgéseket megszüntetni. Gyanították a tengely forgási frekvenciája és a csapágy sajátfrekvenciája közötti rezonanciát, amit tömegek hozzáadásához a csapágy alapjához próbáltak orvosolni. Bár ez kiküszöbölt néhány rezonanciacsúcsot, a tehermentesítés során felépő fajlagos rezgés továbbra is fennállt, és előfordulása következetlen volt, ami még nehezebbé tette a probléma megoldását.

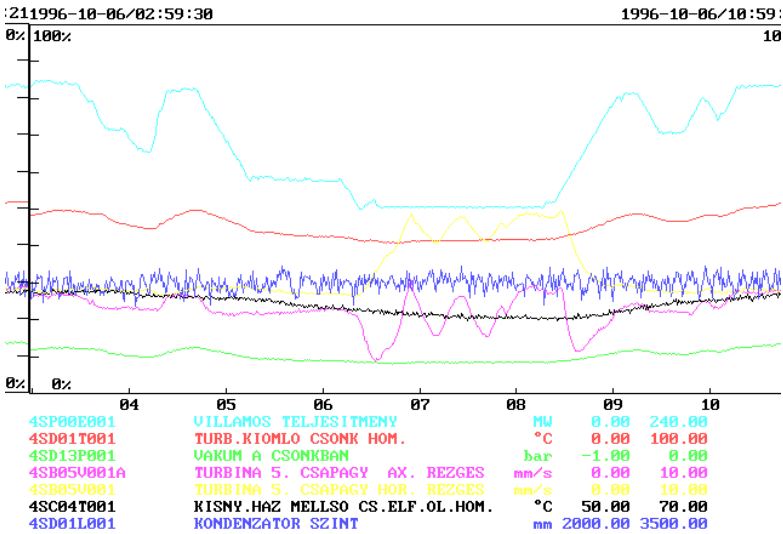
Mivel a probléma okát nem találták meg, úgy döntöttünk, hogy egy mesterséges intelligencia (MI) programot használunk az okok keresésére.

A mért jelek

A modern erőművek számos jelet rögzítenek különböző komponensektől automatizált adatgyűjtő rendszereken segítségével, jellemzően 1–3 másodperces mintavételi gyakorisággal. Ezek a jelek többek között a hőmérsékletet, nyomást, áramlási sebességet, rezgési paramétereket (például sebességet és gyorsulást), tengely excentricitást, energiatermelést és -veszteségeket, olajfogyasztást és csapágyhőmérsékleteket tartalmaznak. Esetünkben az erőmű adatgyűjtő rendszere által rögzített jeleket használtuk egy MI-modell betanításához. A 2. ábra a rögzített adatok tipikus ábrázolását mutatja.

A legfelső jel (világoskék) az energiatermelés változásait mutatja, amelyek reggel 6:30 és 8:30 között 50%-ra csökkentek. Figyelemre méltó, hogy ebben az időszakban két további jel, amelyek a t5 csapágy vízszintes és axiális rezgéseinek felelnek meg (sárga és lila), jelentősen megnőttek és hosszú periódusokkal oscillálni kezdtek. A rendelkezésre álló adatok bősége ellenére kihívást jelentett a jelek közötti összefüggések azonosítása és ok-okozati összefüggéseik megértése. A hagyományos fizikai modellek már nem voltak elegendőek az ilyen összetett problémák kezeléséhez, és világossá vált, hogy mesterséges intelligenciát alkalmazó matematikai megközelítésre van szükség. Azáltal, hogy egy MI-modellt betanítottunk ezekkel az adatokkal, célunk a túlzott rezgéskiváltó okának feltárása volt.

2. ábra. A betanításhoz használt erőművi adatgyűjtő rendszerből származó jelek.



Forrás: Saját ábra az adatok alapján.

Ennek vizsgálatához két különböző jellekészetet választottunk ki. Az első készlet 12 bemeneti jelet tartalmazott, míg a második készlet 30 bemenetet tartalmazott. A kimenetek kezdetben az 5. csapágy rezgésére korlátozódtak, ami a vizsgálatunk kiindulópontja volt. Később kibővítettük a kimeneteket, hogy több rezgésérzékelőt (akár 7×2 -ig) is tartalmazzon a turbinatengelyen.

A modellezésünkben használt szoftver leírása

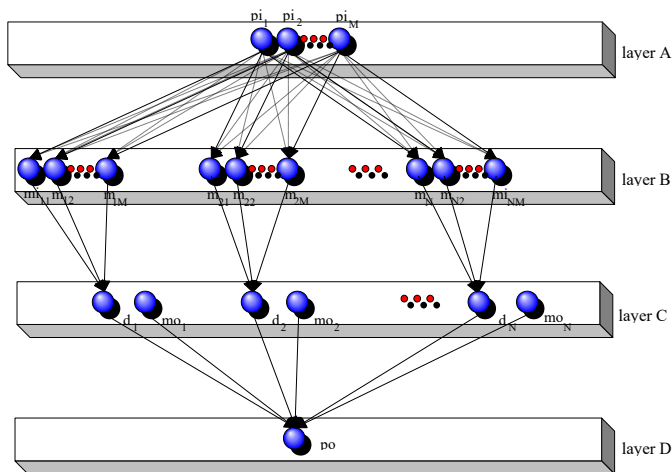
Az elemzésünkben használt szoftver, az AiNet [1] egy kereskedelmi forgalomban kapható program, amely shareware termékként érhető el. Bár az AiNet nem egy hagyományos neurális hálózat a szó szoros értelmében, MI-eszközként működik, amely egy mátrixot illeszt a mért adatokhoz [2]. Miután megtalálta az optimális illeszkedést, a modell készen áll a predikciós célokra. A 3. ábra az AiNet grafikus elrendezését mutatja be, amely hasonlóságot mutat más mesterséges neurális hálózatokkal (ANN). Az AiNet két fázisban működik: betanítás (vagy modellezés) és predikció. A betanítási fázisban a modellvektorok (a rögzített adatokból) megjelennek a hálózaton. Ez a folyamat gyors, hasonlóan az adatok megjelenítéséhez más felügyelt neurális hálózatokban, például a valószínűségi neurális hálózatokban (PNN) [3].

[1] Krajnc, A.– Perus, I. (1996): *User Manual AINET Neural Network Software*, Celje: AiNet.

[2] Grabec, I. (1990):: Prediction of a chaotic time series by a self-organising neural network, Dynamic Days, Dusseldorf, 1990.

[3] NEUR (1991): *Neural Computing*, NeuralWare, Inc.

3. ábra. Az aiNet grafikus ábrázolása.



Forrás: A szoftver leírása.

A 3. ábrán látható jelölések jelentése a következő:

- **p** predikciós vektor,
 - **m** modellvektor,
 - **i** a bemeneti változóhoz tartozó neuront jelöli,
 - **o** a kimeneti változóhoz tartozó neuront jelöli.
 - **N** modellvektorok száma,
 - **M** a jelenség bemeneti változóinak száma,
 - **K** a jelenség kimeneti változóinak száma (a bemutatott esetben K egyenlő 1-gyel, és i-t elhagyjuk),
 - **pc** büntetőegyüttható
- n az AiNet esetében.

Az aiNet ANN betanítása (vagy tanulása) a modellvektorok ideghálózaton való betáplálását jelenti. A kapcsolatok súlyai eleinte egygel, vagy nullával egyenlők. A súlyadaptáció kifejezése a következőképpen írható fel:

$$(1) \quad w_{ij} = \bar{w}_{ij} \delta_{kj}$$

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a bemutatott hálózatnak két rejtett rétege van (B-réteg és C-réteg). A B rétegben lévő neuronok száma megegyezik az összes modellvektor N számának és a bemeneti változók számának M szorzatával (N M), míg a C-rétegben lévő neuronok száma a modellvektorok számának kétszerese. Az egyszerűség kedvéért feltételeztük, hogy csak egy kimeneti (ismeretlen) változónk van a D kimeneti rétegben (a későbbi modellekben ezt kettőre emeltük).

A cikk limitált terjedelme nem teszi lehetővé, hogy az AiNet teljes matematikai algoritmusát ismertessük. Az megtalálható az AiNet leírásában. Az ideghálózatban a legfontosabb, hogy mely nódusok nem lineárisak. Ezek a C-rétegben (layerben) találhatók és leírásuk:

$$(2) \quad Y_i^C = f(X_i^C, pc) = e^{\frac{-X_i^C}{pc}}$$

Ez lehetővé teszi az algoritmus betanítását egy előrecsatolt (forward) predikciós módszerrel.

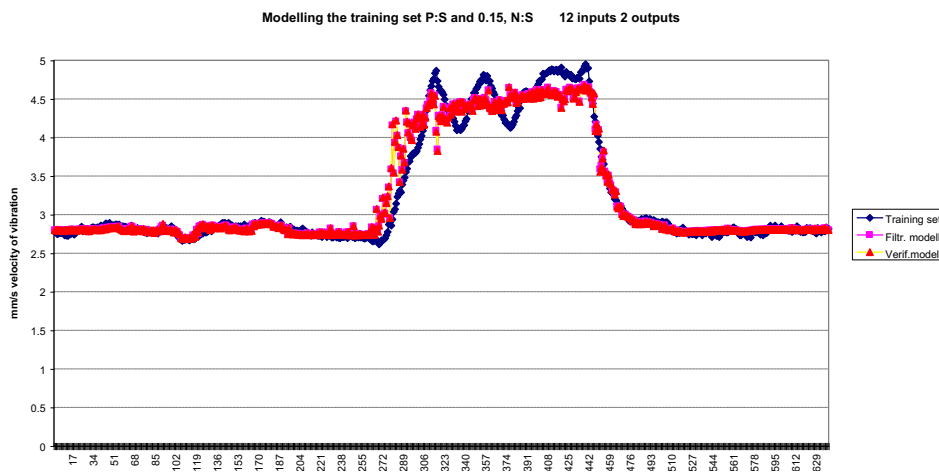
A betanított modellt ellenőrizni kell (validáció). Ehhez a teljes rendelkezésre álló adatmennyiségből félretesszünk kb. 10%-nyi adatot, amelyek nem vesznek részt a betanításban. Azokat az ellenőrzésben használjuk. A betanított modellnek képesnek kell lennie a félretett esetek minél tökéletesebb kiszámítására. Ha a betanított ideghálózati modellszámítás eredménye (bizonyos határon belül) egybeesik a félretett esetekben mért értékekkel, akkor azt gondoljuk, hogy a betanítás sikeres. Egy ilyen példát mutatunk be a következő pontban.

Ezt követi majd a predikciós fázis, ahol a MI-rendszer kiszámítja az ismeretlen kimeneti értékeket predikciós vagy ellenőrzési célokra, biztosítva a modell pontosságát. A predikciós fázis a feldolgozó elemek értékeinek kiszámítását és a predikciós vektor ismeretlen kimeneti értékeinek kiszámítását jelenti (predikció esetén). Vagy a modellvektorok kimeneti értékeit számítja ki (büntető együttható értékének meghatározásához szükséges ellenőrzés szűrése esetén).

A szoftver tesztelése (validálás)

Példaképpen bemutatjuk, hogyan teszteltük az AiNet szoftvert, hogy biztosítsuk annak megbízhatóságát.

4. ábra. 12 bemeneti és 2 kimeneti adattal betanítva az illeszkedés nem volt tökéletes.



Forrás: Saját számítás.

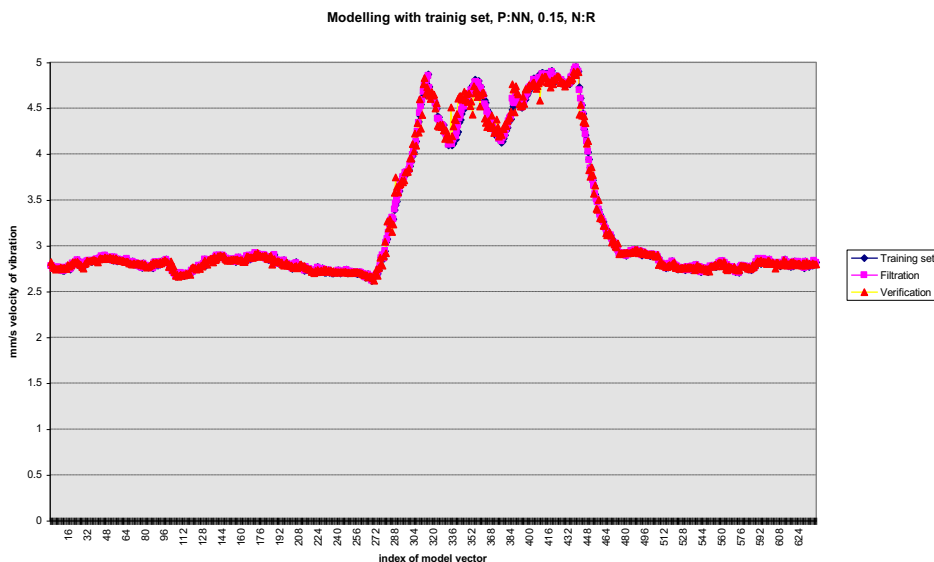
Az első teszt mesterséges adatokkal történt, amelyek lehetővé tették számunkra, hogy felmérjük a szoftver azon képességét, hogy előre jelezze az eredményeket, amikor különböző mennyiségű fehér zajt adtunk az adatokhoz.

Az eredmények azt mutatták, hogy az illesztett modell hatékony volt az előrejelzésekhez, amennyiben az előre jelzett értékek a betanítási adatok tartományán belül maradtak. A betanítási tartományon túli extrapoláció azonban kevésbé pontosnak bizonyult. Ez rávilágított arra, hogy milyen fontos, hogy a MI előrejelzéseit a betanítási adatkészlet határain belül tartsuk, ami számos MI-alapú osztályozási modell, köztük a neurális hálózatok, jól ismert korlátozása.

A 4. ábra már egy korai kísérletet mutat a tanulóadatkészlet illesztésére, a t5 csapágy rezgéseire összpontosítva. A modellt 12 bemeneti és 2 kimeneti jellel (vízszintes és axiális rezgéshez) képeztük ki, 0,15-ös statikus büntető együtthatót alkalmazva. Bár a modell meglehetősen jól illeszkedett a tanulóadatokhoz, a szűrési és verifikációs görbék kissé eltértek, és az oszcillációk eltértek a validációs adatoktól.

A paraméterek finomítása után sokkal jobb illeszkedést értünk el 30 bemeneti és 2 kimeneti jel felhasználásával, 0,15-ös legközelebbi szomszéd büntetőegyütthatóval és normalizált statisztikai modellel (lásd 5. ábra). Ez a modell kiváló egyezést mutatott mind a szűrési, mind az ellenőrző adathalmazokkal, rögzítve mind az amplitúdó növekedését, mind a csökkentett teljesítmény mellett megfigyelt oszcillációkat. Ezzel a modellel magabiztosan tudtunk előre lépni befejezve a betanítási fázist, és elkezdhattuk alkalmazni a MI-modellünket a prediktív elemzéshez.

5. ábra. A modell jó illeszkedését 30 bemenettel és 2 kimenettel érték el 0,15 értékű legközelebbi szomszéd büntetőegyüttható alkalmazásával.

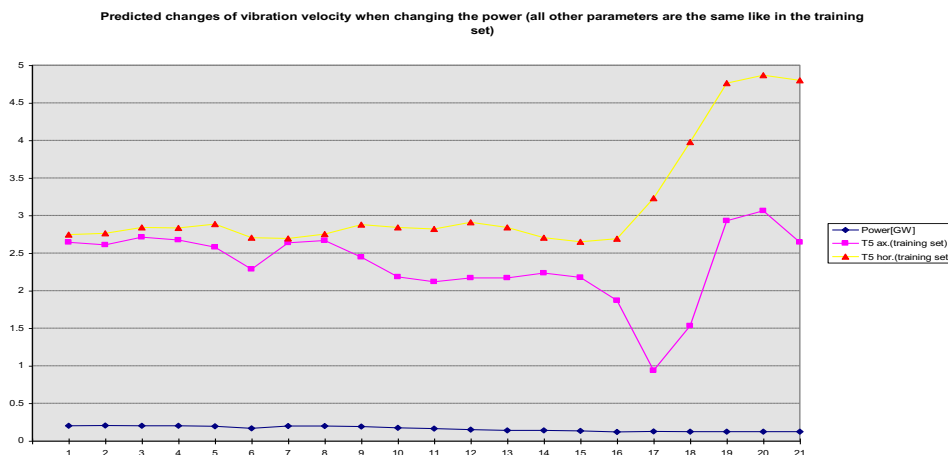


Az adott eset elemzése: Predikció

Miután elértük a modellel való jó illeszkedést, áttértünk a predikciós fázisra. A cél az volt, hogy szimuláljuk, hogyan viselkedne a rendszer bizonyos paraméterek módosítása esetén, ami lehetővé tenné számunkra a túlzott rezgés problémájának lehetséges megoldásainak feltárását.

