

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

62. évfolyam 2021. 4-5. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Jegyezze elő naptárába! 2022. MÁRCIUS 9–10.

## KLENEN'22

KLÍMAVÁLTOZÁS ENERGIATUDATOSSÁG ENERGIAHATÉKONYSÁG  
XVII. KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

„Osszuk meg tapasztalatainkat, dolgozzunk együtt a természet egyensúlyának megőrzéséért”

Az energiahatékonysági kötelezettségi rendszer bevezetésének tapasztalatai – miképpen forgalmazható a hitelesített energiamegtakarítás

### HATÁRIDŐK:

Jelentkezés előadás tartására \_\_\_\_\_ 2021. október 15.

Jelentkezés kiállításra és termékbemutatóra \_\_\_\_\_ 2022. január 15.

Jelentkezés a konferenciára \_\_\_\_\_ 2022. január 31.

További információ és jelentkezés:  
[www.klenen.eu](http://www.klenen.eu)



aecenter.org



ete-net.hu



eszk.org



mi6.hu



bpmk.hu



bkik.hu



mee.hu

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

62. évfolyam 2021. 4-5. szám

2021 NOV. 18

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Főszerkesztő:  
Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:  
Dr. Groniewsky Axel

Szerkesztőség vezető:  
Kaposvári Regina

Szerkesztőbizottság:

Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter,  
Czinege Zoltán, Dr. Csűrök Tibor,  
Dr. Farkas István, Juhász Sándor,  
Korcsog György, Kövesdi Zsolt,  
Dr. Laza Tamás, Mezei Károly,  
Molnár Ferenc, PhD, Móczár Botond Máté,  
Dr. Nagy Valéria, Németh Bálint,  
Péter Szabó István, Romsics László,  
Dr. Serédiné Dr. Wopera Ágnes,  
Dr. Steier József, Dr. Stróbl Alajos,  
Szabó Benjámin István, Dr. Szilágyi Zsombor,  
Vancsó Tamás, Dr. Zsebik Albin

Honlap szerkesztő:  
Kierblewski Marius

www.ete-net.hu

Kiadja: Energiagazdálkodási  
Tudományos Egyesület  
1091 Budapest, Üllői út 25., IV. em. 420-421.  
Tel.: +36 1 353 2751,  
+36 1 353 2627,  
E-mail: titkarsag@ete-net.hu

Felélős kiadó:

Bakács István, az ETE elnöke

A szerkesztőség címe:

BME Energetikai Gépek és  
Rendszerek Tanszék

1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.  
D épület 208 sz.  
Telefon: +36 1 463 2613.  
Telefax: +36 1 353 3894.

E-mail: eng@ete-net.hu

Megjelenik kéthavonta.

Előfizetési díj egy évre: 4200 Ft  
Egy szám ára: 780 Ft

Előfizethető a díj átutalásával a  
10200830-32310267-00000000  
számlaszámra a postázási és számlázási cím  
megadásával, valamint az  
„Energiagazdálkodás” megjegyzéssel

ISSN 0021-0757

Tipográfia:

Büki Bt.  
bukiantdras@t-online.hu

Nyomdai munkák:

EFO Nyomda  
www.efonyomda.hu

Lapunkat rendszeresen  
szemléli a megújult

 OBSERVER

www.observer.hu

## TARTALOM • CONTENTS • INHALT

### Tudomány \* Science \* Wissenschaft

Kovács Róbertné, Greznár Márk, Nagy Valéria  
Motor hűtőfolyadékok vizsgálata  
elektromágneses térben 3  
*Engine antifreeze coolants testing in  
electromagnetic field*  
Motor Kühlmittel Prüfung i  
m Elektromagnetischen Feld