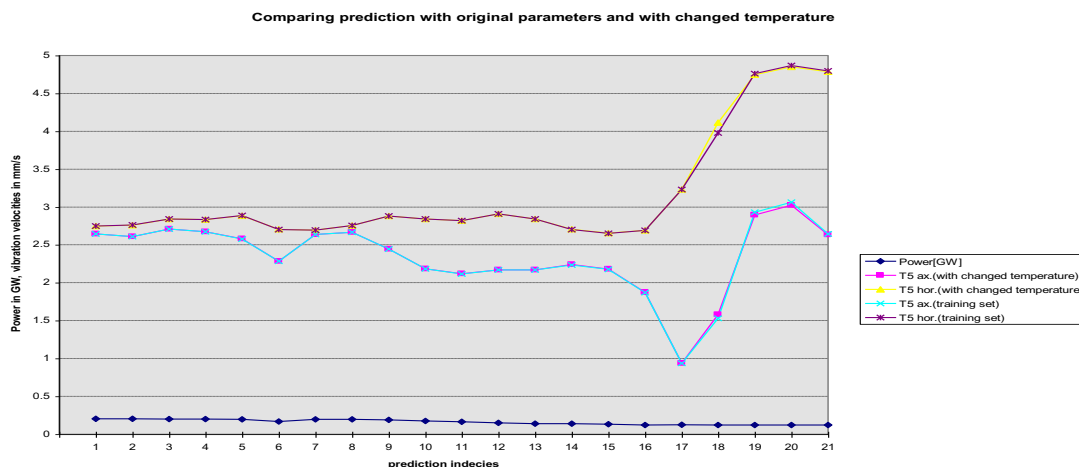
Az első szimulációnk során a teljesítményt 100%-ról 50%-ra csökkentettük, ahogy az a 6. ábrán látható. Ez tükrözte azokat az üzemi körülményeket, amelyek között a t5 csapágy túlzott rezgése jellemzően előfordult. A betanított MI-modellel szerint a túlzott rezgés akkor jelentkezett, amikor a teljesítmény elérte az 50%-ot, ami egyezett a tényleges adatokkal.

6. ábra. A rezgési sebességek változásának előrejelzése különböző teljesítményszintek esetén eredeti adatok felhasználásával



Miután ezt az alapértéket megállapítottuk, elkezdtük szisztematikusan változtatni a bemeneti paramétereket, hogy meghatározzuk azok hatását a rezgésre. Az egyik hipotézis az volt, hogy a t5 csapágy axiális rezgése összefüggésben állhat a kisnyomású turbinaház megnyúlásával. Technikai szempontból ez logikus volt, mivel a turbina megnyúlásának változásai befolyásolhatják a csapágy részét. Amikor azonban a megnyúlás csökkenését szimuláltuk, a t5 csapágy rezgésében nem figyeltünk meg szignifikáns növekedését, amint az a 7. ábrán is látható. Mind a vízszintes, mind az axiális rezgések görbéi majdnem megegyeztek az eredeti adathalmazzal, ami arra engedett következtetni, hogy a megnyúlás nem a túlzott rezgéskiváltó oka.

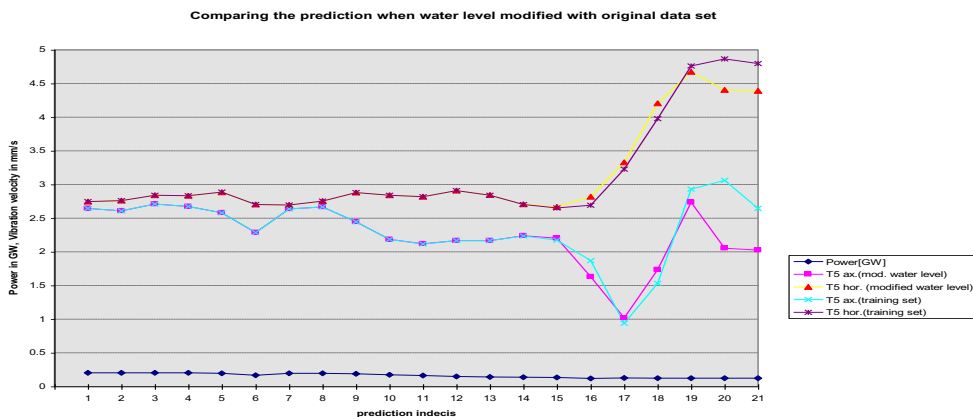
7. ábra. Az eredeti adatok és a módosított hőmérsékleti adatok felhasználásával kapott előrejelzések összehasonlítása.



Miután számos paramétert korlátozott sikerrel teszteltünk, a legígéretesebb eredményeket a kondenzátor vízszintjének változtatásával érték el. Eredetileg senki nem gondolt arra, hogy ez a paraméter közvetlenül összefügghetne a t5 csapágó túlzott rezgésével, mivel a kondenzátornak nincs közvetlen mechanikai kapcsolata a turbína tengelyével. Mivel azonban az összes bemeneti paraméter változtatható volt az AI-modellen belül, úgy döntöttünk, hogy ezt a paramétert is variáljuk, ezt a hipotézist is teszteljük.

Az eredmények meglepőek voltak. A kondenzátorban egy bizonyos vízszintnél (amely egyébként megfelelt az erőmű leggyakoribb üzemi körülményeinek) megfigyeltük a t5 csapágó túlzott rezgését, amint az a 8. ábrán látható. A vízszint emelésével vagy csökkentésével az AI-modell a rezgés jelentős csökkenését jósolta, így az a nemzeti szabványoknak megfelelően elfogadható határértékeken belül maradt. Bár a csökkenés nem volt hatalmas, elegendő volt ahhoz, hogy a rezgést a megengedett szintre rögzítse.

8. ábra. Összehasonlítás az eredeti adatok és a kondenzvíz megváltozott vízszintje alapján



Ez a váratlan felfedezés kulcsfontosságú információval szolgált: a kondenzátorban lévő vízszint befolyásolta a rendszer rezonanciáját. A vízszint változtatásával mind a kondenzátor sajátfrekvenciája változik, mind a turbina tartószerkezetének teljes tömege is megváltozott, ami viszont befolyásolta a rezonanciaszorongásokat. Ez a viselkedés szorosan hasonlított a rezonancia klasszikus esetére, ahol egyetlen paraméter – jelen esetben a vízszint – módosítása mérsékelheti a nem kívánt rezgéseket.

Fizikai magyarázat a mesterséges intelligencia eredményére

A MI-elemzés eredményei rezonanciajelenségre mutattak rá a kondenzátor és a turbinacsapágy-rendszer között. Konkrétan, a kondenzátorban bizonyos vízszinteknél a teljes tartószerkezet tömege megváltozik, ami viszont megváltoztatja a rendszer természetes frekvenciáit. Amikor a kondenzátor sajátfrekvenciája megegyezik a turbinatengely forgási frekvenciájával, a rendszer rezonanciába kerül, ami a t5 csapágyban megfigyelt túlzott rezgéshez vezet.

A vízszint emelésével vagy csökkentésével a teljes tömegeloszlás megváltozik, így a rezonancia eltolódik a problémás frekvenciától. Ez magyarázza, hogy a vízszint beállítása miért segített csökkenteni a rezgési amplitúdót. Mielőtt a MI-modell ezt azonosította volna, a kondenzátor vízszintje és a turbinacsapágy rezgése közötti kapcsolatot nem vették figyelembe, mivel a kondenzátor nem része a turbinagenerátor forgó rendszernek.

A MI-modell azonban „nem tudja” ezt, csak „vakon”, mindenre figyelve összefüggéseket keres betanításakor. Ez új perspektívát kínál arra, hogy a látszólag egymással nem összefüggő paraméterek között is összefüggésekre leljünk, amelyek befolyásolhatják a turbina viselkedését.

Ez a MI által vezérelt felfedezés jól szemlélteti a gépi tanulás értékét az ipari alkalmazásokban, ahol az összetett rendszerek számos egymástól függő változóval rendelkeznek. Ebben az esetben a MI-modellünk segített feltárni egy rejtett kapcsolatot, amelyet a hagyományos diagnosztikai módszerekkel önmagában nehéz lett volna kimutatni.

Következtetések

Ez a tanulmány bemutatja a MI lehetőségeit az összetett, régóta fennálló ipari problémák megoldásában. Azáltal, hogy mesterséges intelligenciát alkalmaztunk egy erőműrendszer többváltozós dinamikájának modellezésére, képesek voltunk azonosítani egy turbinacsapágy túlzott rezgésének kiváltó okát, amelyet hiába próbáltak évekig a hagyományos diagnosztikai módszerekkel feltárni.

Az MI sikeresen megtalálta, hogy a kondenzátor sajátfrekvenciája és a turbinatengely forgási frekvenciája közötti rezonancia felelős a rezgésért. A kondenzátorban lévő vízszint beállítása egyszerű, mégis hatékony megoldást kínált a rezonanciafrekvencia eltolásával, így a rezgési amplitúdót elfogadható határokon belülre csökkentve. Ez a felfedezés jól mutatja, hogyan képes a MI feltárni a komplex rendszereken belüli rejtett összefüggéseket, amelyeket a hagyományos megközelítések gyakran figyelmen kívül hagynak. Véleményünk szerint ez a MI-modellek igazi előnye, hogy olyan, a háttérben megbúvó összefüggésekre is fényt tud deríteni, amelyek a berendezés fő csapásának irányába nem esnek bele, nem hívják fel magukra a figyelmet. Ugyanakkor hangsúlyozni szeretnénk, hogy a MI nem gondolkozik, és nem fedez fel új fizikai jelenségeket, csak összefüggéseket valószínűsít. Hiba lenne érthető fizikai magyarázat nélkül elfogadni következtetéseit! Esetünkben, egy olyan kapcsolatra irányította a figyelmet, ami nem volt triviális. De a jelenségnek sikerült rögtön fizikai magyarázatot is adni, ami egyértelműen elfogadhatóvá tette a modellt. Véleményünk szerint nem szabad egy MI-modell predikcióját elfogadni akkor, ha nem lehet értelmes magyarázatot adni az általa feltárt összefüggésekre.

Továbbá a modell sikere rávilágít a változók különböző kombinációival való kísérletezés fontosságára, még azokkal is, amelyek első pillantásra összefüggéstelennek tűnhetnek. Azt is megmutattuk, hogy a betanítás és a validáció milyen fontos az MI alkalmazásában. A modern számítási teljesítménynek köszönhetően az ilyen szimulációk egyre inkább elérhetőek, és az ipari kihívások széles skálájának kezelésére használhatók. Úgy véljük, hogy hasonló MI-alapú modellezési megközelítések alkalmazhatók más, az ipari környezetben régóta fennálló problémákra is.

Köszönetnyilvánítás

Ebben a munkában egy vásárolt AiNet szoftvert használtunk. A problémát J. Vasko vetette fel és részben tesztelte is a diplomamunkájában [4].

[4] Vasko, J. (1998):
Diplomamunka.
Budapest: Budapesti
Műszaki Egyetem.



Dunaújváros környezeti állapota és települési környezetvédelmi programja

Összefoglalás: A helyi önkormányzatok környezetvédelmi feladatait a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény IV. fejezete tartalmazza, melyek között szerepel a települési környezetvédelmi program elkészítése is. A települési környezetvédelmi programot az önkormányzat közgyűlése fogadja el, és az önkormányzat a szomszédos és az érintett önkormányzatoknak tájékoztatásul, az illetékes környezetvédelmi igazgatási szervnek pedig véleményezésre megküldi.

A környezetvédelmi program elkészítésével a települési önkormányzat a környezetvédelmi törvényben meghatározott alábbi feladatait is elősegítheti:

- együttműködik a környezetvédelmi feladatot ellátó egyéb hatóságokkal, más önkormányzatokkal, egyesületekkel;
- elemzi, értékeli a környezet állapotát illetékességi területén, és arról szükség szerint, de legalább évente egyszer tájékoztatja a lakosságot;
- a fejlesztési feladatok során érvényesíti a környezetvédelem követelményeit, elősegíti a környezeti állapot javítását.

2025-ben elkészült, és az önkormányzat által elfogadásra került a 2025–2030. időszakra szóló települési környezetvédelmi program, melynek főbb fejezeteit jelen dolgozatban mutatom be a város környezeti állapotának rövid elemzésével egyidejűleg.

Kulcsszavak: Dunaújváros, környezeti állapot, települési környezetvédelmi program.

Abstract: The environmental responsibilities of local governments in Hungary are defined in Chapter IV of Act LIII of 1995 on the General Rules of Environmental Protection. These responsibilities include the preparation of a Municipal Environmental Protection Programme. The programme is adopted by the municipal assembly and is submitted for information to neighbouring and affected municipalities, while the competent environmental authority is invited to provide its professional opinion.

* Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet, Gépészeti és Energetikai Tanszék;

Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatala

Email: petrovi@uniduna.hu

ORCID: 0009-0004-0523-3118

The preparation of a Municipal Environmental Protection Programme also supports the fulfilment of several statutory environmental obligations of local governments as defined by environmental legislation, including:

- cooperation with environmental authorities, other municipalities, and civil organizations involved in environmental protection activities;
- analysis and assessment of the environmental status within the municipality's jurisdiction, as well as informing the public about environmental conditions, when necessary, but at least once a year;
- integration of environmental considerations into development activities and promotion of measures aimed at improving environmental quality.

In 2025, the Municipal Environmental Protection Programme for the period 2025–2030 was completed and adopted by the local government. This paper presents the main chapters of the programme together with a concise assessment of the environmental status of the City of Dunaújváros.

Keywords: Dunaújváros, environmental status, Municipal Environmental Protection Programme, local environmental governance.

Bevezetés

A környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény írja elő a települési környezetvédelmi program elkészítését az önkormányzatok számára. A törvény egyben a program készítésével és tartalmával kapcsolatos követelményekről is rendelkezik.

Dunaújváros 1998. óta rendelkezik az önkormányzat közgyűlése által elfogadott települési környezetvédelmi programmal, a jelenleg elkészült és Dunaújváros Megyei Jogú Város Önkormányzata Közgyűlése 69/2025. (II. 13.) határozatával elfogadott, 2025–2030-ig érvényes program sorrendben az ötödik. A program a környezetvédelmi törvény előírásainak betartásával készült. A környezeti állapotelemzés a rendelkezésre álló adatok és információk függvényében vizsgálja az egyes környezeti elemek:

- állapotát,
- a környezeti problémák kiváltó okait, hatótényezőit,
- a környezeti elemeket, ökológiai rendszereket érő szennyezéseket, terheléseket, igénybevételeket,
- a környezetszennyező folyamatok közvetlen és tovaggyűrűző hatásait, azok súlyát, végül
- a probléma megoldására eddig tett intézkedéseket (környezetvédelmi fejlesztések, szabályozások, akciók) és ezek hatását.

A kitűzött célok összhangban vannak a vonatkozó jogszabályok, az országos, regionális és városi terület-, illetve településfejlesztési koncepciókkal és területfejlesztési tervekkel, és segítik Dunaújváros Megyei Jogú Város 2021–2027. évekre szóló Fenntartható Városfejlesztési Stratégiája céljainak elérését [1, 2, 3].

A környezet állapota

Az utóbbi több mint három évtizedben, Dunaújvárosban a környezet állapota összhangban az országos folyamatokkal érezhetően javult [4]. A városban és térségében még mindig jelentős az ipar szerepe, de az ipar környezetterhelése érezhetően csökkent [5].

LEVEGŐMINŐSÉG

A 2024. évben Dunaújvárosban gyakorlatilag megszűnt a vas- és acélgyártás, valamint a kokszyártás is. A rendelkezésre álló mérési adatok alapján a város levegőminősége jelentősen javult [5]. A levegő minősége az összesített légszennyezettségi index alapján az elmúlt 6 évben (Dunaújváros 2019–2024-ig IV. települési környezetvédelmi program végrehajtásának időszakában) jónak minősült, ami azt jelenti, hogy még az egészségügyi határérték szempontjából legmagasabb koncentrációban jelen levő szennyező komponens átlagos koncentrációja sem haladta meg az éves egészségügyi határérték 80%-át [4]. Az adatok hosszabb távon néhány komponens esetében a levegőminőség kismértékű és lassú javulását mutatják.

A javulásra utal, hogy:

- az összesített levegőminőségi index 2012 óta „jó”, és a korábbi évektől eltérően „megfelelő” érték már nem fordult elő,
- az elmúlt 6 évben olyan év is volt, amelyben a nitrogén-dioxid koncentrációjának a manuális állomások által mért átlagos éves értékei nem érték el az egészségügyi határérték 40%-át, vagyis a három manuális mérőállomás adatainak átlaga alapján a nitrogén-dioxid légszennyezettségi index „kiváló” volt [5],

[1] LARINEA Független Regionális Energia Ügynökség Nonprofit Kft. Göd (2017): *Dunaújváros Fenntartható Energia és Klíma Akcióterve*.

[2] *Dunaújváros Fenntartható Városi Mobilitási Terve (SUMP)*. Dunaújváros: Mobilissimus Kft. – Városkutatás Kft., 2017.

[3] ICG Ex Ante Tanácsadó Iroda (2014): *Dunaújváros Megyei Jogú Város Integrált Településfejlesztési Stratégiája*.

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): *„Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.”* Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

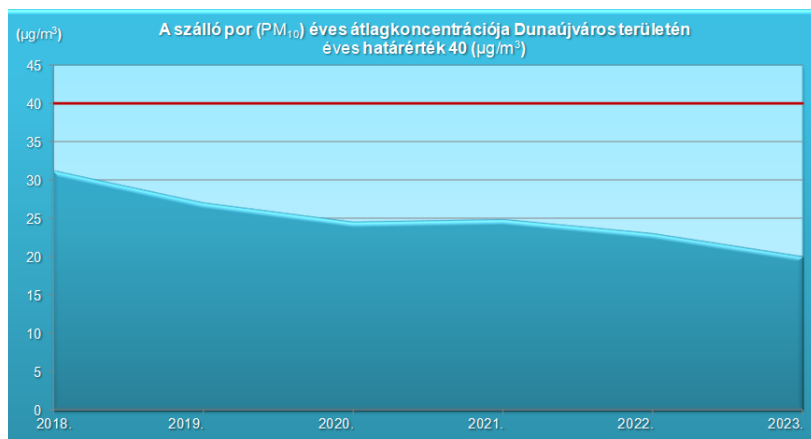
[4] Barta Judit–Éri Vilma–Petrovickijné Angerer Ildikó–Tóth László–Szántó Krisztina–Tóth Tamás (2019): *Dunaújváros Megyei Jogú Város Települési Környezetvédelmi Programja 2009-2024*. Dunaújváros: TEXT Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.*” Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

- ritkultak a rövidebb időszakokra vonatkozó határérték-túllépések: az ózon esetében az elmúlt években nem volt határérték-túllépés, miközben a kén-dioxid és a szén-monoxid esetében a mért értékek továbbra is az 1 órás és a 24 órás határérték alatt maradtak [5],
- a 2019-ben (megfelelő – 3) és 2020-ban (szennyezett – 4) bekövetkezett átmeneti növekedést követően 2021-ben (megfelelő – 3) és 2022-ben ismét csökkent (jó – 2) a környezeti levegő benz(a)pirén koncentrációja [5].
- 2021. február vége óta nem volt szükség füstködriadó miatti lakossági tájékoztatás alkalmazására [5].

A javuló tendencia vonatkozik a szálló porra és a nitrogén-oxidokra is. A szálló por és a nitrogén-dioxid koncentrációja is hosszabb távon csökkenő tendenciát mutat [5]. A 10 és 2,5 mikrométer alatti szemcseméretű szálló por óras határérték fölötti, illetve magasabb értékei egészségügyi kockázatot jelentenek. Az 1. ábra a PM_{10} szálló por éves átlagkoncentrációit mutatja be 2018–2023. között [5].

1. ábra. A PM_{10} szálló por éves átlagkoncentrációi 2018–2023-ig



Forrás: Saját készítésű ábra.

Dunaújváros ipara korábban jellemzően a vas- és acélgyártásra és az azt kiszolgáló tevékenységekre épült. A technológiák jellegéből adódóan jelentős volt a nitrogén-oxidok és szilárd (nem toxikus) por, a koksizólóból pedig a benzol- és por-kibocsátás [5].

KÖRNYEZETI ZAJ

Dunaújvárosban a környezeti zaj nem elsődleges környezetvédelmi probléma, annak ellenére, hogy a lakosság több mint 80%-a panaszkodik valamilyen zajra, és a város több pontján is mértek magas zajszenyezést [4]. A legfontosabb zajforrás a közúti közlekedés, az önkormányzathoz eljutó lakossági zajpanaszok nagy részét azonban a város közterületein rendezett alkalmi szabadtéri rendezvények, koncertek, fesztiválok és a szórakozóhelyek okozzák. A polgármesteri hivatal környezetvédelmi szakemberei a városban működő szolgáltató egységek, illetve különböző szabadtéri rendezvények üzemeltetői részére zajkibocsátási határértéket állapítanak meg, és lakossági panaszok esetén ellenőrzik a határértékek betartását [5].

A közlekedési eredetű zaj csökkentésére az önkormányzatnak ugyanazok az eszközei, mint a közlekedési eredetű légszennyezés mérséklésére: a gépjárműforgalom szabályozása, csillapítása, a nehéz tehergépjárművek behajtásának korlátozása, a sebességsökkentés, az utak menti fásítás, amely nemcsak megköti a port, hanem emellett a zajterhelést is enyhíti [2]. A levegőtisztasági intézkedési tervben foglaltak megvalósítása ezért zajvédelmi szempontból is kedvező hatású [4, 5].

VÍZMINŐSÉG

A Duna ökológiai vízminősége az ötfokozatú (kiváló, jó, mérsékelt, gyenge, rossz) skála szerint 'mérsékelt', azaz közepes minőségű. A víz kémiai állapota a 2-fokozatú minősítési rendszer szerint 'jó', tehát minden, az EU szinten rögzített veszélyes-anyag listán szereplő anyag tekintetében megfelel az ugyancsak EU szinten meghatározott határértékeknek. A Dunaújváros és a környék népessége számára különösen fontos Szalki-szigeti szabadstrand 2010 óta ismét kijelölt fürdőhely [4]. A természetes fürdővíz a 2019–2022. éves adatsorok alapján, a 2023. évi fürdőzési szezonra a „kiváló” osztályba került besorolásra a számításoknál figyelembe vett laboratóriumi eredmények alapján [5].

[2] *Dunaújváros Fenntartható Városi Mobilitási Terve (SUMP)*. Dunaújváros: Mobilissimus Kft.–Városkutatás Kft., 2017.

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról*.” Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): *„Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.”* Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

A patakok vize szerves és szervesetlen anyagokkal időnként erősen szennyezett, ezért egyrészt szennyezik a Dunát, másrészt jelen állapotukban nem jelentenek természeti értéket a város számára. A patakok mederrendezésén és tisztításán túl szükség lenne a lakossági illegális szennyvízelhelyezések megszüntetésére [4]. A Dunaújvárosban lévő patakok és a Szabadstrand vízének kémiai minőségét a Polgármesteri Hivatal környezetvédelmi szakemberei a lehetőségeihez mérten, önként vállalt feladatként vizsgálják. Az így kapott adatok csupán tájékoztató jellegűek, mivel a hivatal nem akkreditált laboratórium. A 2022. évi mérések szerint a Szabadstrand vize minősült a legjobbnak, míg a három patak az előző évekhez hasonlóan „külső eredetű szerves és szervesetlen anyagokkal, illetve szennyvizekkel egyaránt terheltek voltak. A patakok vizei zavarosak, a színük változó, vízvirágzás is előfordulhat. Ez a vízminőség kedvezőtlenül hat a magasabb rendű vízi növényekre és a soksejtű állatokra [5].

Dunaújváros a vízellátásához szükséges vízmennyiséget részben a Szalki-szigeten levő csápos kutakból, részben DRV Zrt. által üzemeltetett regionális rendszerből kapja. A Szalki-szigeti ivóvízbázis rendelkezik védőterületi határozattal. Az ivóvízbázist diffúz szennyezés nem veszélyezteti. A város mintegy 15 ezer m³/nap ivóvízigényét nagyrészt a Szalki-szigeti vízkivételi műből biztosítják, ahol az 5 db víztermelő csápos kút a pleisztocén korú homokos, kavicsos összetételű csapolt víz. A víz iránti mennyiségi igények kielégítése megoldott. A korábbi, a jelenleginél nagyobb vízigények idején kiépült a várost Ercsivel összekötő vízvezeték, amelyen keresztül jelenleg a város vízigényének közel 10%-át elégítik ki [4]. Ez a vízvezeték azonban a dunaújvárosi vízbázis esetleges szennyezése esetén a város teljes vízigényének biztosítására is alkalmas.

A város ivóvízzel való ellátottsága, az ellátás biztonsága és az ivóvíz-minősége egészében jónak mondható. Dunaújváros ivóvíz-minőségi vizsgálati eredményeit az éves vízvizsgálati tervnek megfelelően végzett vizsgálatokról készült jegyzőkönyvek összesítése alapján határozzák meg. Az évente elvégzett 125–150 ivóvíz-minőségi vizsgálat során 3–21 alkalommal találtak minőségi problémát. A kifogásolható minőségű vízmintavétel esetén a szükséges intézkedések minden esetben megtörténnek. A kifogásolható vízminták a még kezeletlen vízből voltak [5].

Az ivóvízhálózatba bekapcsolt lakások aránya gyakorlatilag 100%. A statisztikák azt jelzik, hogy a közüzemi ivóvízvezeték hossza Dunaújvárosban a hosszú évek óta stagnáló 109,5 km-ről 2023. évben 125,8 km-re bővült. Az ivóvízhálózatba kapcsolt lakások száma 2023-ban nagyon kis mértékben, de szintén emelkedett.

Az összes és a háztartásoknak szolgáltatott ivóvíz mennyiségében jelentős növekedés volt tapasztalható 2023-ban a korábbi évekhez viszonyítva, ami lényegében az ivóvízvezeték bővülésének köszönhető.

A város szennyvízcsatorna-hálózata a 2023. évi KSH adatok szerint 84,9 km hosszú, ebből 76 km az egyesített, 96 km a szétválasztott rendszerű. A szennyvízcsatorna-hálózat 2021. évet követően változott az év folyamán 15,5 km újonnan fektetett közüzemi szennyvízgyűjtő-hálózat (közcsatornahálózat) hosszával. 2023-ra a közüzemi hálózatba kapcsolt lakások száma 22839 db-ra növekedett, ez a szám 2018-ban 22325 db volt [5].

A csatornázottság és a kapcsolódó létesítmények tekintetében Dunaújváros kedvező helyzetben van. Az elmúlt 10 évben a közműöllő tovább zárult. 2021-ben például nagyszabású csatornahálózat fejlesztési projekt valósult meg a KE-HOP-2.2.2-15-2015-00044 „Észak- és Közép-Dunántúli szennyvízelvezetési és -kezelési fejlesztés 2. (ÉKDU2)” pályázat során [6].

Dunaújváros még 2001-ben megépítette szennyvíztisztító telepét, melynek feladata – a vízjogi engedélyben foglaltak szerinti mennyiségű, és minőségű – a városi csatornahálózat által összegyűjtött kommunális szennyvizek és a beszállított, nem közművel összegyűjtött háztartási szennyvizek, valamint a csapadékos időszakban lefolyó csapadékvíz előírt vízminőségi határértékre történő megtisztítása mechanikai előkezeléssel és biológiai tisztítással, hogy az a befogadó természetes vizek (Duna) számára elfogadható legyen [4].

A városi szennyvíztisztító telep kapacitása 75000 LE, mintegy 15000 m³/nap, míg a korábban érkező átlagos szennyvízmennyiség csupán 8052 m³/nap volt. 2021. évben a Kulcs, Rácalmás és Dunaújváros településeket érintő csatornázási beruházás megvalósult, így az újonnan bekapcsolt területekről érkező szennyvizeket is itt tisztítják. 2002. óta a teljes összegyűjtött szennyvízmennyiséget – a szippantott szennyvízzel együtt – III. tisztítási fokozaton is tisztítják. A teljeskörűen megvalósuló III. fokozatú tisztításnak köszönhetően a telepről kifolyó, a sodorvonalba vezetett tisztított szennyvíz az előírt határértékeknek megfelel. A kibocsátott szennyvíz által okozott környezeti terhelés a korábbi időszakhoz képest jelentősen mérséklődött. A telephelyen kiépített fertőtlenítő medence helyezkedik el, de alkalmazására a próbaüzem óta nem volt szükség [4].

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): „Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.” Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[6] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László (2024): „Környezetvédelmi Nyilatkozat a 2023. évről. Dunaújváros: Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata, készült: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

ZÖLDFELÜLETEK, HELYI TERMÉSZETVÉDELEM

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): *„Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.”* Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[6] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László (2024): *„Környezetvédelmi Nyilatkozat a 2023. évről.* Dunaújváros: Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata, készült: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

A Dunaújvárosban az egy lakosra jutó több mint 140 m² zöldfelület hazai viszonylatban a legmagasabbak közé tartozik. A zöldterületek megőrzése és fejlesztése állandó feladatot jelent. A zöldterületek szépítését, gondozását az önkormányzat által évente megrendezett virágosítási verseny is segíti [4].

A helyi jelentőségű természeti értékek védelméről szóló korábban, 2024. december 17. előtt hatályos 69/2004. (XII.17.) önkormányzati rendelet értelmében helyi védettséget kapott a Baracsi úti arborétum (1,57 ha), a Barátság városrész alatti, a Nemzeti Ökológiai Hálózathoz kapcsolódó gyurgyalag-fészkelőhely (8,33 ha), továbbá több értékes faegyed és fásor [4]. A fenti rendeletet és a hozzá kapcsolódó természetvédelmi kezelési tervet az önkormányzat 2024-ben felülvizsgálta és új rendeletet alkotott. Jelenleg Dunaújváros Megyei Jogú Város Önkormányzata Közgyűlésének helyi jelentőségű természetvédelmi területekről és természeti emlékekről szóló 27/2024. (XII. 16.) önkormányzati rendelete hatályos. A védetté nyilvánítás célja az volt, hogy megőrzésre kerüljenek a település területén található, egyedi értéket képviselő idős, illetve jelentős esztétikai értéket képviselő fák, valamint a Duna mellett húzódó löszpart falában kialakult, fokozottan védett gyurgyalag fészkelő telep és a Baracsi úti Arborétum területe, ezzel biztosítva a meglévő természetvédelmi, tájképi jelentőségű, ritka, illetve veszélyeztetett egyedek, életközösségek és területek, természetközeli kultúrtörténeti emlékek, növénytelepítések fennmaradását. Dunaújváros helyi természetvédelmi területei és természeti emlékei a 2. ábrán láthatók [5, 6].

2. ábra. Dunaújváros helyi természetvédelmi területei és természeti emlékei



Forrás: Saját készítésű fotó.

A Baracsi úti Arborétum Természetvédelmi Területet a Dunaújvárosi Értéktár Bizottság (TÉB) a 2/2020. (II. 26.) határozatával felvette Dunaújváros Települési Értéktárába [5, 6].

A Baracsi úti Arborétum létesítésének célja a kedvező mikroklímájú élőhelyen olyan élő faanyagterület kialakítása, ahol bemutatná a hazánkban erdészeti és parképítészeti céllal telepített fenyő és lombhullató fafélék törzsalakjai és nemesített változatai. Ennek értelmében a mai területen több mint 60 fafajt és változatot lehet megismerni. A legutóbbi évek (2023–2024. évek) rendkívül forró és száraz nyári időjárása és az éghajlatváltozás a növénygyűjteményben azonban jelentős változást eredményezett. A tűlevelű fák legnagyobb része a gondos kezelés ellenére kiszáradt, kipusztult, melyeket más, az éghajlatváltozást jobban eltűrő fajokra kellett lecserélni [5, 6].