### Megújuló energiaforrások \* Renewable Energy

#### Sources \* Erneuerbare Energiequellen

Szilágyi Zsombor

A napenergia a jövő

Solar energy is the future

Solarenergie ist die Zukunft

#### KLENEN \* KLENEN \* KLENEN

KLENEN'21 Konferencia

KLENEN'21 Conference

KLENEN'21 Konferenz

Pálfi Anikó

Energiahatékonysági kötelezettségi

rendszerek Európában

Energy Efficiency Obligation Schemes

in Europe

Energieeffizienz-Verpflichtungssystemen

in Europa

Muth Gergely

Hidrogén – kapocs az energiaágazatok

és megújulók között

Hydrogen - link between energy sectors and

renewables

Wasserstoff - Verbindung zwischen

Energiesektoren und erneuerbaren Energien

Molnár Szabolcs

Az energetikai hulladékhasznosítás szerepe

a városok energiaellátásában

The role of energy waste recovery

in the energy supply of cities

Die Rolle der Energieabfallverwertung

bei der Energieversorgung von Städten

Balogh Zoltán,

Épületautomatizálás szerepe az épület-

energetikában – az MSZ EN 15232 szabvány

The role of building automation in building

engineering – Standard MSZ EN 15232

Die Rolle der Gebäudeautomation im

Gebäudebau – Norm MSZ EN 15232

Hirth Ferenc

Hidrogén tüzelőanyagcellás technológiák

alkalmazása a jövőben földön és vizen

Use of hydrogen fuel cell technologies

on land and water in the future

Einsatz von Wasserstoff-Brennstoffzellentechnolo-

gien zu Land und zu Wasser in der Zukunft

Babocsán Dániel

Hővesztesség csökkentés gazdaságosan

Heat loss reduction economically  
Wärmeverlustreduzierung wirtschaftlich

Petri Béla

Környezetbarát vízkő mentesítés

AQUABION®-nal, energiahatékony

megoldások tusolóknál 36

Environmentally friendly descaling with AQUA-

BION®, Energy efficient solutions for showers

Umweltfreundliche Entkalkung mit AQUABION®,

Energieeffiziente Lösungen für Duschen

Ihász Nóra

Ipar 4.0 alkalmazása a termelés és

energiahatékonyság érdekében 41

Using Industry 4.0 for production and energy

efficiency

Verwendung Industrie 4.0 Produktion und

Energieeffizienz

Markovics Dávid, Mayer Martin János

Gépi tanulási algoritmusok összehasonlítása

napelemparkok termelés előrejelzésére 44

Hydrogen - link between energy sectors and

renewables

Wasserstoff - Verbindung zwischen

Energiesektoren und erneuerbaren Energien

Bohunka Dávid

A hidrogén árának vizsgálata technológiával

összevetésben, jövőbeli prognózisok áttekintése 49

Examination of the price of hydrogen in compari-

son with technology, review of future forecasts

Untersuchung des Wasserstoffpreises im

Vergleich zur Technologie, Überprüfung

zukünftiger Prognosen

### Hűtéstechika \* Refrigeration \* Kühlung

Varga Péter

Mélyhűtés alapszinten -8°C-ig ammónia-víz

abszorpciós folyadékűtőkkel 53

Freezing at basic level up to -8°C ammonia

water with absorption chillers

Gefrierschrank auf Basisniveau bis -8°C

Ammoniak-Wasser-Absorptionskältemaschinen

### Épületenergetika \* Building energy \*

#### Gebäudeenergie

Egyházi Zoltán

Hibrid rendszerű hőtárolós lakáskészülék

megoldások 55

Hybrid heat storage home appliance solutions

Hybride Wärmespeicher-Haushaltsgeräteslungen

### Földgáz \* Natural Gas \* Erdgas

Szilágyi Zsombor

A lakossági földgáz árak

Prices of residential natural gas

Preise für Erdgas für Privathaushalte

ETE Hírek

ETE News

ETE Nachrichten

# Motor hűtőfolyadékok (vizsgálata) elektromágneses térben

Kovács Róbertné

okl. gépészmérnök, veszelov@mk.u-szeged.hu

Greznár Márk

gépészm., termelési és karbantartási mérnök, mgreznar@suzuki.hu

Nagy Valéria

okl. gépészm., környezetvéd. szakjogász, valinagy78@mk.u-szeged.hu

A belsőégésű motorokhoz alkalmazott hűtőfolyadékok küldetése ma már komplex: az elsődleges hűtési és kiegészítő korróziógátlási feladatok ellátása mellett a környezetre gyakorolt hatás mértékének elhanyagolható szinten tartása is alapvető elvárás. A gyártók és felhasználók közös érdeke, hogy e küldetés maradéktalanul meg is valósulhasson. Egyetemi oktatóként, kutatóként, mérnökként, hallgatóként pedig együttműködve és kíváncsisággal fordulunk az ipar és a társadalom részéről is egyaránt érdeklődésre számot tartó téma irányába.

Az előbbi gondolatmenethez illeszkedve, de élve a kutatói szabadsággal, a jelen közleményben bemutatott kutatómunka alapvető célkitűzése a belsőégésű motorokban alkalmazható különböző hűtőfolyadékok (Glicosam Z, Prelix Z, Sheron K, Prelix P, Sheron P) dielektromos vizsgálata DAK-3.5 dielektromos mérőrendszer segítségével. A vizsgálatok a mikrohullám tartományban (200–2400 MHz frekvenciatartományra szűkítve) és adott hőmérsékleteken (20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C), továbbá a gyártói ajánlások szerinti (ioncserélt vízzel való) hígítás mellett történtek. A kiválasztott hűtőfolyadékokból vett minták elektromágneses térbeni viselkedése rámutatott a hűtőfolyadékok eltérő összetételére, a gyártási technológiára, illetve a különböző töménységre visszavezethető anyagminőségi jellemzőkre. A hűtőfolyadékok viselkedéskarakterisztikái tulajdonképpen kiegészítik a hűtőfolyadékok termékajánlóján és biztonsági adatlapján szereplő fizikai- és kémiai paraméterek listáját, mind teljesebb tájékoztatást nyújtva a felhasználóknak. A hűtőfolyadék minták vizsgálati eredményei közül a 900 MHz frekvenciához és a 2400 MHz frekvenciához tartozó mérési eredményeket mutatjuk be, nevezetesen a komplex permittivitás képzetes részének ( $\epsilon''$ ) és a fagyállóságnak ( $t$ ) a kapcsolatát. Járulékos célkitűzésként a vizsgálatok villamosenergia szükségletének meghatározása is megfogalmazódott, amelyhez az Energy Logger 4000 mérőeszköz nyújtott segítséget.

\*

Today, the mission of coolants used for internal combustion engines is complex: the primary task is to perform the cooling and additional to perform the anti-corrosion tasks, but it is also a basic requirement to keep the level of impact on the environment to a negligible level. It is in the common interest of manufacturers and users that this mission can be fully realized. We cooperate as a university lecturer, researcher, engineer and student, and we are curious about a topic that is of interest to both industry and society. In the present paper, following the ideas but taking advantage of the researcher's freedom, the basic objective of the research work is the dielectric study of various engine coolants (Glicosam Z, Prelix Z, Sheron K, Prelix P, Sheron P) using the DAK-3.5 (Dielectric Assessment Kit) measuring system. The tests were performed in the microwave range (limited to the frequency range 200–2400 MHz) and at

specific temperatures (20 °C, 30 °C, 40 °C, 50 °C) and at the manufacturer's dilution (with deionized water). The electromagnetic behaviour of the selected coolant samples pointed to the different composition of the engine coolants, the production technology and the material quality characteristics due to the different concentrations. In fact, the behavioural characteristics of the coolants complement the list of physical and chemical parameters in the product data sheet and safety data sheet of the coolants, providing users with more and more complete information. Among the test results of the coolant samples, the measurement results at 900 MHz and 2400 MHz are presented, namely the relationship between the imaginary part of the complex permittivity ( $\epsilon''$ ) and the antifreeze capacity ( $t$ ). An additional objective was to determine the (energy) electricity demand of the tests, using the Energy Logger 4000 meter.

\*\*\*

A hűtőfolyadékok belsőégésű motorokban történő alkalmazása során fontos követelmény a fagyvédelem, ugyanakkor a motor túlmelegedése is elkerülendő. Tekintettel arra, hogy a hűtőfolyadékok feladatai között megjelenik a hűtőfolyadékok korróziógátlás is, ezért a körültekintően megválasztott hűtőfolyadék a motor megbízható üzemének egyik alapfeltétele. A kereskedelmi forgalomba kerülő legtöbb hűtőfolyadék fagyállóságát az etilén-glikol (olvadáspont/fagyáspont: -12,9 °C, forráspont: 197,3 °C, lobbanáspont: 111 °C) biztosítja. A tömény etilén-glikol tehát már kb. -13 °C hőmérsékleten „megfagy”, azonban ez a fagyáspont ioncserélt vízzel történő hígítással bizonyos mértékig csökkenthető. Ennek magyarázata, hogy a víz molekuláival kötött erős hidrogénkötés megakadályozza a jégkristályok kialakulását. A korrózió elleni védelem pedig különböző adalékokkal valósítható meg, melyek alapvetően meghatározzák a gyártási technológiát. A technológiák szerinti csoportosítással a következő hűtőfolyadék típusok különböztethetők meg [12]:

- *IAT (Inorganic Acid Technology)*: Tulajdonképpen ez a „hagyományos” technológia. Az így készülő hűtőfolyadék etilén-glikol alapú, szilikát és foszfát adalékolással. A korrózió elleni védelem úgy biztosított, hogy az adagolt inhibitorok egy védőréteget képeznek a felületen, amely megakadályozza a réz, sárgarézt, öntöttvas és alumínium alkatrészek rozsdásodását és korrózióját. A védőfilm kialakítása során az inhibitorok mennyisége folyamatosan csökken, míg végül elfogy a folyadékból, ezért ajánlatos lecserélni azt a gyártó által ajánlott időközönként akkor is, ha a fagyvédelem biztosítása egyébként még megfelelő.
- *OAT (Organic Acid Technology)*: A propilén-glikol alapú szilikátmentes hűtőfolyadékok ugyanolyan fémvédelmet biztosítanak, mint az IAT hűtőfolyadékok. Egyébiránt a propilén-glikol alapú hűtőfolyadék kevésbé mérgező, biztonságosabb a környezet számára, és hosszabb védelmet nyújt, mint az

etilén-glikol, valamint borát-, nitrit-, nitrát-, foszfát-, szilikát- és aminmentes. A korrózió elleni védelmet ebben az esetben a szerves savakból, karboxilátokból előállított semlegesített sók adják. (A Dex Cool technológia is egy OAT, etilén-glikol alapú, nitrit-, borát-, foszfát-, nitrát-, amin- és szilikátmentes, de ugyanazzal a fém kopásvédelemmel bír, mint az IAT.)

- **HOAT (Hybrid Organic Acid Technology):** Ezzel a hibrid adaléktechnológiával készülő hűtőfolyadékok az IAT hűtőfolyadékokhoz hasonlóan tartalmaznak szilikátot is (szilikát tartalmú inhibitor (kb. 400–500 mg/liter)) kiegészítendően a szerves savak sóinak védő hatását az alumínium védelme érdekében, és hosszabb védelmet nyújt, mint az IAT hűtőfolyadék, továbbá nitrit-, foszfát- és amin vegyi anyagoktól mentes.
- **NOAT (Nitrited Organic Acid Technology):** Tulajdonképpen nitrit tartalmú OAT hűtőfolyadék.
- **SHOAT (Silicate-Enhanced Hybrid Organic Acid Technology):** A szilikátdúsított és hibrid technológiával készülő hűtőfolyadékok hosszú élettartamúak, akár öt év vagy több százezer km futásteljesítményen is fagyálló képességet képesek biztosítani.
- **SOAT (Silicate-Enhanced Organic Acid Technology):** A szilikátdúsított szerves sav technológiával készülő hűtőfolyadékok is hosszú élettartamúak (akár öt év vagy akár 250 ezer km futásteljesítményen is fagyálló képességet képesek biztosítani).
- **POAT (Phosphate Organic Acid Technology):** Foszfát tartalmú hosszú élettartamú hűtőfolyadékok, amelyek hét év vagy akár 400 ezer km futásteljesítményen is képesek biztosítani a védelmet.

A technológiákkal kapcsolatban megjegyzendő, hogy a környezetre gyakorolt kedvezőtlen hatás csökkentése érdekében a propilén-glikol alapú (nem toxikus) hűtőfolyadékok alkalmazása preferált.

Noha a motor hűtőfolyadékok élettartamát tekintve a fagyáspont kívánt értékenél magasabb értékre történő emelkedése, illetőleg a korróziógátló adalékok fogyása teszi szükségessé a cserét, a motor hűtőfolyadékok fizikai, kémiai tulajdonságainak megismerése mellett érdeklődésre tarthat számot a hűtőfolyadékok elektromágneses térbeni vizsgálata is. Hipotézisünk szerint a motor hűtőfolyadékok fagyállósági viselkedéskarakteristikájára lehet következtetni a dielektromos jellemzők alapján. A vizsgálatok előjárójaként szükséges néhány tudomány- és technikatörténeti vonatkozású információt is felidézni, amely alkalmas arra is, hogy tágabb kontextusba helyezzük a kutatást. Az elektromágneses spektrum 300 MHz és 300 GHz közé eső tartományát nevezzük mikrohullámú sugárzásnak. Az alapelveket már több évtizede kidolgozták, melynek során Michael Faraday (angol fizikus és kémikus, 1791–1867) munkássága is meghatározó volt: megalkotta az elektromágneses tér koncepcióját. Míg az elektromágneses elmélet alapvetéseit James Clerk Maxwell (skót fizikus, 1831–1879) fogalmazta meg 1873-ban [8], [7], [13]. A mikrohullámokkal foglalkozó mérnöki tudomány tehát mára egy kiforrott tudományterületnek számít.

A különböző közegek villamos teret befolyásoló hatása egy skalármennyiséggel írható le: a villamos permittivitás vagy abszolút dielektromos állandó ( $\epsilon$  [As/Vm]). A villamos permittivitás értéke a tér bármely pontjában meghatározható a vákuum villamos permittivitásának ( $\epsilon_0 = 8,852 \cdot 10^{-12}$  [As/Vm]) és az adott anyag vákuumhoz viszonyított, úgynevezett relatív permittivitásának ( $\epsilon_r$  dimenzió nélküli szám) szorzataként az (1) összefüggés szerint.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (1)$$

Ha a dielektrikumot, amely tulajdonképpen olyan szilárd, folyékony vagy gáznemű anyag, amely villamosan szigetelőként viselkedik (vagyis fajlagos ellenállása  $10^8 \Omega\text{m}$  értéknél nagyobb), időben változó elektromágneses térbe helyezzük, akkor két jelenség figyelhető meg: egyrészt az elektromágneses tér hatására az anyag polarizálódik, másrészt az átvezetés is fellép. A polarizációs és átvezetési veszteség együtt a dielektromos veszteség. Ezeknek a jelenségeknek a mennyiségi jellemzésére vezették be a frekvenciától, hőmérséklettől, nyomástól és anyagi minőségtől is függő komplex permittivitást:

$$\epsilon = \epsilon' - \epsilon'' \cdot j \quad (2)$$

Az  $\epsilon'$  a komplex permittivitás valós része, a valós dielektromos állandó, amely azt mutatja meg, hogy az adott anyag milyen mértékben képes tárolni az elektromos tér energiáját. Míg  $\epsilon''$  a komplex permittivitás képzetes része, a veszteségi tényező, amely az elektromos energia hővé alakulásának mértékét jellemzi. A  $j$  a képzetes egység [14], a negatív előjelet pedig a képzetes tag előtt az energiamegmaradás törvénye indokolja [8].