HULLADÉKGAZDÁLKODÁS

A hulladékgazdálkodás terén jelentős változások történtek. 2023. július 1-je után a MOL MOHU Hulladékgazdálkodási Zrt. koncesszióban vette át a hulladékgazdálkodási feladatokat. A MOHU MOL Hulladékgazdálkodási Zrt. stratégiai célja, hogy hatékonyan hozzájáruljon Magyarország, illetve a régió körforgásos gazdaságának erősítéséhez. Az állami koncesszió nyerteseként feladata a hulladékgazdálkodás hazai egységesítése és fejlesztése. A MOHU erre a célra jött létre, és nyerte meg az állami koncessziót a hulladékgazdálkodás hazai egységesítésére és fejlesztésére. 2023. július 1-jét követően az eddigi megosztott önkormányzati és állami hulladékgazdálkodási közfeladatok helyett az előbbi megszűnésével egy centralizált hulladékgazdálkodási rendszer jött létre, melyben az állam hulladékgazdálkodási közfeladata a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási résztvevőként és a hulladékgazdálkodási intézményi résztvevőként terjed ki. Az állami hulladékgazdálkodási közfeladat gyakorlásának jogát az állam kizárólag egységesen, egy eljárásban, egy és ugyanazon koncesszor részére koncessziós szerződéssel 2023. július 1-jétől 35 évre átengedi [5].

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): „Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról.” Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[6] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László (2024): „Környezetvédelmi Nyilatkozat a 2023. évről. Dunaújváros: Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata, készült: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[1] LARINEA Független Regionális Energia Ügynökség Non-profit Kft. Göd (2017): *Dunaújváros Fenntartható Energia és Klíma Akcióterve*.

[2] *Dunaújváros Fenntartható Városi Mobilitási Terve (SUMP)*. Dunaújváros: Mobilissimus Kft.–Városkutatás Kft., 2017.

[3] ICG Ex Ante Tanácsadó Iroda (2014): *Dunaújváros Megyei Jogú Város Integrált Településfejlesztési Stratégiája*.

[4] 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 Nyomda.

[5] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina (2024): „*Tájékoztató Dunaújváros Megyei Jogú Város Környezeti Állapotáról*.” Dunaújváros: Dunaújváros MJV Önkormányzata–TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

[6] Petrovickijné Angerer Ildikó–Szántó Krisztina–Tóth László (2024): „*Környezetvédelmi Nyilatkozat a 2023. évről*.” Dunaújváros: Dunaújváros Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal” Kiadja: Dunaújváros MJV Önkormányzata, készült: TEXT Nyomdaipari, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

Települési környezetvédelmi program 2025–2030

A hosszú távú célokhoz kapcsolódóan a 2025–2030. évi környezetvédelmi program fő céljai a következők:

I. A környezetminőség javítása, elérhető, egészséges városi környezet kialakítása.

Az ehhez kapcsolódó alcélok [5, 6]:

I/1. A levegőminőség javítása.

I/2. A vizek szennyezettségének a csökkentése.

I/3. A zajterhelés csökkentése.

I/4. Talajvédelem.

I/5. A zöldterületek védelme, fejlesztése és karbantartása, biodiverzitás, megőrzése, fejlesztése.

I/6. Az allergén növények visszaszorítása.

I/7. A település tisztaságának javítása.

I/8. A települési környezet fejlesztése.

I/9. A környezetbiztonság javítása.

II. A természeti erőforrásokkal való fenntartható gazdálkodás. A fő célhoz kapcsolódó alcélok [1, 2, 3, 4, 5]:

II/1. Fenntartható energia-gazdálkodás, víz- és anyagtakarékosság, zöld beszerzés.

II/2. Fenntartható hulladékgazdálkodás, körforgásos gazdaság.

II/3. A közlekedés fenntarthatóságának javítása.

III. Hatékony környezetgazdálkodás, a környezeti tudatosság javítása, szemléletformálás.

III/1. A lakosság és az érintettek folyamatos tájékoztatása a környezeti állapotról és a környezetgazdálkodás eredményeiről.

III/2. Szemléletformáló kampányok és rendezvények szervezése, kiadványok megjelentetése.

III/3. Az önkormányzati környezetvédelmi politika hatékonyabb és eredményesebb megvalósítása.

A települési környezetvédelmi program által kitűzött célállapotok

Az 1. táblázat a települési környezetvédelmi program által kitűzött célállapotokat tartalmazza.

1. táblázat. A települési környezetvédelmi program által kitűzött célállapotok

Célkitűzés	Mutató	Alapállapot (TKP IV. 2019–2024.)	Célállapot (2030)
1. A környezetminőség javítása, elérhető, egészséges városi környezet kialakítása, biodiverzitás növelése			
1.1. A levegőminőség javítása.	A PM ₁₀ koncentrációra vonatkozó 24 órás határérték túllépések száma.	16	<15
	Az nitrogén-dioxid órási határérték túllépések száma egy évben.	7	<6
1.2. A vizek szennyezettségének a csökkentése.	A csatornázott lakások aránya.	96,9 %	>97 %
1.3. A zajterhelés csökkentése.	---		
1.4. Talajvédelem.	---		
1.5. A zöldterületek védelme, fejlesztése és karbantartása.	A zöldterületek növekedése, biodiverzitás növekedése.	6 486 ezer m ²	≥6 486 ezer m ²
1.6. Az allergén növények visszaszorítása.	A parlagfű és más allergiakeltő gyomnövények csökkentésére irányuló intézkedések száma összesen.	–	<10 db/év
1.7. A település tisztaságának javítása.	Az elszórt szeméttel, jogellenesen elhagyott hulladékkal kapcsolatos esetek száma.	40	-10 %
1.8. A települési környezet fejlesztése.			
1.9. A környezet-biztonság javítása.	---		

Célkitűzés	Mutató	Alapállapot (TKP IV. 2019–2024.)	Célállapot (2030)
2. A természeti erőforrásokkal való fenntartható gazdálkodás, energiatakarékosság, energiahatékonyság, klímavédelem			
2.1. Fenntartható energia-gazdálkodás, víz- és anyag-takarékosság, zöld beszerzés.	Az energiahatékonysági fejlesztésekkel érintett önkormányzati épületek száma.	8 db	≥9 db
2.2. Fenntartható hulladék-gazdálkodás .	A házhoz menő szelektív hulladékgyűjtésből származó hulladék aránya.	5 %	8%
	Komposztálómű létesítése.		igen/nem
2.3. A közlekedés fenntarthatóságának javítása.	A kerékpárutak hossza.	11,5 km	>15 km
3. Hatékony környezetgazdálkodás, tájékoztatás, a környezeti tudatosság fejlesztése, szemléletformálás			
3.1. A lakosság és az érintettek folyamatos tájékoztatása a környezeti állapotról és a környezetgazdálkodás eredményeiről.	Az évenként megjelentetett Környezeti Állapot Tájékoztatók száma.	1	1
	Az önkormányzat honlapján, a környezetvédelemmel foglalkozó oldal friss információinak növelése.	6 db/év	≥8 db/év
3.2. Szemléletformáló kampányok és rendezvények szervezése, kiadványok megjelentetése.	A környezetvédelmi rendezvények száma évenként.	5	≥6
3.3. Az önkormányzati környezetvédelmi politika hatékonyabb és eredményesebb megvalósítása.	Az oktatási intézmények azon akcióinak, rendezvényeinek száma, amelyet az önkormányzat valamilyen formában (pl. eszközökkel, szakértők, előadók személyes közreműködésével) támogat.	≥2/év	≥3/év

A hidrogén alapú üzemanyagcellák gyenge pontjai

Összefoglalás: Az üzemanyagok közül a hidrogén a legígéretesebb a környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve. Az elméleti hatásfok is jónak mutatkozik. Vannak azonban az ilyen üzemanyagcellák elterjedésének kicsinynek tűnő, de tudományosan is megoldható nehézségei. A hidrogén-előállítás napjainkban is még nagyrészt fosszilis alapon történik, azaz így a CO₂ kibocsátás csökkentése maradéktalanul nem valósul meg. A hidrogén tárolása alacsony hőmérsékleten és nagy nyomáson történik. A legnagyobb gond azonban a katalizátorok, illetve elektródák megválasztása és a kellően tiszta hidrogéngáz használata. Az előbbi anyagok esetében nemesfém ötvözetet választhatunk annak érdekében, hogy a maximum 10 ppm koncentrációban jelen lévő CO-molekulák ne mérgezzék le a felületet. Ebben az összeállításban a lehetséges optimumok kiválasztásához szeretnék segítséget adni.

Kulcsszavak: H₂-adszorpció, CO, UPS, PROX, palladium membrán.

Abstract: Hydrogen offers the best energy carrier from environmental point of view. It is theoretically an efficient way to use hydrogen. There are some problems emerging which might be negligible which could be solved by scientific ways. Hydrogen is produced by fossil way and the reduction of CO₂ emission is not added. The storage of hydrogen needs a low temperature and high pressure. The greatest problem is how to choose the catalysts and electrode materials. Generally, they are noble metals and even working with clean hydrogen the CO concentration has to be kept as low as 10 ppm. Carbon monoxide on the noble metal surfaces has stronger bond than adsorbed hydrogen atoms, so it may poison the active catalysts surface. In the present paper we are going to support to find the optimal working conditions of fuel cells.

Keywords: H₂ adsorption, CO, UPS, PROX, palladium membrane.

** Dunaiújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet*

Email: kovacsimre@uniduna.hu

ORCID: 0000-0003-2014-678X

Bevezetés

A hidrogén a periódusos rendszer első eleme, a legkönnyebb gáz. Az oxidja pedig a víz, azaz a nagy feleslegben rendelkezésre álló folyadék. A vizet elbontva a hidrogén könnyen előállítható és újra oxidálva visszatértünk a kiindulási anyaghoz is. Ez a körforgás tehát szennyező anyagok nélkül oldja meg az energetikai problémákat. A tapasztalatok azonban nem támasztják alá ezt az ideálisnak tűnő megoldást. – Nem látunk a környezetünkben a belsőégésű motorokat kiszorító H_2 -nel működő gépjárműveket. A probléma azonban nem észlelhető első ránézésre, mert az okok az alkalmanként csak kicsiny koncentrációban jelenlévő CO-ra vezethetők vissza.

Jelen munka keretében megvizsgáltuk a hidrogén és a szénmonoxid kölcsönhatását palládium egykristály felületén.

Eszközök és módszerek ismertetése

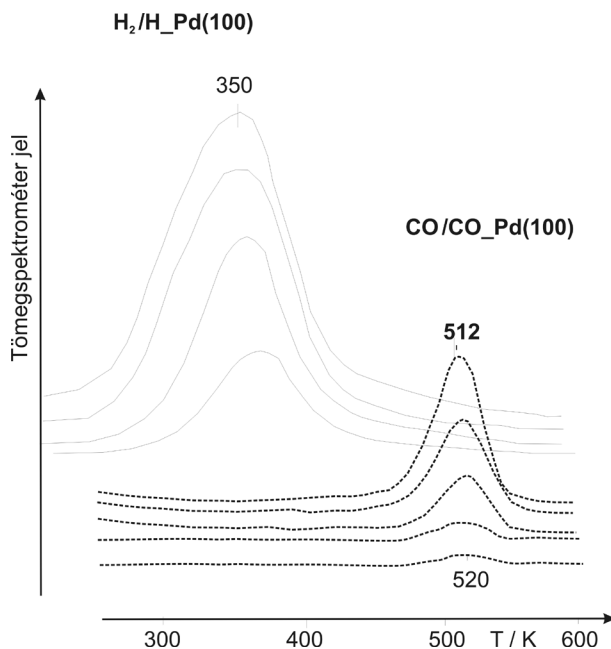
A kísérleteinket rozsdamentes acélból készült ultravákuum készülékben végeztük, ahol a nyomás kisebb volt mint 10^{-9} mbar. A nagytisztaságú palládium kristályból – orientálás után – egy (100) indexű lapot vágtunk le. Ezt a későbbiekben Pd(100)-ként jelölt lapkát tantál és molibdén lapkákhoz ponthegeztettük. Ezen elrendezés lehetővé tette, a mintát 90 és 1200 K között változtathassuk a tisztítás és regenerálás érdekében. A hűtést cseppfolyós nitrogén, LN2 segítségével valósítottuk meg. A hőmérsékletet a minta oldalához pontgesztett termoelemmel mértük. A minta felületéről az esetleges szennyező elemeket argon ion-bombázással távolítottuk el. A felületi szennyező anyagok, illetve módosító reagensek jelenlétét, illetve a pontos mennyiségét Auger-elektron spektroszkópiával (AES) vagy röntgenfotonelektron spektroszkópiával (XPS) határoztuk meg. A későbbiekben a Leybold-gyártmányú szekunderelektron-energia analizátor segítségével még a felület kilépési munkájának változását és gerjesztett hélium gázzal (vákuum) ultraibolya foton elektron spektroszkópiai (UPS) méréseket is végeztünk. A vizsgálatban használt gázokat kapillárison át vezettük a minta felületére. A gázok tisztaságát, illetve a felületről távozó gázok összetételét VG200-as kvadrupólusos tömegspektrométerrel elemeztük.

Kísérleti eredmények és értelmezésük

TERMÍKUS DESZORPCIÓS MÉRÉSEK

Az 1. ábrán a felületre előzetesen adszorbeáltatott, kiválasztott mennyiségű, hidrogén gáz adszorpcióját követően a mintát a tömegspektrométer elé fordítva majd egyenletesen felfűtve kapott TDS-spektrumokat láthatjuk. A H_2 deszorpciója másodrendű kinetikát követ, azaz a felületi borítottsággal a deszorpciós csúcs hőmérséklete csökken. Ugyanezen ábrán tüntettük fel a CO-dal végzett kísérlet eredményét is. Jól látható, hogy ez a deszorpciós folyamat nem mutat eltolódást, elsőrendű kinetikát követ, és a mintegy 150–170 K-nel magasabb deszorpciós hőmérsékleten.

1. ábra. A Pd(100) felületről távozó hidrogén (bal oldalon) és szénmonoxid (jobb oldalon) termikus deszorpcióját mutatja

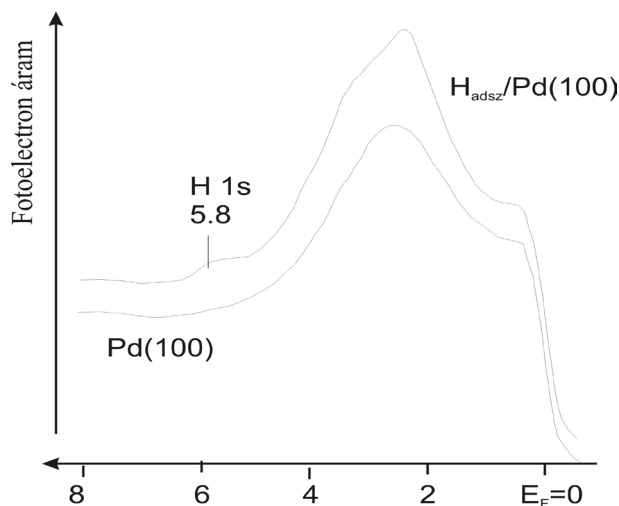


[1] Conrad, G. Ertl
–Latta, E. E. (1974):
Adsorption of hydro-
gen on palladium
Single crystal surfaces.
Surface Science, 41., pp.
435–480.

UPS MÉRÉSEK

A 2. ábrán a Pd(100) tiszta és a hidrogénnel borított felületéről kapott HeI-fotonokkal gerjesztett spektrumokat látjuk. Az energia skálát a Pd(100) felület ún. Fermi-szintjéhez igazítottuk. A 0.0 és 4.5 eV közötti csúcsok a palládium d-elektronpályáit képezik le. Az adszorbeált hidrogén hatására megjelenő kis csúcs a hidrogén elektronjának jelenlétét mutatja.

2. ábra. A Pd(100) felület és a hidrogénnel fedett felület HeI gerjesztéssel készített spektrumai.



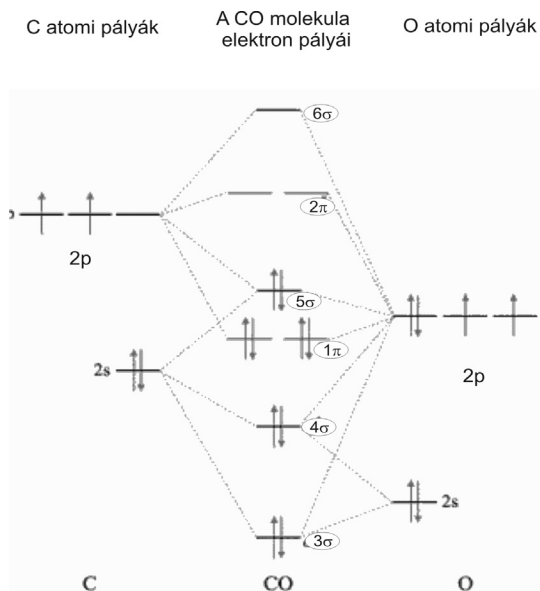
Diszkusszió

Az 1. és 2. ábrán bemutatott kísérleti eredmények megfelelnek a szakirodalomban található eredményeknek [1]. Mivel a témában a szénmonoxid szerepe kiemelkedő ezért az adszorpcióját külön tárgyaljuk.