A szakirodalomban olvasható elméletek confirmációjaként a kutatás első részében [3] „tisztá” (belső égésű motor hűtésére még nem használt) etilén-glikol alapú motor hűtőfolyadékok (gyártói ajánlások szerinti hígítások mellett), mint többkomponensű anyagok frekvenciafüggő és hőmérsékletfüggő dielektromos viselkedését tanulmányoztuk. Hiszen napjainkban még a víz–etilén-glikol keverék típusú motor hűtőfolyadékok a leggyakrabban használt folyadékok a gépjárművek hűtőrendszerében, ugyanakkor az ilyen motorhűtőfolyadékok hőátadási tényezője korlátozott. A nanotechnológia gyors fejlődése viszont egy „új” folyadékosztály kialakulásához vezetett. A nanofolyadékok alkalmazása ígéretes, kedvezőbben alakulhat a hővezető képesség a hagyományos hűtőközegekhez képest. Kísérleti eredmények igazolják, hogy például a szilícium-karbid (SiC) alapú homogén és stabil nanofolyadékok hővezetési képessége és viszkozitási tulajdonságai jobbak [6], mint a hagyományos folyadékoké. Noha mind a víz, mind az etilén-glikol alapfolyadék használható hűtőfolyadékként a motorokban, hőátadó képességüket a nanorészecskék hozzáadása növeli. A termofizikai tulajdonságok javításának alternatívája tehát a nanofolyadékok előállítására fém-oxidok felhasználásával. A víz és az etilén-glikol bázisú folyadékok – mint alapfolyadékok – CuO, valamint Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanorészecskékkel is összekeverhetők. A kísérletek eredményei a CuO nanorészecskék esetén hatékonyabb hőátadási tulajdonságokat mutattak az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanorészecskékhez képest [5].

Míg a szilícium-dioxid-lignin (SiO<sub>2</sub>-L) részecskék (különböző tömegfrakciókkal diszpergálva etilén-glikolban) dielektromos tulajdonságainak vizsgálata azt mutatják, hogy az etilén-glikolhoz még kis mennyiségben hozzáadott SiO<sub>2</sub>-L nanorészecske is a permittivitás jelentős növekedését eredményezi. Az etilén-glikolban növekvő nanorészecske frakciót diszpergálva, a vizsgált minták permittivitása és vezetőképessége egyaránt növekedett. Megerősítést nyert az is, hogy a hőmérséklet növekedése is a permittivitás és a vezetőképesség növekedését okozza, de a hatás gyengébb, mint a növekvő tömegfrakciók okozta hatás [2], [10].

A fentiek alapján körvonalazódott a kutatási célkitűzés, vagyis a különböző összetételű és gyártási technológiával készült „hagyományos” hűtőfolyadékok [15–19] dielektromos viselkedé-

sének vizsgálatával rávilágítani a különböző frekvenciák és a hőmérséklet(változás) együttes hatásaira a fentebb már megfogalmazott hipotézis vonatkozásában, valamint mind teljesebb tájékoztatást nyújtani a felhasználóknak a már ismert fizikai, kémiai paramétereken túlmenően.

Továbbá járulékos célkitűzésként a mérőberendezés, mérőrendszer üzemeltetése során felhasznált villamos energia mennyiségének a meghatározása is hozzátartozik a vizsgálatokhoz. Ugyanis a műszaki mérnöki gyakorlatban végzett kísérletek, mérések tervezésénél a legtöbb esetben nem tér ki a tervezés a vizsgálatok energiafelhasználásának meghatározására. Azonban napjainkban szinte kivétel nélkül olyan mérőberendezéseket, mérőrendszereket alkalmazunk, amelyek energiaigénye nem elhanyagolható a rendszeres és tartós mérések vonatkozásában.

## Anyag és módszer

Az elektromágneses térbe helyezett anyagokban az elektromágneses hullámok egy része elnyelődik, illetve a hullámok egy része áthalad azokon vagy visszaverődik azok felületéről. A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karának Hő- és Áramlástan Laboratóriumába telepített DAK-3.5 dielektromos mérőrendszer segítségével 200 MHz és 20 GHz közötti frekvenciatartományban végezhető mérések, és többféle anyagra gyári kalibrációval is rendelkezik.

Mivel az iparban, a háztartásokban és a gazdaság egyéb területein is alkalmazzák a mikrohullámú sugárzást, ezért az esetleges interferenciák elkerülése érdekében fontos a különböző célú technológiákban használható frekvenciák nemzetközi szintű szabályozása. A Nemzetközi Telekommunikációs Szövetség (International Telecommunication Union) az ipari, kutatási és egészségügyi elektronikus berendezések, illetve alkalmazások számára az ún. ISM (Industrial, Science, Medical) frekvenciasávokat jelölte ki. Nagyobb teljesítményszükséglet esetén 915±13 MHz, kisebb teljesítményigény esetén 2450±50 MHz frekvenciájú elektromágneses sugárzás alkalmazható [4.], [20]. Ennek megfelelően a 900 MHz és a 2400 MHz frekvencián végzett mérések eredményei szolgálnak iránymutatásként.

Az éppen vizsgált anyagok dielektromos paraméterei az adott anyag felületéről visszavert jelek reflexiók együtthatójának ( $\Gamma$ ) ismeretében számíthatók ki (amelyről a későbbiekben még lesz szó), ezért a mérés különösen érzékeny minden olyan körülményre, amely megváltoztatná az elektromágneses hullámok fázisát, amplitúdóját vagy akár magukat a visszavert jeleket. A mérőberendezés érzékelője egy koaxiális kábelen keresztül közvetlenül csatlakozik a vektor hálózat analizátorhoz (VNA – Vector Network Analyzer), tehát biztosítva van a visszavert jelek stabilitása. A mérés megkezdése előtt kalibrálást kell végezni, továbbá minden mérés előtt/után meg kell tisztítani a mérőfejet az adott anyag maradványaitól [11]. A vizsgálatba bevont anyagok folyadékok: különböző összetételű és kétféle gyártási technológiával (IAT és OAT) készült motor hűtőfolyadékok (1. táblázat). Tehát a mérés elvégzéséhez az érzékelőt – amely az anyag felületéről visszaverődő jeleket fogadja – folyadékok esetén bele kell meríteni azokba.