A SZÉNMONOXID ÉS JELENLÉTE

A szénmonoxid molekuláról meg kell jegyeznünk, hogy a szén és oxigén atomok közötti kötés, hogyan jön létre. A 3. ábra a létrejövő molekulapályákat mutatja be [2].

3. ábra. A gázfázisú CO molekula elektronpályái

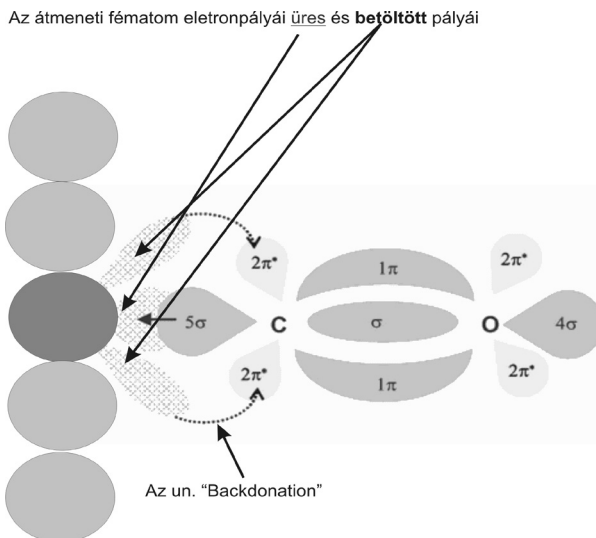


A 4. ábrán látható az elektronpályák térbeli helyzete. A fémek – jellemzően átmeneti fémek – d pályáin még a Pd esetén is (d^{10} -es konfiguráció) van olyan hely, ahova a CO molekula az 5σ pályájáról elektront tud küldeni a fém felé [2]. Ugyanakkor a fém a betöltött elektronpályáiról a $2\pi^*$ MO pályákra tud elektront küldeni. Ebből a kettős hatásból következik, hogy a létrejövő datív kötés egy erős kötés. A szén és oxigén közötti pályák kötésrendje a folyamat eredményeként változhat. Ezt a megkötött molekula felületi koncentrációja, geometriai elrendezés és a fém felület állapota is befolyásolja.

[2] Guzzi, L.–Margitfalvi, J.–Schay, Z (1988): A szénmonoxid katalitikus aktiválása. *A kémia újabb eredményei.* Budapest: Akadémiai.

[3] Guzzi, L.–Beck, A.–Frey, K. (2009): Role of promoting oxide morphology dictating the activity of Au/SiO₂ catalyst in CO oxidation. *Gold Bull*, 42., pp. 5–12.

4. ábra. A szénmonoxid molekula megkötődésének szemléltetése



A CO HATÁSÁNAK CSÖKKENTÉSI LEHETŐSÉGEI

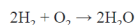
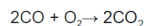
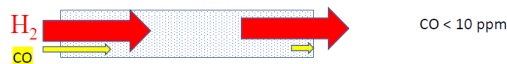
A tárgyalt felületi sajátságok vizsgálatából következik, hogy a CO erősebben kötődik a Pd-felülethez, mint az atomosan kötött hidrogén. Tehát ha jelen van a gázban akkor az üzemanyagcella normál működése közben felhalmozódhat az elektródákon és a felületi koncentrációja csak növekszik.

Mivel a hidrogéntároló berendezések általában olyan anyagból készülnek, ami átmeneti fém vagy ötvözetek minden egyes kinyitása „fellevegőzés” alkalmával CO-t tud a rendszerbe keverni a „falhatás következtében” CO eltávolítására is kell gondolni. Lehetőségek:

– A CO-t parciális oxidációval távolítsuk el [3].

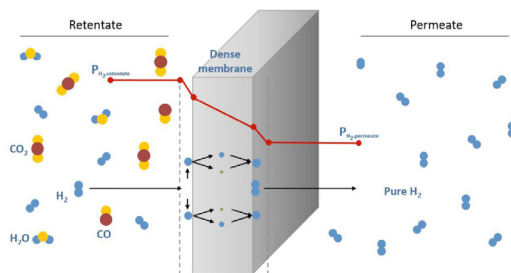
5. ábra. A CO parciális oxidációja a H₂ jelenlétében, katalizátorral.

PROX eljárás



- Használjunk membránt azaz olyan palládium-alapú fóliát, amin a hidrogén át tud menni, de az egyéb gázok így a CO nem [3, 4].
- Használjunk olyan ötvözetet, aminél a CO megkötődése jelentősen csökken, ilyen anyagok az ún. S-típusú fémek pl. Ag, Cu vagy Zn.

6. ábra. A hidrogén gáz tisztításának elemi folyamatai



Korábbi munkánk során megállapítottuk, hogy a felületre vitt Zn-atomok hatására a CO megkötődése jelentősen [5, 6] lecsökkent és szobahőmérséklet felett már elhagyta a felületet. Ez a megoldás csak az irányt helyeselte, de tartós alkalmazása nem lehetséges ui. a levegő hatására a Zn oxidálódott.

[3] Petriev, I. S.–Baryshev, M. G.–Voronin, K. A.–Lutsenko, I. S.–Pushankina, P. D.–Kopytov, G. F. (2020): Gas transmission properties of pd-ag membranes coated with modifying layer. *Russian Physics Journal*, 63., (3.).

[4] Svenum, Ingeborg-Helene–Jeffrey A. Heron–Manos Mavrikakis–Hilde J. Venvik (2020): Pd3Ag(111) as a Model System for Hydrogen Separation Membranes: Combined Effects of CO Adsorption and Surface Termination on the Activation of Molecular Hydrogen, *Topics in Catalysis*, 63., pp. 750–761.

[5] Bayer, A.–Flechtner, K.–Denecke, R.–Steinrück, H. P.–Neyman, K. M.–Rösch, N. (2006): Electronic properties of thin Zn layers on Pd(111) during growth and alloying. *Surface Science*, 600., pp. 78–94

[6] Kovács, I.–Kiss, J.–Solymosi, F. (2007): The adsorption properties of PdZnx alloy on Pd(100): Preparation and characterization. *Vacuum*, 82., (2.), pp. 182–185.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki Prof. Dr. Kiss Jánosnak (SZTE), hogy használhattam az ő Leybolt–Heraus gyártmányú félgömb szekunder elektron energia-analizátorát és az eredmények értelmezéséhez is hozzájárult.



Hidrogén-alfa naptávcső továbbfejlesztése fókusznyújtással, a Nap nagyfelbontású fotózása

Összefoglalás: A Napészlelés, a Nap megfigyelése különleges élmény az amatőr csillagászok számára, mivel egy csillagot kozmikus léptékben szinte közvetlen közről lehet tanulmányozni. Jelenleg a kereskedelemben elérhető naptávcsövek nagy része a hidrogén-alfa vonalában mutatja a Nap képét rendkívül keskeny sávzélességben. A hidrogén-alfa naptávcső legfontosabb eleme az igen precízen megépített hangolható Fabry–Perot-interferométer. Az interferométer keskeny sávzélessége (0,7–0,5 Angström) biztosítja a rendkívül részletgazdag már szinte három dimenziósnek tűnő képet. Mivel az interferométer-szűrő ára az átmérővel növekszik, a távcső felbontása viszont a nagyobb átmérő esetén jobb, így elterjedt az a megoldás, hogy egy kisebb átmérőjű, és ezért olcsóbb szűrőt egy nagyobb lencseátmérőjű de egyszerű, nem drága távcsőbe építenek be. A kapott kép felbontásának növelésére a másik lehetőség, a fókusznyújtás. Mivel a primer fókuszban keletkező kép nagysága a fókusz távolsággal arányos, ezért érdemes egy negatív lencsetagot megfelelő helyre beépíteni a távcsőbe. Ezzel a megoldással fotózás esetén a nagyobb felbontású kép nagyobb méretben jelenik meg az asztrokamera érzékelőjén, így az elkészült fotó a fókusznyújtás arányában részletgazdagabb lesz.

Kulcsszavak: Hidrogén-alfa naptávcső, fókuszintenzitás, nagyobb felbontású kép.

Abstract: The Sun observing is a special experience for amateur astronomers, because a real star can be studied on a cosmic scale almost up close.

Most of the currently commercially available solar telescopes show the image of the Sun in the hydrogen alpha line in an extremely narrow bandwidth. The most important element of the hydrogen alpha solar telescope is the very precisely constructed tunable Fabry-Perot interferometer. The narrow bandwidth of the interferometer (0.7-0.5 Angstrom) provides an extremely detailed image that almost seems three-dimensional.

* *Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet*

Email: hmik@uniduna.hu

ORCID: 0009-0006-1166-1957

Since the price of the interferometer filter increases with the diameter, the resolution of the telescope is higher with a larger diameter, so the solution is widespread to install a smaller diameter, and therefore cheaper filter, in a simple, inexpensive telescope with a larger lens diameter. Another option to increase the resolution, is focus extension. Since the size of the image formed at the primary focus is proportional to the focal length, it is worth installing a negative lens element in the telescope at an appropriate location. With this solution, when taking photos, a larger and higher-resolution image appears on the astrocamera sensor, so the resulting photo will be more detailed in proportion to the focus extension.

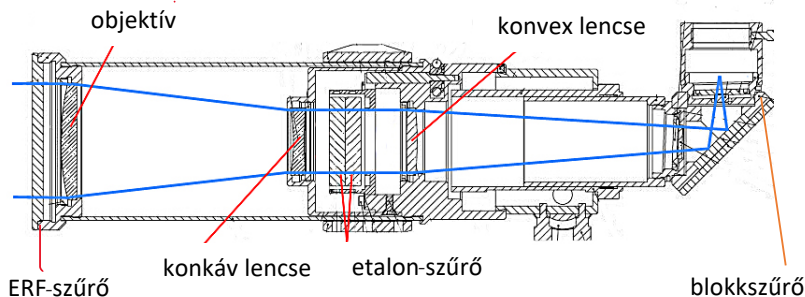
Keywords: Hydrogen alpha solar telescope, focus extension, high resolution photography.

A Hidrogén-alfa naptávcső felépítése működése

A TÁVCSŐ FÉLÉPÍTÉSE, AZ ETALON-SZŰRŐ

Ahhoz hogy a Nap felszínének finomabb struktúráit, a filamenteket, a flereket, vagy a napfoltok szerkezetét részleteiben láthassuk, egy a hagyományos napszűrőknél jóval kifinomultabb technológiára van szükség. Ez a hidrogén-alfa naptávcső (1. ábra).

1. ábra. A hidrogén- alfa naptávcső felépítése

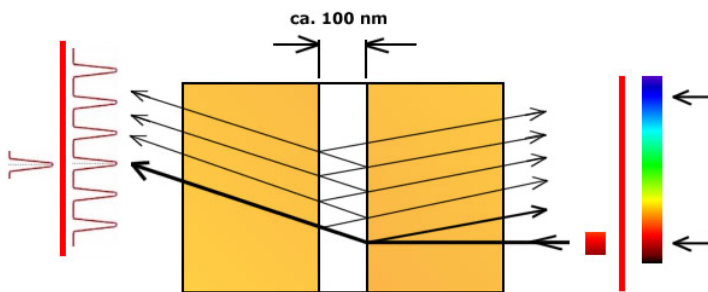


A hidrogén-alfa naptávcsőbe több szűrőt kell elhelyezni egyrészt a biztonságos megfigyelés, és a naptávcső károsodásának megelőzése, másrészt a sávszélesség csökkentése érdekében. A nagy hőterhelés csökkentésére az objektív elé vagy közvetlenül mögé be kell építeni egy energiaelnyelő szűrőt (ERF-szűrő). Az szűrő infravörös tükröződésgátló bevonata blokkolja az infravörös sugárzást, megakadályozza hogy a hő behatoljon a távcsőbe.

A szűrőn áthaladó fényt a távcső objektívje a fókusztávolságnak megfelelően egy szűkülő fénynyalábbá fókuszálja.

A fény ezután az etalon (hidrogén-alfa) -szűrőbe kerül. Az etalon-szűrő egy Fábry-Perot-interferométer, (2. ábra) ami pontosan a Balmer-sorozat hidrogén-alfa vonalára a 656.28 nm hullámhosszra van hangolva. A Nap felszínén ezen a hullámhosszon láthatók a legnagyobb részletességgel és kontraszttal az alakzatok.

2. ábra. Az etalon-szűrő felépítése [1]



Ahhoz hogy az etalon-szűrő jól működjön, a szűrőbe belépő fénynyalábnak pontosan párhuzamosnak kell lennie. Ezért a szűrő előtt a távcsőben egy konkáv lencse párhuzamosítja, majd a szűrő után egy konvex lencse fókuszálja újból a nyalábot. [2] Az etalon-szűrőből kijövő fény még a hidrogén-alfa vonala mellett tartalmazza ennek felharmonikusait is. Emiatt szükség van még egy blokkszűrőre is. A blokkszűrő általában egy olyan többszörös bevonattal ellátott szűrő, amely leválasztja az összes felharmonikust, csak a H-alfa vonalának megfelelő 656.28 nm csúcsot engedi át (3. ábra).

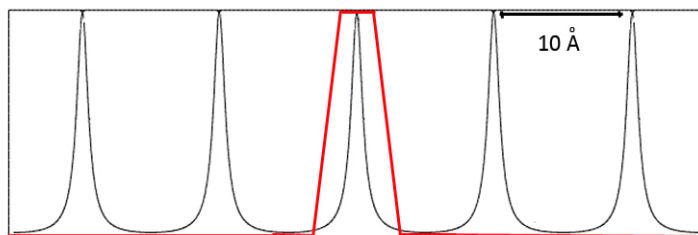
[1] <https://www.bader-planetarium.com/en/blog/first-class-h-alpha-solar-filter-by-solar-spectrum/>

[2] Pápics Péter István-Iskum József (2006): *A Napészlelés kézikönyve*. Budapest: Magyar Csillagászati Egyesület.

[3]: <https://www.ianmorison.com/h-alpha-solar-telescopes-an-in-depth-discussion-and-survey/>

[4] Skomorovsky, V. I.–Kushtal, G. I.–Lopteva, L. S. –Proshin, V. A. (2015): Commercial narrowband Fabry–Perot solar filters, methods and instruments for examination. *Solnechno-zemnaya fizika*, 1., (3.), pp. 72–90.

3. ábra. Az etalon-szűrőn és a blokkuszűrőn (piros vonal) áthaladó fény spektruma [3]

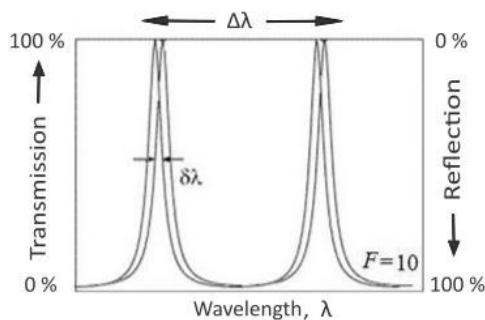


Az okulárba tehát a Nap teljes spektrumából már csak a szigorúan monokromatikus h-alfa vonal fénye jut, és mivel minden más zavaró hullámhosszt kiszűrte a rendszer. Ennek köszönhetően a távcső rendkívül részletgazdag és kontrasztos képet ad a Nap felszínén, a kromoszférában lezajló jelenségekről.

KÉT ETALON-SZŰRŐ HASZNÁLATA (DOUBLE STACKING)

A jó minőségű etalon-szűrő h-alfa vonalának félérték szélessége 0.7–0.8 angström. Ezt tovább lehet csökkenteni úgy, hogy két etalon-szűrőt helyezünk el egymás mögött (double stacking) [4]. Ilyenkor a két szűrő áteresztési tartományának az átfedése lesz az eredmény. A szűrőket megfelelően hangolva, a félérték-szélesség lecsökkenthető 0.5 angström alá is (4. ábra). Ebben az esetben a kép minden eddiginél gazdagabb a részleteket mutat meg a Nap felszínén zajló jelenségekről.