A mérések eredményeként az alábbi „jellemzők” (abszolút és származtatott fizikai mennyiségek) állnak rendelkezésre ahhoz, hogy az anyagok összetétele, töménysége (fagyállósága), gyártástechnológiai sajátosságai között összefüggésekre lehessen rámutatni:

- $\epsilon$  – komplex dielektromos állandó (komplex permittivitás);
- $\epsilon'$  – komplex permittivitás valós része;

1. táblázat. A motor hűtőfolyadékok fontosabb jellemzői [15–19] alapján

Kereskedelmi megnevezés (gyártó)	Minta-azonosító	Hígítási arányok, fagyállóság	Gyártási technológia
Glicosam Alu koncentrált hűtőfolyadék (Semato Kft.)	Glicosam Z	1:2 (–10 °C)	IAT
		1:1 (–20 °C)	
		3:2 (–28 °C)	
		2:1 (–33 °C)	
Prelix auto-glykol fagyálló hűtőfolyadék (Medikémia Zrt.)	Prelix Z	1:2 (–10 °C)	IAT
		1:1 (–20 °C)	
		3:2 (–28 °C)	
		2:1 (–33 °C)	
SHERON fagyálló koncentrárum G11 (Sheron)	Sheron K	1:3 (–12 °C)	OAT Dex Cool
		1:2 (–18 °C)	
		1:1 (–36 °C)	
		1:0,8 (–46 °C)	
Prelix auto-glykol fagyálló hűtőfolyadék koncentrárum (Medikémia Zrt.)	Prelix P	1:2 (–16 °C)	OAT
		1:1 (–35 °C)	
		3:2 (–40 °C)	
		2:1 (–46 °C)	
SHERON fagyálló koncentrárum G12++ (Sheron)	Sheron P	1:3 (–12 °C)	OAT
		1:2 (–18 °C)	
		1:1 (–36 °C)	
		1:0,8 (–46 °C)	

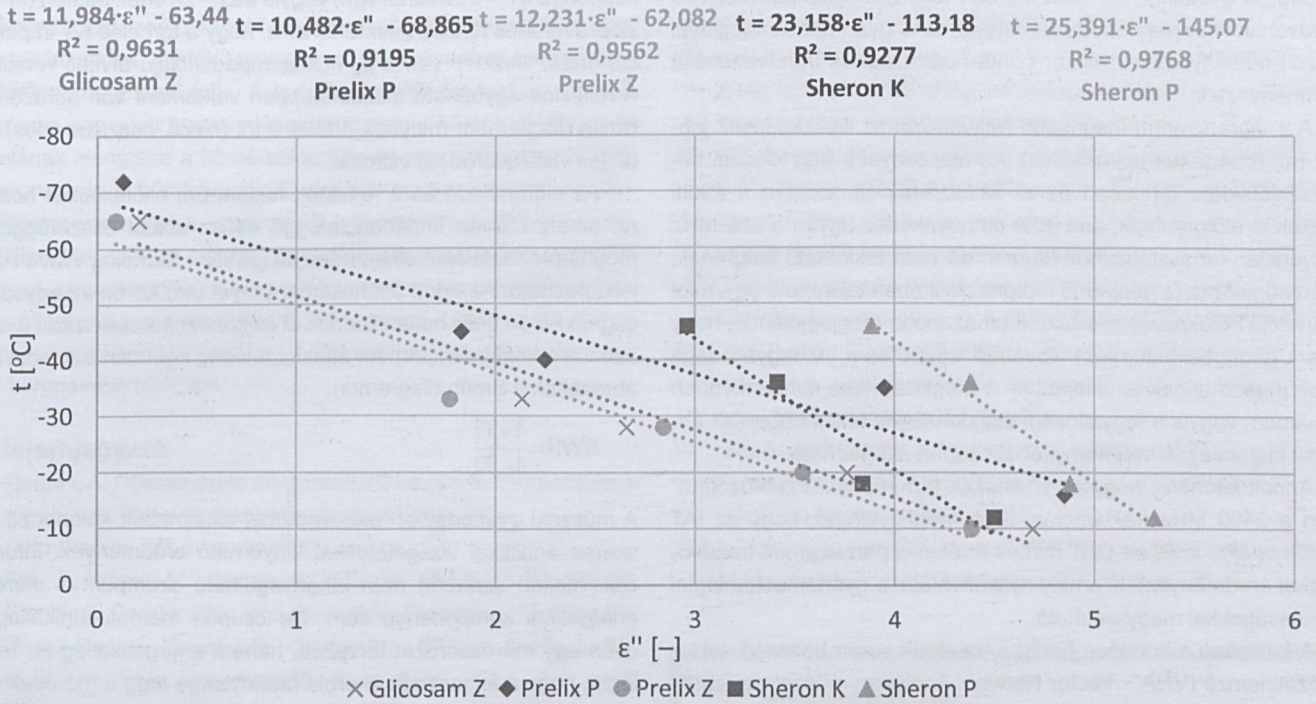
- $\epsilon''$  – komplex permittivitás képzetes része;
- $\sigma$  – vezetőképesség;
- $\text{tg} \delta$  – veszteségi tényező;
- $\Gamma$  – reflexiók együttható.

A dielektromos jellemzőket álló közeg esetében (statikus mérések) vizsgáltuk. Egy-egy hűtőfolyadék mintához tartozó mérési eredmény 10 mérési adat átlagaként adódott. A mérési eredmények grafikus ábrázolásakor ez utóbbiakat használtuk.