4. ábra. A két etalon-szűrő használatának eredménye (double stacking) [4]



A két szűrő átfedésének megfelelő rendkívül keskeny hullámhossz-tartomány erősen lecsökkenti a fényerőt, amit nagyobb átmérőjű és fénygyűjtő képességű objektívvel lehet kompenzálni.

A naptávcső átalakítása

AZ OBJEKTÍV ÁTMÉRŐJÉNEK NÖVELÉSE

A csillagászati tácsövek egyik fontos paramétere az objektív átmérője, mivel a távcső felbontása ezzel arányos.

A szögfelbontás egy fizikai határ ami megmutatja, hogy milyen közeli pontszerű fényforrásokat képes egy optikai rendszer még két különálló entitásként érzékelni. A távcső lencsége vagy tükre, méretétől függően, a beérkező fényt egy úgynevezett Airy-koronggá fókuszálja, nem pedig egy tökéletes ponttá. Ez a diffrakció (fényelhajlás) jelenségének következménye, és minden optikai rendszerre jellemző.

Két elhajlási korongot még elkülönítve veszünk észre, ha egyiknek a maximuma a másik első intenzitás minimumára esik (5. ábra).

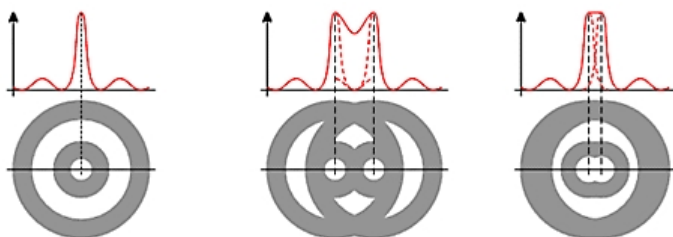
A felbontást az Abbe-féle képlet adja meg:

$$\varphi \geq 1,22 \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

[4] Skomorovsky, V. I.–Kushtal, G. I.–Lopteva, L. S.–Proshin, V. A. (2015): Commercial narrowband Fabry–Pérot solar filters, methods and instruments for examination. *Sol-nechno-zemnaya fizika*, 1., (3.), pp. 72–90.

[5] Kulin György–
Róka Gedeon (1980):
A távcső világa. Buda-
pest: Gondolat.

5. ábra. A szögfelbontás magyarázata



Forrás: <https://www.vilaglex.hu>

A Fabry–Perot-interferométert tehát érdemes egy nagyobb átmérőjű objektívvel ellátott távcsőbe beépíteni, ezzel jelentősen megnövelve a távcső szögfelbontását, a lehetséges nagyítást

FÓKUSZNYÚJTÁS

A másik fontos fizikai paraméter a távcső objektívjének fókusz távolsága. A távcső objektívje által előállított valódi képet az okulárral, mint nagyítóval szemlélve alakul ki a látott kép az agyunkban. Az objektív fókusz távolságával arányos a keletkező kép nagysága, ezért érdemes nagyobb fókusz távolságú objektívet használni.

A távcső primer fókuszában (az objektív fókusz síkjában) a Nap képének nagysága [5]:

$$d = 0,9 \cdot \frac{f}{100} \text{ (mm)} \quad (2)$$

Fókusznyújtással megnövelve a primer fókuszban keletkező kép nagyságát, a kamera érzékelőjére eső kép nagyobb lesz, ezzel növeljük az elkészült fotó felbontását. A fókusznyújtást a legegyszerűbben egy konkáv lencsével lehet elvégezni, amit az objektív és az okulár között helyezünk el [5]. A fókusznyújtó lencse fókusz távolságát, átmérőjét és elhelyezését pontosan ki kell számítani és megtervezni, hogy a primer fókuszban keletkező kép optimális legyen.

A naptávcső átalakításának tervezése

Jelen esetben az átalakítás tárgya egy Lunt LS 80 típusú naptávcső, aminek az objektívje 80 mm átmérőjű, és 560 mm-es fókusz távolságú. A távcső két „pressure tuning” rendszerű szűrővel rendelkezik, amivel a távcső sávszélessége 0,5 angström alá csökken. Ez különösen kontrasztos és részletgazdag képet biztosít [6].

Az átépítés során megoldandó problémák:

- Nagy átmérőjű jó minőségű akromát objektív lencse beszerzése.
- Megfelelő konkáv lencse beszerzése a fókusznyújtáshoz.
- A fókusznyújtó lencse fókusz távolságának és helyének pontos megválasztása figyelembe véve:
 - a kívánt fókusznyújtás elérését,
 - a távcső hosszát,
 - a hidrogén-alfa szűrők elhelyezését.

Ezekhez pontos számítások és gondos tervezés volt szükséges.

Két lencséből álló rendszer esetén az eredő fókusz egy f_2 fókusz távolságú korrekciós lencse alkalmazásával [5]:

$$f_e = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (3)$$

Ahol f_1 az objektív fókusz távolsága, d az objektív és a fókusznyújtó lencse távolsága. Ebből a két lencse távolsága n -szeres fókusznyújtás esetén:

$$d = f_1 + f_2 - \frac{f_2}{n} \quad (4)$$

Rendelkezésünkre állt:

- Lunt LS80 DS gyári távcső,
- $f_1=1391$ mm $d=133$ mm Fraunhofer akromát + tubus,
- 150 mm szabad nyílású energiaelnyelő szűrő foglalatban,
- f_2 : -100 mm, -150 mm, -170 mm -300 mm, -500 mm konkáv lencsék.

Az adott objektív fókusz távolsága és az egyéb geometriai méretek szűkítették a lehetőségeket így az $f_2=-300$ mm-es fókusznyújtó lencse mellett döntöttünk.

[5] Kulin György–
Róka Gedeon (1980):
A távcső világa. Buda-
pest: Gondolat.

[6]: <https://luntsolar-systems.com/>

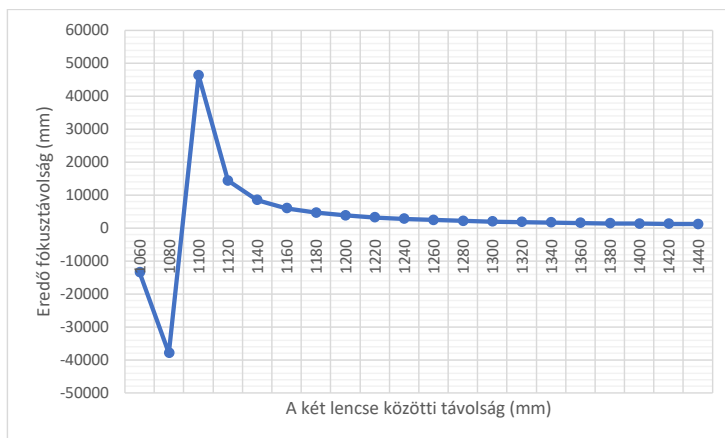
A lencse helyének meghatározásában az alábbi szempontokat kellett figyelembe vennünk:

- a lencse és az új eredő fókuszpont közé el kell helyeznünk a 35 cm hosszú DS-szűrőrendszert,
- a fókusznyújtás elegendően nagy legyen,
- a távcső végleges hossza nem lehet túl nagy.

A fókusznyújtó tag optimális helyének megválasztásához a fenti szempontok alapján készültek az alábbi grafikonok.

A 6. ábrán az eredő fókusz távolságot látjuk a lencsék közötti távolság függvényében. Itt megcélzottuk a 2800–3500 mm közötti eredő fókusz távolságot, ami 1210–1240 mm közötti lencsetávolságra szűkítette a lehetséges értékeket.

6. ábra. Eredő fókusz távolság a két lencse közötti távolság függvényében



7. ábra. A fókusznyújtás aránya a két lencse közötti távolság függvényében



Itt 2–3 közötti értéket terveztünk beállítani.

Az optimális értékek mindent figyelembe véve:

Az objektív: $f_1=1391$ mm $d=133$ mm

A fókusznyújtó lencse: $f_2= -300$ mm

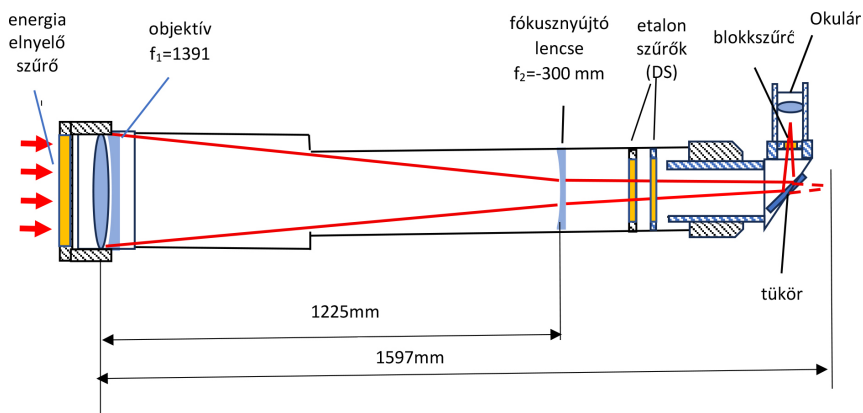
A két lencse távolsága: $d= 1225$ mm

Az eredő fókusz távolság: $f_e=3114$ mm

A fókusznyújtás aránya: $n=2,239$

Az átépített távcső szerkezete a 8. ábrán látható.

8. ábra. Az átalakított naptávcső elrendezése



Az átalakított naptávcső a 9. ábrán látható.

9. ábra. Az elkészült naptávcső



Eredmények

1. A távcső fókusz távolsága megnőtt: $f_e = 3114$ mm.

A Nap képe a primer fókuszban 28 mm (az eredeti távcsőben: $d = 5,04$ mm).

2. Javult a távcső szögfelbontása.

Az eredeti távcső szögfelbontása $\varphi = 10^{-5} \text{ rad}$ ($5,729 \cdot 10^{-4} \text{ fok}$).

Az átalakított távcső szögfelbontása: $\varphi = 6 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$ ($3,44 \cdot 10^{-4} \text{ fok}$).

A felbontás tehát 67%-kal nőtt a nagyobb objektív átmérőnek köszönhetően.

A Napfotózás alkalmával a lehető legjobb kép elérése érdekében az asztrokamera felbontását érdemes a távcső felbontásával összehangolni.

Az általunk használt asztrokamera érzékelője 13,2 mm-es oldala 5496 képpontból áll a felbontása 20 Mp.

Az CMOS érzékelő mérete: $13,2 \times 8,8 \text{ mm} = 0,00011616 \text{ m}^2$

A kamera érzékelőjén két képpont távolsága (pixel méret):

$$y = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2,4 \mu\text{m}$$

Fontos paraméter, hogy hány képpontra bontja a kamera a Nap képét. A Nap képe az új távcső primer fókuszában: $d = 28$ mm.

Az asztrokamera érzékelőjének hosszabbik oldala $a = 13,2$ mm ez $n = 5496$ pixelből áll.

A teljes napkorong képét az átmérő irányában a kamera

$$N = \frac{d}{a} \cdot n = 11658 \quad (5)$$

képpontra bontja.

Ez a szám az eredeti távcső esetében:

$$N' = 2098$$

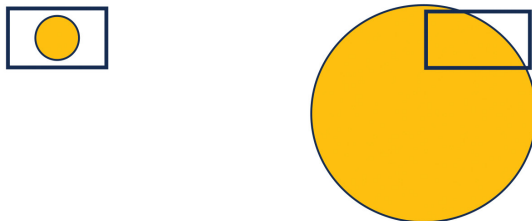
Az új és az eredeti felbontás aránya:

$$N/N' = 5,56 \quad (6)$$

A távcső felbontása ezzel a kamerával fotózás szempontjából tehát 5,56-szorosára nőtt.

Azonban amíg az eredeti távcső primer fókuszában a teljes napkorong ráfért az asztrokamera érzékelőjére, az átalakított távcső jóval nagyobb képének csak egy része kerül rá a CMOS-érzékelőre, így ezzel a kamerával csak a napkorong egy részéről lehet fényképet készíteni (10. ábra).

10. ábra. Az eredeti és az átalakított távcső Nap képének aránya az asztrokamera érzékelőjén

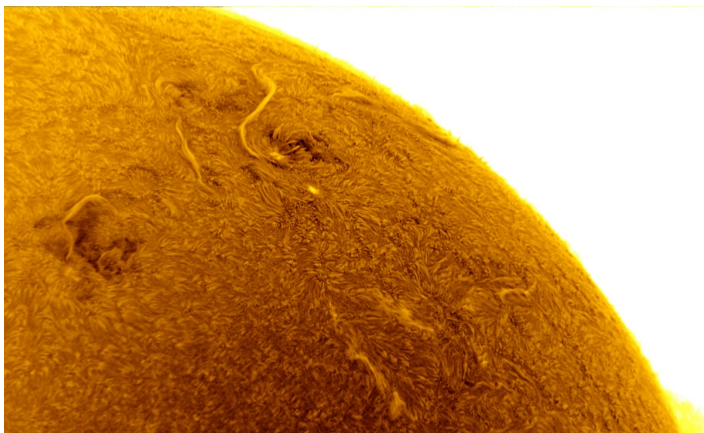


Ilyenkor a megoldás lehet egyrészt az, hogy vagy mozaik képet készítünk a Napról: a nagy felbontásban készült részleteket egymáshoz kell illeszteni, így a teljes napkorongot nagy láthatjuk nagy felbontásban. Másik megoldás az, hogy nagy felbontású fullframe (36x24 mm) asztrokamerát kell beszerezni, ami viszont a magas ára miatt nem könnyen érhető el az amatőr csillagászoknak.

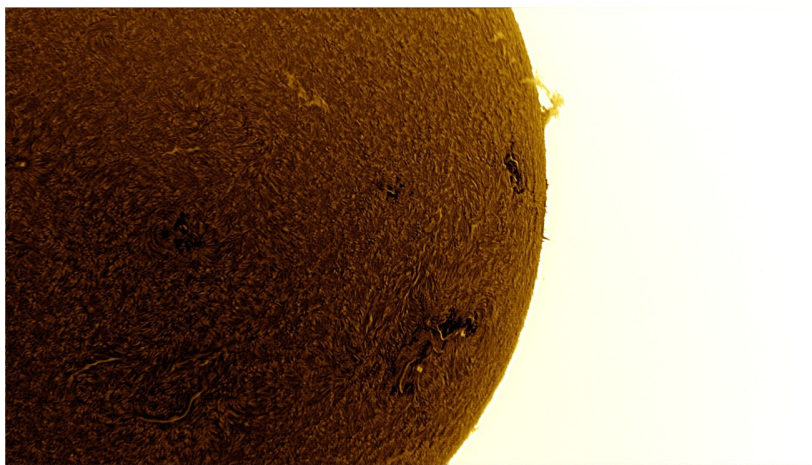
A Napot fényképezve speciális asztrokamerával jól látszik a protuberanciák szálas szerkezete, kivehetők a felszíni granulációk, és a filamentek, és a rövidebb idejű felfényesedések a flerek. Az alábbi fényképek az átalakított naptávcsővel és egy ZWO ASI 183 MM asztrokamerával készültek. A 11. és a 12. ábrán a Nap egy részletét látjuk.

A 11. ábrán két napfolt is azonosítható. A 12. ábrán a napkorong szélén egy a Földméreténél többször nagyobb protuberancia látható.

11. ábra. A Nap felszíni részlete az átalakított naptávcsővel fényképezve



12. ábra A Nap felszíne az átalakított naptávcsővel fényképezve



Konklúzió, összefoglalás

A hidrogén-alfa naptávcső átépítése több tanulsággal szolgált. Kiindultunk egy közepes teljesítményű, de jó minőségű hidrogén-alfa naptávcsőből és egy közepes minőségű olcsó 133 mm-átmérőjű akromatikus távcsőből, valamint egy -300 mm-es fókuszú konkáv lencséből. A cél nagyobb felbontás, és jóval nagyobb primer fókuszban megjelenő kép elérése volt.

Pontos számítások és tervezés után sikerült megépíteni az új naptávcsövet.

A távcső átépítése gondos tervezést és precíz megmunkálást igényelt, esetenként több új ötletre is szükség volt a megvalósításhoz.

A munka eredménye egy jobb felbontású és nagyobb fókuszú, ugyanakkor megfelelő fényerejű távcső lett. Az első bepillantáskor meglepően szép, részletgazdag kép tárult elénk a Napról.