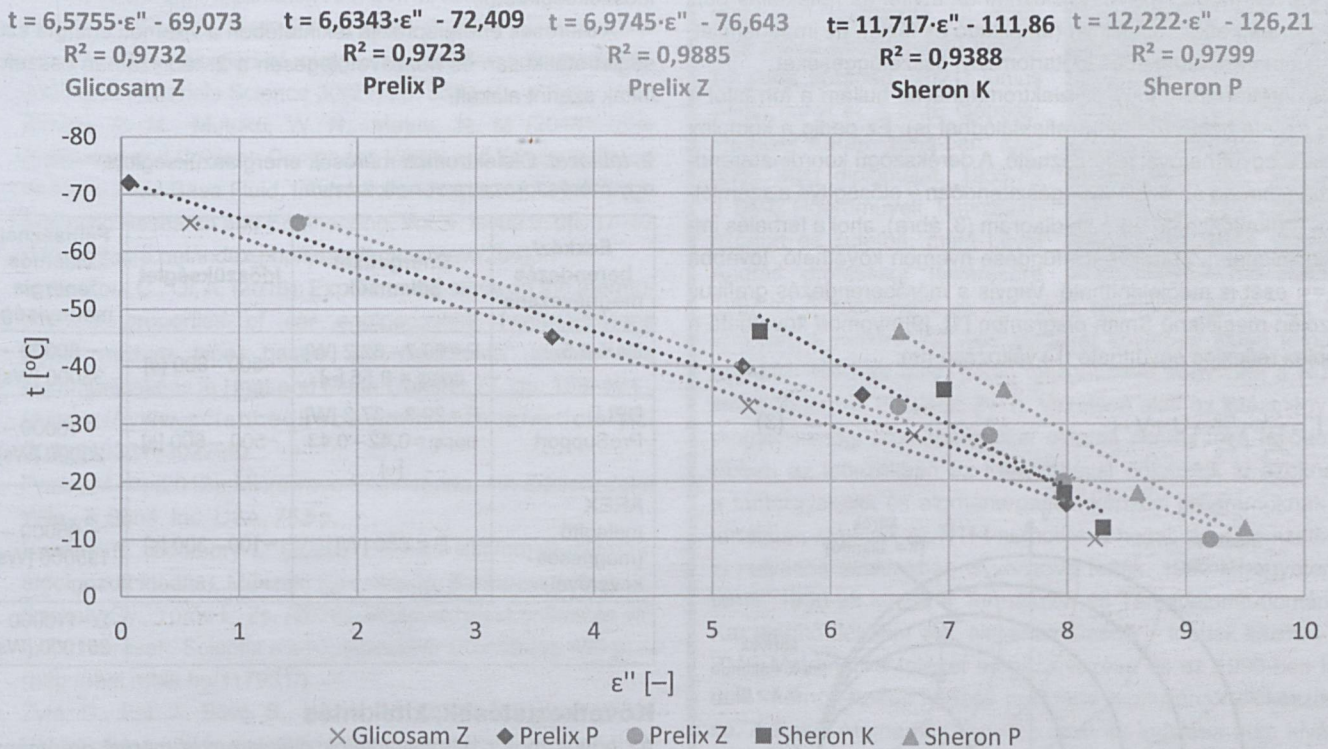
## Eredmények és értékelésük

Vizsgálataink során különböző gyártóktól származó, különböző technológiával készült, különböző hígítási arányú motor hűtőfolyadékok dielektromos paramétereit mértük és vizsgáltuk, összefüggéseket keresve a jellemzők és a motor hűtőfolyadékok tulajdonságai között, különös tekintettel a fagyállóságra. Ezek közül a mérési sorozatok közül választottunk ki kettőt az alábbi szempontok figyelembevételével.

A motorhűtés vonatkozásában a dielektromos jellemzők közül a komplex permittivitás képzetes részének ( $\epsilon''$ ) hűtőfolyadékonkénti tanulmányozása kétségkívül többlet információt szolgáltat az adott hűtőfolyadék viselkedéskarakterisztikájának mind pontosabb megismeréséhez, azonban az eltérő hígítási arányok melletti frekvenciafüggés és hőmérsékleti hatások együttesen nehezen értékelhetők fagyállóság szempontjából, ezért két frekvenciát választottunk ki a tartományon belül: 900 MHz és 2400 MHz. Választásunkat az Anyag és módszer fejezetben már ismertetett, a Nemzetközi Telekommunikációs Szövetség által tett ajánlások indokolták. A vizsgált hőmérsékletek közül pedig a hűtőfolyadékok átlagos tárolási hőmérsékletén (20 °C) végzett mérési eredményeket mutatjuk be.



1. ábra. A különböző motor hűtőfolyadékok fagyállóságának és dielektromos viselkedésének kapcsolata 900 MHz frekvencián



2. ábra. A különböző motor hűtőfolyadékok fagyállóságának és dielektromos viselkedésének kapcsolata 2400 MHz frekvencián

Az 1. ábra a fentiek értelmében tehát a fagyállóság és a komplex permittivitás képzetes részének ( $\epsilon''$ ) kapcsolatát szemlélteti 900 MHz frekvencián a vizsgált motor hűtőfolyadék minták esetében. A diagramon egy adott hűtőfolyadéktípushoz tartozóan igazolódni látszik a már említett két változó közötti kapcsolat léte és erőssége. A kapcsolat minőségének jellemzésére és a tendenciák megjelenítésére alkalmasnak bizonyult a függvények formájában történő

megjelenítés, a korrelációs és regresszióanalízis, illetve a trendvonal alkalmazása. Általánosságban elmondható, hogy a fagyállóság és a komplex permittivitás képzetes része közötti kapcsolat tekinthető lineárisnak (az  $R^2$  értékek minden esetben 0,9 fölöttiek, szoros illeszkedésről tanúskodnak), továbbá a Glicosam Z, Prelix P és Prelix Z minták esetében az  $\epsilon'' \rightarrow 0$ -hoz, ha a hígítási arányok kisebbek. Vagyis a kedvezőbb fagyállósághoz egy nagyságrenddel

kisebb  $\epsilon''$  érték tartozik. Az IAT gyártástechnológiával készült hűtőfolyadékok mintáinak (Glicosam Z és Prelix Z) értékei párhuzamos trendvonalakat eredményeztek, míg az OAT gyártástechnológiával készült hűtőfolyadékok mintái szintén párhuzamos trendvonalakat eredményeztek.