Bár a megnövelt fókuszú távcsővel a kamera a napkorongnak csak egy részletét tudja rögzíteni, a kép felbontása több mint ötszörösére nőtt az eredetihez képest. A nagyobb kép az asztrokamera felbontását jobban kihasználva sokkal részletgazdagabb, lenyűgöző fotók készítését tette lehetővé.

Érdeemes volt tehát belevágni a naptávcső átalakításába, mert mind a használhatóság, mind a képalkotás terén egy lényegesen jobb, szebb képű távcsövet sikerült építeni, a kereskedelemben kapható hasonló paraméterekkel rendelkező naptávcsövek árához képest jóval kisebb befektetéssel.



Számítógépes képelemzés a metallográfiában

Összefoglalás: A számítógépes képfeldolgozás a metallográfiában kulcsfontosságú szerepet játszik a szövetszerkezet objektív és automatizált jellemzésében. A módszerek – mint a szürkeárnyaltos konverzió, szegmentálás, morfológiai műveletek és kvantitatív kiértékelés – lehetővé teszik a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek pontos meghatározását. Ezeket az eljárásokat a Dunaújvárosi Egyetemen is alkalmazzuk az anyagtudományi kutatások során, amelyek jelenleg is zajlanak az alumínium újrahasznosíthatósága, a reaktortartályok anyagának öregítése, vagy a fémek sugárkárosodásának vizsgálata kapcsán.

Kulcsszavak: Számítógépes képfeldolgozás, metallográfia, kvantitatív kiértékelés.

Abstract: Computer image processing plays a key role in metallography for the objective and automated characterization of microstructure. Methods such as grayscale conversion, segmentation, morphological operations, and quantitative evaluation enable the accurate determination of grain size, phase fraction, and geometric parameters. These techniques are also applied at the University of Dunaújváros in materials science research, including ongoing studies on aluminum recyclability, the ageing of reactor pressure vessel materials, and the investigation of radiation damage in metals.

Keywords: Computer image processing, metallography, quantitative evaluation.

* Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Email: szaboandrea@uniduna.hu

ORCID: 0009-0007-2565-6056

[1] Gonzalez, R.
C.–Woods, R. E.
(2018): *Digital Image
Processing*. New York:
Pearson.

Bevezetés

Az anyagtudományi kutatásokban a mikroszerkezet pontos és objektív jellemzése alapvető fontosságú, hiszen a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek jelentős hatással vannak az anyagok mechanikai és technológiai tulajdonságaira. A hagyományos metallográfiai módszerek mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a számítógépes képfeldolgozási technikák, amelyek lehetővé teszik az automatizált, reprodukálható és nagy pontosságú kiértékelést. A Dunaújvárosi Egyetemen ezek az eljárások aktívan alkalmazásra kerülnek az anyagtudományi kutatásokban, többek között az alumínium újrahasznosíthatóságának vizsgálata, a reaktortartályok anyagának öregedése és a fémek sugárkárosodásának elemzése során, hozzájárulva a korszerű ipari és energetikai megoldások fejlesztéséhez.

Modern képfeldolgozási módszerek szerepe az anyagtudományban

Az anyagtudományban a szövetszerkezet pontos feltérképezése elengedhetetlen a különböző anyagok tulajdonságainak megértéséhez és fejlesztéséhez. A hagyományos metallográfiai vizsgálatok manuális kiértékelése időigényes és szubjektív lehet, ezért egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az automatizált képfeldolgozási technológiák. Ezek a módszerek nemcsak gyorsabbá teszik az elemzést, hanem biztosítják az eredmények reprodukálhatóságát és objektivitását. A modern képfeldolgozás alapvető lépései közé tartozik a szürkeárnyaltos konverzió, amely egyszerűsíti az adatokat, valamint a szegmentálás, amely lehetővé teszi a szemcsék, fázisok és zárványok elkülönítését. Morfológiai műveletek – például erózió, dilatáció, nyitás és zárás – alkalmazásával javítható a képminőség, csökkenthetők a zajok és kiemelhetők a releváns struktúrák. Ezek az eljárások alapot teremtenek a kvantitatív kiértékeléshez, amely során meghatározhatók a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek [1]. A képelemzés különösen fontos szerepet kap az alumínium újrahasznosíthatóságának vizsgálatában, ahol a fázis méret, alak és térfogatarány meghatározása kulcsfontosságú az ötvözetek mechanikai tulajdonságainak optimalizálásához. A reaktortartályok anyagának öregedésével kapcsolatos kutatásokban például a karbidkiválások számának és méretének pontos detektálása segít előre jelezni az anyag élettartamát.

A fémek sugárkárosodásának elemzése során pedig a képelemzés lehetővé teszi a sugárzás okozta hatására megjelenő GP-zónák kvantitatív vizsgálatát, ami alapvető a nukleáris biztonság szempontjából.

[2] Gácsi Zoltán–Sárközi Gábor–Réti Tamás–Kovács Jenő–Csepeli Zsolt–Mertinger Valéria (2001): *Sztereológia és képelemzés*. Miskolc: WellPress–PHARE.

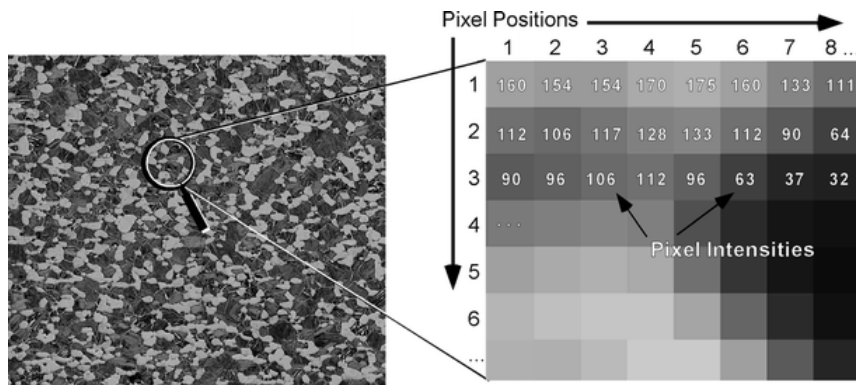
A szürkeárnyalat-értékek szerepe a szövetszerkezet elemzésében

A metallográfiai vizsgálatok során a digitális képek felbontása és a szürkeárnyalat-értékek meghatározó szerepet játszanak a mikroszerkezet pontos elemzésében. A képek általában nagy felbontásúak, 1024×1024 pixel méretűek, ami lehetővé teszi a finom részletek megjelenítését. A szürkeárnyalat skála 0 és 255 közötti értékeket használ, ahol a 0 a fekete, a 255 pedig a fehér színt jelenti. Ezek az intenzitásértékek hordozzák azokat a kontrasztinformációkat, amelyek alapján a különböző fázisok és szemcsék elkülöníthetők. A kontrasztkülönbségek elemzése alapvető a szegmentálási folyamatban, hiszen a mikroszerkezet egyes elemei eltérő fényességi értékekkel rendelkeznek. Az intenzitásértékekből nyert információk képezik a kvantitatív kiértékelés alapját, amely során meghatározható a szemcseméret, a fázisarány és a geometriai jellemzők [2].

A pontos szürkeárnyalat-analízis nélkülözhetetlen a megbízható eredményekhez, mivel a hibás kontrasztértelmezés téves következtetésekhez vezethet az anyag szerkezetéről. A digitális képek és szürkeárnyalat-értékek megfelelő kezelése tehát nem csupán technikai részlet, hanem a metallográfiai képfeldolgozás egyik alapköve. Ez biztosítja, hogy a mikroszerkezet elemzése objektív, reprodukálható és alkalmas legyen az anyagtudományi kutatásokban és ipari alkalmazásokban felmerülő magas szintű követelmények teljesítésére.

[3] Grande, J.C.
(2012): Principles of
Image Analysis. Me-
tallogr. Microstruct.
Anal, 1., pp. 227–243.

1. ábra. Optikai mikroszkópos kép (b), egy részlete nagyítva látható (j). A pixelek sorok és oszlopok szerint helyezkednek el, és mindegyikhez egy szürkességi vagy intenzitásérték tartozik



Forrás: [3]

Képfeldolgozási lépések és algoritmusok áttekintése

A metallográfiai képek számítógépes feldolgozása olyan egymásra épülő műveletekből áll, amelyek célja a mikroszerkezet pontos és objektív jellemzése. A folyamat első lépése a szürkeárnyaltos konverzió, amely a színes képeket egyszerűbb, 0–255 közötti intenzitásértékekkel rendelkező formátumba alakítja. Ez a lépés kiemeli a kontrasztkülönbségeket, és megteremti az alapot a további feldolgozáshoz. Ezt követi az előfeldolgozás, amelynek során különböző szűrési technikákkal – például Gauss- vagy mediánszűrő alkalmazásával – csökkentjük a zajt és javítjuk a kép kontrasztját, hogy a mikroszerkezeti elemek tisztábban elkülöníthetők legyenek. A szegmentálás a következő kulcsfontosságú lépés, amelynek célja a szemcsék, fázisok és zárványok elkülönítése. Ez történhet egyszerű küszöbérték-alapú módszerekkel vagy adaptív algoritmusokkal, amelyek a kép lokális jellemzőihez igazodnak. A szegmentálás eredményeként bináris képek készülnek, amelyek kiemelik a vizsgált struktúrákat, és előkészítik a kvantitatív elemzést. A képminőség további javítására morfológiai műveleteket alkalmazunk, mint az erózió, dilatació, nyitás és zárás.

Ezek a műveletek segítenek eltávolítani a kisebb zajokat, kitölteni a hézagokat, és kiemelni a releváns mikroszerkezeti elemeket. A feldolgozás végső szakaszában a képekből nyert információkat kvantitatív módon értékeljük. Meghatározható a szemcseméret, a fázisarány, a körszerűség és a nyújtottság, amelyek alapvető paraméterek az anyag tulajdonságainak megértéséhez és összehasonlításához. Az automatizált képfeldolgozás így pontosabbá teszi a metallográfiai vizsgálatokat, illetve lehetővé teszi az objektív és reprodukálható eredmények elérését.

[4] Vander Voort, G. F. (1984): *Metallography: Principles and Practice*. ASM International, 9. New York: McGraw-Hill.

Fókuszszík-integrálás a metallográfiai képalkotásban

A metallográfiai vizsgálatok során gyakran előfordul, hogy a mikroszkópos képek mélységelessége korlátozott, így egyetlen fókuszszíkban nem jeleníthető meg minden részlet élesen. Ez különösen problémás lehet összetett mikroszerkezetek esetén, ahol a szemcsék, zárványok és fázishatárok különböző térbeli síkokban helyezkednek el. A fókuszszík-integrálás módszere erre kínál megoldást: több képet készítünk különböző fókuszpozíciókban a Z-tengely mentén, majd algoritmusok segítségével az éles képrészleteket egyesítjük egyetlen nagy mélységelességű képbe. Az eljárás lényege, hogy minden fókuszszíkból kiválasztjuk azokat a pixeleket, amelyek a legnagyobb élességet mutatják, és ezeket kombináljuk egy összetett képben [4]. Az így létrehozott kép nemcsak vizuálisan informatívabb, hanem pontosabb alapot biztosít a további képfeldolgozási lépésekhez, például a szegmentáláshoz és a kvantitatív kiértékeléshez. A fókuszszík-integrálás különösen hasznos durva felületű minták, vastag metszetek vagy nagy mélységű struktúrák vizsgálatakor, ahol a hagyományos egyfókuszos képalkotás nem ad elegendő információt. Ezzel az eljárással jelentősen növelhető a metallográfiai elemzések pontossága és megbízhatósága, mivel kiküszöböli a homályos részletekből adódó hibákat, és lehetővé teszi a teljes szövetszerkezet egyidejű vizsgálatát.

Morfológiai műveletek a képminőség javításában

A metallográfiai képek feldolgozása során gyakran előfordul, hogy a nyers képek tartalmaznak zajt, apró hibákat vagy hézagokat, amelyek megnehezítik a mikroszerkezeti elemek pontos elkülönítését.

[5] Carl Zeiss Vision GmbH (2003): *Axio-Vision User's Guide, Release, 4., (1.)*.

A morfológiai műveletek célja ezeknek a problémáknak a korrigálása, valamint a vizsgált struktúrák kiemelése. Az erózió és a dilatáció a két alapvető művelet: az erózió a világos területek zsugorításával eltávolítja a kisebb zajokat, míg a dilatáció a világos területek növelésével kitölti a hézagokat. Ezek kombinációjából származik a nyitás és a zárás, amelyek finomhangolt megoldást kínálnak a képminőség javítására. A nyitás elsősorban a kis zajok eltávolítására alkalmas, míg a zárás a kisebb lyukak kitöltését segíti elő. Ezek a műveletek a kép minőségének javulást eredményeznek, emellett alapvetőek a kvantitatív kiértékelés pontossága szempontjából. A tisztább, zajmentes képek lehetővé teszik a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek megbízható meghatározását, így tudunk támaszkodni a kapott eredményekre az anyagtudományi kutatásokban. A morfológiai algoritmusok alkalmazása a modern képfeldolgozás egyik kulcslépése, amivel biztosítani tudjuk a reprodukálható és objektív eredményeket.

Mikroszerkezeti paraméterek mérése

A Dunaújvárosi Egyetemen rendelkezésre álló AxioVision szoftver a mikroszerkezeti paraméterek meghatározását teljesen automatizált folyamatként végzi. A mérés alapja a szűrkeségiszint-küszöbérték alapján létrehozott bináris kép. Ezen, a vizsgálat célja szempontjából irreleváns és zavaró részeket morfológiai műveletekkel kizártunk a mérésből a valóságot leginkább tükröző képpontok megtartásával. A szoftver minden objektumhoz hozzárendeli a geometriai jellemzőket, és a kalibrált pixelméret alapján valós fizikai méreteket számít. A szemcseméret meghatározása az objektum területéből számított ekvivalens átmérő segítségével történik. A körszerűséget a program a terület és kerület arányából számítja ki, ami megmutatja, mennyire közelít az alak a tökéletes körhöz. A nyújtottságot a legnagyobb és legkisebb tengely hosszának aránya alapján határozza meg, ami a szemcsék alakjának és orientációjának jellemzésére szolgál. A fázis- és térfogatarányokat a szoftver a különböző szegmentált régiók pixelterületének összehasonlításával számítja ki, így pontos százalékos értéket ad az anyag összetételére vonatkozóan. Az AxioVision a mért adatokat táblázatos formában rögzíti, és lehetőséget biztosít tömeges feldolgozásra, akár több száz objektum automatikus kiértékelésére [5].

Összefoglalás

A számítógépes képfeldolgozás célja a kvantitatív jellemzés, amely alapvető szerepet játszik az anyagtudományi kutatásokban. A feldolgozott képekből nyert adatok (szemcseméret, térfogatarány, geometriai jellemzők: körszerűség és a nyújtottság) meghatározzák az anyag mechanikai és technológiai tulajdonságait. Az automatizált algoritmusok alkalmazása biztosítja az objektivitást és a reprodukálhatóságot, így nagyszámú adat gyors statisztikai kiértékelése válik lehetővé. Az így nyert információk nemcsak a mikroszerkezet pontos leírását adják, hanem alapot szolgáltatnak az anyag viselkedésének előrejelzéséhez különböző terhelési és környezeti feltételek mellett. Ez különösen fontos olyan területeken, mint az alumínium újrahasznosíthatósága, ahol a szemcseméret és a fázisok területarányának vizsgálata segít meghatározni az újraolvasztott ötvözetek homogenitását és mechanikai teljesítményét.

Hasonlóképpen, a reaktorcélok öregítésének vizsgálata során a mikroszerkezeti változások, karbidkiválások, szemcsenövekedés kvantitatív elemzése elengedhetetlen a hosszú távú üzemi biztonság értékeléséhez. A fémek sugárzaskárosodásának kutatásában pedig a képfeldolgozás lehetővé teszi a sugárzás hatására kialakuló fázisátalakulások kimutatását, ami kulcsfontosságú az anyagok élettartamának és szerkezeti integritásának előrejelzésében.



Platinafémek szerepe a kobalt nano-ötvözetek kialakulására és szekezetükre

Összefoglalás: A katalitikusan aktív fém ionjainak redukálását egy hordozó felületén kialakítva kaphatunk egy aktív katalizátort. Ezt azonban ún. katalitikus tesztekkel ellenőriznünk kell. A CO-ionok redukálása a katalizátor készítése közben nem készségesen irányítható reakció. A katalitikusan szintén aktív platina-fémek adagolásával a redukció könnyebben megy végbe.