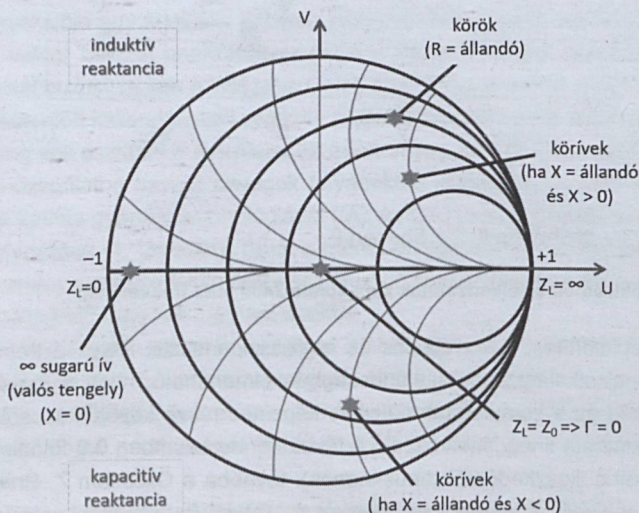
A 2. ábra szerinti magasabb frekvencián az illeszkedések jobbak (az  $R^2$  értékek növekedtek). Az alacsonyabb fagyállósági hőmérsékletekhez tartozóan az  $\epsilon''$  válaszreakcióit tekintve 9 fölötti értékek is előfordulnak, ami 80%-os növekedés ugyan a 900 MHz frekvencián tapasztaltakhoz képest, de nem tekinthető kiugrónak, lévén hogy a víz (a gépjármű motorteknikában tekinthető úgy, mint referencia hűtőközeg)  $\epsilon''$  értéke 8 (itt azonban megjegyzendő, hogy erős a hőmérsékletfüggés). Továbbá ismeretes a víz fagyállósága is, de persze ennek az állapotnak a megközelítése mindenképpen kerülendő, vagyis a fagyállósági tulajdonságok tekintetében az abszolút biztonságos tartomány lehet csupán elfogadható.

Annak ellenére, hogy az  $\epsilon''$  értékek tartománya „széthúzódott” ezen a 2400 MHz frekvencián, itt is megfigyelhető, hogy az IAT minták értékei is és az OAT minták értékei is párhuzamos trendvonalakat eredményeztek, amely nyilvánvalóan a gyártástechnológiai sajátosságokkal magyarázható.

A fentiekén túlmenően pedig a mérések során használt vektor hálózatelemző (VNA – Vector Network Analyzer) műszer az amplitúdó- és fázisinformációk alapján meghatározza az impedanciákat, a reflexiók együtthatót, az állóhullám arány frekvenciafüggő értékeit, valamint lehetővé teszi egyéb nemlineáris jellemzők elemzését is. Ilyen módon a VNA kijelozheti az átvitel és reflektálás bármely paraméterkombinációját (amplitúdó és fázis), az impedanciát, állóhullám arány-értéket és időtartományi összefüggéseket.

Tekintettel arra, hogy az elektromágneses hullám a forrástól a terhelés felé halad (de akár reflektálódhat is). Ez pedig a komplex reflexiók együtthatóval jellemezhető. A derékszögű koordináta-rendszerben történő ábrázolást kiegészítendő – elősegítve a szemléltetést – alkalmazható a Smith diagram (3. ábra), ahol a terhelés impedanciájának ( $Z_L$ ) frekvenciafüggése nyomon követhető, továbbá a  $Z_L = \infty$  eset is megjeleníthető. Vagyis a mérőberendezés grafikus kijelzőjén megjelenő Smith diagramon [1], [9] nyomon követhető a komplex reflexiók együttható ( $\Gamma$ ) változása (is).

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = U + V \cdot j \quad (3)$$



3. ábra. Egyszerűsített Smith diagram [1], [9].

Az (U, V) koordináta-rendszerben felrajzolt egységnyi sugarú kör középpontja a  $\Gamma = 0$  értéknél van, vagyis a  $Z_L = Z_0$  érték esetén (amikor visszaverődés nincs), tekintettel arra, hogy a terhelés ( $Z_L$  impedancia érték) illetve van a  $Z_0$  hullámimpedanciájú átviteli vonalhoz. A reflexiók együttható tulajdonképpen vektorként van ábrázolva a Smith diagramon, melynek értéke 0-tól (nincs visszaverődés) 1-ig (teljes visszaverődés) változik.

Az előrehaladó és a reflektált hullám ún. állóhullámot hoz létre, amely szintén impedanciafüggő és az alábbi összefüggéssel meghatározható állóhullám aránnyal (SWR – Standing Wave Ratio) jellemezhető. Az adott állóhullám aránnyal bíró körök az egységnyi sugarú körön belül helyezkednek el és koncentrikusak azzal (vagyis azonos a középpontjuk). Az áttekinthetőség kedvéért ezt most nem ábrázoltuk a Smith diagramon.

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4)$$

A műszaki gyakorlatban előszeretettel alkalmazott különböző műszeres analitikai vizsgálatokkal kinyerhető eredmények, információk mellett azonban nem elhanyagolható szempont a mérések energetikai komponense sem. Ne csupán mérés technikailag legyen egy mérőszorozat tervezett, hanem energetikailag is. Tautológia, hogy a felhasznált energia mennyisége függ a mérések és a mintaelőkészítések során használt eszközök és berendezések teljesítményétől, valamint az adott mérőszorozat időszükségletétől és a mérési eredmények rögzítésének/letöltésének/konvertálásának időszükségletétől.

A mérések energiaprofilja tekintetében a villamos energia szükséglet statikusan és hozzávetőlegesen a 2. táblázatban összefoglaltak szerint alakult.

2. táblázat. Dielektromos mérések energiaszükséglete egy mérőszorozatra vonatkoztatva

Eszköz/berendezés megnevezése	Energetikai jellemzők	Időszükséglet	Felhasznált villamos energia mennyisége
DAK-3.5	$P = 60,7 - 62,2$ [W] $\cos\varphi = 0,55$ [-]	~500 – 600 [s]	~ 30000 – 36000 [Ws]
DELL ProSupport	$P = 29,3 - 37,3$ [W] $\cos\varphi = 0,42 - 0,43$ [-]	~500 – 600 [s]	~ 15000 – 20000 [Ws]
AREX melegítő (mágneses keverővel)	$P = 650$ [W]	~100 – 300 [s]	~ 65000 – 195000 [Ws]
			$\Sigma \sim 110000 - 251000$ [Ws]

### Következtetések, kitekintés

Az egyes motor hűtőfolyadékok dielektromos mérési eredményei azt mutatják, hogy a komplex permittivitás képzetes részének ( $\epsilon''$ ), mint dielektromos jellemzőnek az értékei korrelálnak a fagyállósággal. Az  $\epsilon''$  értékek csökkenése a fagyállóság javulását jelenti. Nevezetesen a nagyobb hígítási arány minden minta esetében értelemszerűen alacsonyabb fagyállósággal párosult és a dielektromos viselkedés magasabb  $\epsilon''$  értékekkel jellemezhető. A mérési eredmények tendenciózusan hasonlóak mind 900 MHz frekvencián, mind pedig 2400 MHz frekvencián. A frekvencia növekedésével azonban az  $\epsilon''$  dielektromos paraméter tartománya kiszélesedett. A hűtőfo-

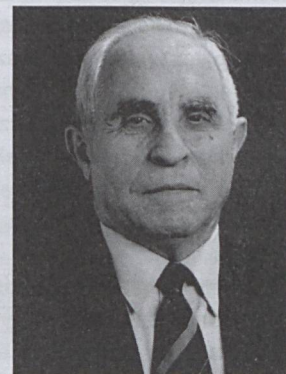
lyadék minták frekvenciától és technológiától függetlenül hirtelen  $\epsilon''$  növekedést mutattak a nagyobb hígítási mintáknál.