A két fém együttes alkalmazása olyan részecskék kialakulását eredményezheti, amelyek szerkezetét nem tudjuk megjósolni. A katalitikusan is használható összetételek pontosabb jellemzésére a röntgen gerjesztésű fotonelektron spektroszkópia (XPS) mellett az EXAFS, illetve NEXAFS módszerek alkalmazása is szükséges.

Kulcsszavak: Platinafémek, kobalt, XPS, EXAFS, NEXAFS.

Abstract: The production of working catalysts can be made by reduction of catalytically active metal ions on the surface of support. This can be confirmed with the help of catalytic tests. During these processes the reduction of cobalt ions is not an easy task. With the addition of platinum metals cobalt can be reduced readily. The application of two metals results in a metallic alloy with an unpredictable structure. In order to characterize such nano-alloy particles besides x-ray excited photoelectron spectroscopy (XPS), EXAFS and NEXAFS methods must be used.

Keywords: Platinum metals, cobalt, XPS, EXAFS, NEXAFS.

* Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki
Intézet, Gépészmérnöki Tanszék
Email: kovacsimre@uniduna.hu
ORCID: 0000-0003-2014-678X

[1] Fischer, F.–
Tropsch, H. (1923):
Über die Reduktion
des Kohlenoxyds zu
Methan am Eisen-
kontakt unter Druck.
Brennstoff-Chemie, 4.,
pp. 193–197.

[2] Fischer, F.–
Tropsch, H. (1925):
Methanol und Synthol
aus Kohlenoxyds als
Motorbetriebsstoff.
Brennstoff-Chemie,
No. 6., pp. 233–234.

Bevezetés

A nanométer nagyságrendű részecskék szerkezetének vizsgálatára a hagyományos, tömbi vizsgáló módszerek, mint a röntgen diffrakció nem a legalkalmasabb módszer. Az elektron mikroszkópia (TEM) egy-egy nanoméretű részecske vizsgálatára alkalmas ugyan, de ezt vákuumba helyezett mintán tehetjük meg és nem biztos, hogy a kiválasztott objektumok – nanorészecskék – a minta legjellemzőbb képviselői.

A katalizátorok készítése során – akár kis tételekben vagy akár nagy mennyiségben készülnek – az atomi vagy molekuláris lépték felől szokás megközelíteni. Ez azt jelenti, hogy ha csak egy fémből készítjük a katalizátort akkor a szóban forgó fém ionját oldószerben oldjuk és a katalizátor hordozóra felvisszük. Az esetek többségében az oldószer víz. Ha a fémion rosszul oldható vízben, avagy nem stabil a vízben, akkor komplexképzővel reagáltatjuk és a fémkomplexet használjuk. A hordozó gyakran egy oxid, pl. alumínium-oxid. A hordozót – por alakban – az említett fémiont tartalmazó oldatba keverjük, szuszpendáljuk. Az ilyen oldatot szűrjük és szárítjuk.

A következő lépésben a komplexképzőt, valamint a mintára került szerves anyagokat oxigén áramban égetéssel távolítjuk el. Ennek a lépésnek a végén az aktív fémünk oxid formában lesz, tehát redukálnunk kell. Legtöbbször hidrogénnel állítunk elő fém részecskéket. A katalizátor vizsgálata során itt merül fel, hogy milyen nagyságú klaszterek jöttek létre és a kiindulási fémionok milyen hányada redukálódott a „0” oxidációs állapotig. A nehezen redukálható fémionok esetén a reakció hőmérséklete magas kell legyen a teljes redukcióhoz. A magas hőmérsékleten viszont a nagyobb klaszterek kialakulása lesz kedvező és számolnunk kell azzal is, hogy a katalizátor felület regenerálása is csak a magasabb hőmérsékleten történhet meg és az aktív fém diszperzitása is csökkeni fog. (Diszperzításfokon a reakció számára elérhető felületi fématomok hányadát értjük. Következésképpen a nagyobb klaszterben több lesz a rosszul hasznosuló fém.)

A nemesfémek kis mennyiségben adva a katalizátorfelületre, elősegíthetik az alacsonyabb hőmérsékleten történő redukciót. Az ilyen esetek megoldására használatos a katalizátorgyártás során egy vagy akár két nemesfém használata is. A nemesfém aránya csak 5–15 atom százalék. Természetesen felmerül, hogy létrejön-e kémiai kapcsolat a két fém között. Ennek kimutatására több közvetett és néhány közvetlen módszer áll rendelkezésre. A felsorolt katalizátorkészítő lépések egy általános folyamatot igyekeznek bemutatni, de a példákat elsősorban a Fischer–Tropsch típusú katalizátorok [1, 2] közül vesszük.

Kialakult-e nanoötvözet?

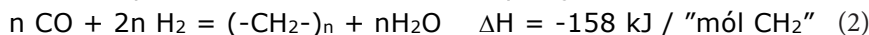
REDUKÁLHATÓSÁG

A kétfémes katalizátor redukálása során találkozhat a két fém. Amennyiben az egyik fém lényegesen készségesebben redukálódik, akkor a már redukált fémen megtörténik a hidrogén molekula kemisorpciója, azaz a:



A két fém közötti kapcsolatot közvetett és közvetlen bizonyítékok igazolhatják. Katalitikus folyamatok szempontjából a legfontosabb maga a katalizált folyamat lehet. Amennyiben a F-T (Fischer-Tropsch) folyamatban a szintézisgázból szénhidrogéneket állíthatunk elő (2).

A Fischer-Tropsch-reakció a következő képen játszódik le:



A keletkező szénhidrogének összetétele az ún. Schulz-Flory-szabályt követi [3]. A szintézisgázban a $\text{CO}:\text{H}_2$ arányt két reakcióval állíthatjuk be közel 1:2 arányban (3, 4).

Víz-gáz-reakció:



Gőz reformálás:



A F-T-reakciót jól katalizálják a Fe- és a CO-alapú katalizátorok. A katalizátorokat későbbiekben nemesfémtartalommal módosítva készítették. A nemesfémek szerepe a hidrogénnel végzett redukció előrehaladását mérve megállapítható, hogy alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik az oxidok redukciója. Az 1. táblázatban összefoglaltuk saját munka és irodalmi hivatkozások alapján néhány nemesfém hatását a CO-redukciója közben.

[3] Gucci, L.-Margitfalvi, J.-Schay, Z. (1988): A szénmonoxid katalitikus aktiválása. *A kémia újabb eredményei*, 68., Budapest: Akadémiai.

[4] Bazin, D.-Kovács, I.-Gucci, L.-Parent, P.-Laffon, C.-De Groot, F.-Ducreux, O.-Lynch, J. (2000): Genesis of Co/SiO₂ catalysts: XAS study at the cobalt LIII, LII absorption edges, *J of Catalysis*, 189., (2.), pp. 456-462.

[4] Bazin, D.–Kovács, I.–Guczi, L.–Parent, P.–Laffon, C.–De Groot, F.–Ducreux, O.–Lynch, J. (2000): Genesis of Co/SiO₂ catalysts: XAS study at the cobalt LIII, LII absorption edges, *J of Catalysis*, 189., (2.), pp. 456–462.

[5] Szamosvölgyi, Á.–Pitó, A.–Efremova, K.–Baán, B.–Kutus, M.–Suresh, A.–Sápi, I.–Szenti, J.–Kiss, T.–Kolonits, Zs.–Fogarassy, B.–Pécz, Á.–Kukovecz, Z.–Kónya A.(2024): Optimized Pt-Co Alloy Nanoparticles for Reverse Water-Gas Shift Activation of CO₂, *ACS Appl. Nano Mater*, 7., pp. 9968–9977.

[6] Guzzi, L.–Bazin, D.–Kovács, I.–Borkó, L.–Schay, Z.– Lynch, J.–Parent, P.–Laffon, C.–Stefler, G.–Koppány, Zs.–Sajó, I. (2002): Structure of Pt–CO/Al₂O₃ and Pt–CO/NaY bimetallic catalysts: characterization by in situ EXAFS, TPR, XPS and by activity in CO (carbon monoxide) hydrogenation. *Topics in Catalysis*, 20., (1–4.).

[7] Guzzi, L.–Bazin, D.–Kovács, I.–Borkó, L.–Kiricsi, I.: Relation between the structure and activity of Ru–CO/NaY catalysts studied by x-ray absorption spectroscopy (XAS) and CO hydrogenation. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 136., pp. 111–116.

[8] Jermwongratanachai, T.–JaCObs, G.–Ma, W.–Shafer, W. D.–Gnanamani, M. K.–Gao, P.–Kitiyanan, B.–Davis, B. H.–Klettlinger, J. L. S.–Yen, C. H.–Cronauer, D. C.–Kropf, A. J.–Marshall, C. L. (2013): Fischer–Tropsch synthesis: Comparisons between Pt and Ag promoted CO/Al₂O₃ catalysts for reducibility, local atomic structure, catalytic activity, and oxidation–reduction (OR) cycles. *Applied Catalysis A: General*, pp. 464–465.

[9] Bazin, D.–Borkó, L.–Koppány, Z.–Kovács, I.–Stefler, G.–Sajó, I.–Schay, Z.–Guczi, L. (2002): Re–CO/NaY and Re–CO/Al₂O₃ bimetallic catalysts: in situ EXAFS study and catalytic activity. *Catalysis Letters*, 84., (3.).

[10] Kovács, I. (2024): The Heat of Alloy Formation Determined from XPS and TDS Measurements, 2024 IEEE 7th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO–EPE) : Proceedings, Budapest, Magyarország: *IEEE Hungary Section*, 347., pp. 127–132.

1. táblázat. A CO-X összetételű katalizátorok redukálásának jellemzői

X	A redukció kezdete és vége / °C	ΔT / °C	Referencia
Pt	100 – 400	350	[6]
Ru	150 – 500	200	[7]
Ag	180 – 550	150	[8]
Re	300 – 600	150-200*	[9]

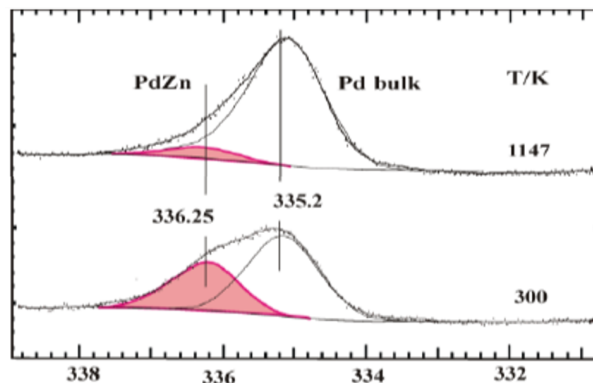
Az 1. táblázat 3. oszlopából láthatjuk, hogy a redukció hőmérséklete jelentősen csökkenthető. A hordozón lévő kobalt ionokat kb. 750–800 °C-on tudjuk teljesen redukálni [4, 5]. A nemesfémek jelenléte a redukció befejeződését mintegy 150–350 °C-kal csökkentette [6, 7, 8, 9]. A Re esetében a folyamat végén is csak teljesen redukálódott, COO / (COO + CON+) ≈ 0.72 hányada volt a teljes kobalt tartalomnak.

FOTONELEKTRON SPEKTROSKÓPIAI (XPS) BIZONYÍTÉK
AZ ÖTVÖZETKÉPZŐDÉSRE

Egykristályok felületén a nagyfelbontású XPS-mérésekkel megkülönböztethetjük a felületen és a tömbi fázisban lévő atomok elektronkötési energiájában a különbséget. Ha még közben ötvözet is kialakul, akkor a kölcsönható atomok elektrópályái kissé eltolódnak.

A monokromatikus AlK(alpha) röntgen-fotonnal gerjesztett spektrum a palládium felületen létrehozott PdZn felületi ötvözetéről a Pd 3d(5/2) helyzetét az 1. ábra mutatja. Az 1,05 eV-os eltolódást eredményeztek. Az energiaeltolódás mértéke arányos az ötvözet képződési entalpiájával. A kísérleti eredményekről bővebb adatok találhatóak még [10] cikkben.

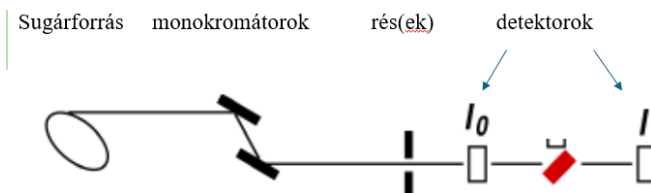
1. ábra. A Pd(100) felületre ultravákuumban felvitt Zn atomok és a felületi Pd atomok közötti ötvöződés hatására a Pd 3d(5/2) jel egy része eltolódott. A felső görbe az 1147 K-en elpárologtatott Zn



Nanométer nagyságú fémrészecskék szerkezetét közvetlenül, például transzmissziós elektron-mikroszkópiával (TEM), pásztázó tűszondás mikroszkópiákkal (STM, AFM), illetve röntgen abszorpció-él finomszerkezetének elemzésével (XANES, EXAFS) deríthetjük fel. A nanoötvözetben belül az alkotó fémek elrendeződésére következtethetünk az EXAFS-spektrumok alapján. Ennek a módszernek az előnye, hogy in-situ méréseket is végezhetünk. Az ötvözetképződés és redukció, valamint a valós reakciók közben is vizsgálhatjuk a katalizátort.

A ciklotronból jövő sugárzásból monokromátorokkal a kívánt hullámhosszúságú fotonokat a mintára vezetve az abszorpció energiafüggését rögzítettük, lásd a 2. ábra. Majd a kapott spektrumból először az abszorpció-él tartományát kell leválasztani.

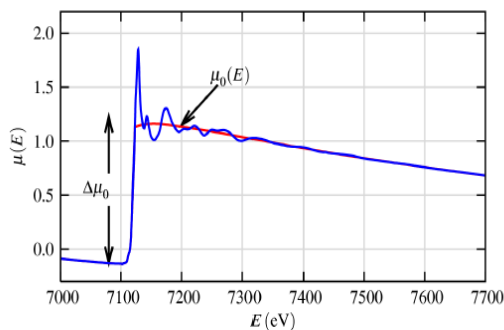
2. ábra. A mérésekhez használt berendezések sematikus elrendezése. Az ábrán balra levő ciklotrontól a pirossal jelölt mintáig. Az I és I_0 ionizációs kamrák jeleiből a Lambert–Beer-törvény szerint kapjuk a tulajdonképpeni spektrumot



[7] Gucci, L.–Bazin, D.–Kovács, I.–Borkó, L.–Kiricsi, I.: Relation between the structure and activity of Ru–Co/NaY catalysts studied by x-ray absorption spectroscopy (XAS) and CO hydrogenation. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 136., pp. 111–116.

[10] Kovács, I. (2024): The Heat of Alloy Formation Determined from XPS and TDS Measurements, 2024 IEEE 7th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO–EPE) : Proceedings, Budapest, Magyarország : IEEE Hungary Section, 347., pp. 127–132.

3. ábra. Egy vas tartalmú minta az XAS spektrumát mutatja



Abban az esetben, ha az abszorpció él után néhány 100 eV tartományban nincs másik elem elnyelése és jó jel/zaj-viszony mellett rögzítettük a spektrumnak ezt a részét, akkor egy újabb transzformációval áttérhetünk a „k” térbe:

$$k = \sqrt{\frac{2m(E - E_0)}{\hbar^2}}$$

Az utóbbi függvény Fourier-transzformációjával egy a kérdéses elem körüli gyakorisági függvényt állíthatunk elő. Az utóbbi illesztésével kaphatjuk meg az ötvözetben szereplő atomok ill. ionok körül az első koordinációs öv szerkezetét. Az utóbbi esetben a tömbfázisú alkotók segítségével kapjuk meg az ötvözők saját adatait.

Mivel átlagos elrendeződést mérünk, megtörténhet, hogy egy „mag-héj” szerkezet alakul ki, mint ahogy Ru- és CO-ötvözet esetén, amit Faujasite (FAU)-típusú zeoliton hoztunk létre. A Ru-ról kiderült, hogy megvédi a kobalt „magot” levegőben az oxidációtól [7].

A tárgyalt katalizátorok a fuel-cell technológiában is használatosak [10]. Ezért a közölt módszerek jelentősége a jövőben is megmarad.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik a néhai Gucci Lászlónak és D. Bazin, valamint Schay Zoltán professzoroknak, valamint az MTA Katalizátorkutató osztálya munkatársainak.

Galéria

Sóti István – Norvégia

