Korrelációs szempontból hasonló viselkedést mutatnak a vizsgált hűtőfolyadék minták, azonban a hígítási arány hatása egyértelműen megmutatkozik. A kutatás tovább folytatása indokolt, mégpedig egy adott frekvenciához tartozóan a hőmérsékletlépcsők hatásának elemzése a hőmérsékletfüggés pontosabb megmutatásához, vagyis a hűtőfolyadékok elektromágneses térbeli viselkedéskarakterisztikájának egyértelmű jellemzéséhez többdimenziós analízis (több változó együttes megléte alapján történő vizsgálat) végzése vezet komplex (a tudományos életben és a gyakorlati életben egyaránt hasznosítható) eredményekhez. Ugyanis Goldbach-sejtés módjára minden fizikai vizsgálat segíti a töredékes információkat koherenssé alakítani.

## Irodalomjegyzék

1. Дошнич, А.: Применение диаграммы Смита при согласовании устройств. Украинском УКВ портале 2016, 18 p. (<http://ra6foo.qrz.ru/smith.html>)
2. Fal, J., Wanic, M., Budzik, G., Oleksy, M., Żyła, G. (2019): Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Silicon Oxide-Lignin Hybrid Particles. *Nanomaterials* 9, pp. 1–16
3. Greznár M., <https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode= browse&sel=10030667>Kovács R. (2019): Motorhűtő folyadékok dielektromos tulajdonságainak vizsgálata. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok XIV. évf. 1. szám*, pp. 45–52
4. Jacob J, Chia LHL, Boey FYC. (1995) Review – Thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials. *Journal of Materials Science* 30(21) pp. 5321–7.
5. Kimulu, A. M., Mutuku, W. N., Mutua, N. M (2018): Car Antifreeze and Coolant: Comparing Water and Ethylene Glycol as Nano Fluid Base Fluid. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, Vol. 4, Issue 6, pp. 17–37 (<https://ijasre.net/index.php/ijasre/article/view/284>)
6. Li, X., Zou, C., Qi, A. (2016): Experimental study on the thermophysical properties of car engine coolant (water/ethylene glycol mixture type) based SiC nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 77, pp. 159–164 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193316302299>)
7. Pozar, M. D. (2012): *Microwave Engineering*, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA, 752 p.
8. Simonyi K., Zombory L. (2000): *Elméleti villamosságtan* (12. átdolgozott kiadás), Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 834 p.
9. Székely Gy., Túrós L. Zs. (2020): *Villamos, elektronikus és virtuális mérések*. Scientia Kiadó, Kolozsvár (Románia), 400 p. (<http://real.mtak.hu/117981/>)
10. Żyła, G., Fal, J., Bikić, S., Wanic, M. (2018): Ethylene glycol based silicon nitride nanofluids: An experimental study on their thermophysical, electrical and optical properties. *Physica E*. Vol.104, pp. 82–90
11. *Dielectric Assessment Kit (DAK) Professional Handbook V 2.4* (2016), Schmid & Partner Engineering AG, Zurich (Switzerland), 118 p.
12. URL1: [http://www.pqiamerica.com/Antifreeze\\_Coolant\\_Timeline.pdf](http://www.pqiamerica.com/Antifreeze_Coolant_Timeline.pdf) (letöltés: 2020.03.13.)
13. URL2: [www.microwaves101.com](http://www.microwaves101.com) (utolsó megtekintés: 2020.03.13.)
14. URL3: [https://www.youtube.com/watch?v=J6nwMAWb\\_C4](https://www.youtube.com/watch?v=J6nwMAWb_C4) (Linares, L. R. (2018): *Complex Numbers in Electrical Engineering*) (utolsó megtekintés: 2021.07.01.)
15. URL4: [https://www.medikemia.hu/xml/interface/bta/files/BTA\\_TE01559.PDF](https://www.medikemia.hu/xml/interface/bta/files/BTA_TE01559.PDF) (PRELIX Autoglykol fagyálló hűtőfolyadék koncentrációs adatlapja) (letöltés: 2020.03.13.)
16. URL5: [https://www.medikemia.hu/xml/interface/bta/files/BTA\\_TE02328.PDF](https://www.medikemia.hu/xml/interface/bta/files/BTA_TE02328.PDF) (PRELIX ALU12+ fagyálló hűtőfolyadék koncentrációs adatlapja) (letöltés: 2020.03.13.)
17. URL6: [http://mobilchem.yzsolutions.hu/editor\\_up/Tli\\_termkek/glicosam\\_fagyallo\\_hutofolyadek.pdf](http://mobilchem.yzsolutions.hu/editor_up/Tli_termkek/glicosam_fagyallo_hutofolyadek.pdf) (Glicosam fagyálló hűtőfolyadék koncentrációs adatlapja) (letöltés: 2020.03.13.)
18. URL7: <https://adoc.pub/biztonsagi-adatlap-sheron-fagyallo-hutofolyadek-g48.html> (SHERON fagyálló hűtőfolyadék G48 adatlapja) (letöltés: 2020.03.13.)
19. URL8: <https://adoc.pub/biztonsagi-adatlap-sheron-fagyallo-koncentratum-g12.html> (Sheron fagyálló koncentrációs adatlapja) (letöltés: 2020.03.13.)
20. URL9: <https://www.frekvencia.hu/lexikon/> (Távközlési és Műholdas Lexikon) (utolsó megtekintés: 2021.06.30.)

## Csom Gyula (1932-2021)



A BME Nukleáris Technikai Intézet első igazgatója, az atomenergetika iskolateremtő tudósa 89 éves korában, 2021. június 27-én hunyt el. A BME Gépészmérnöki Karán 1958-ban szerezte meg diplomáját. 1959-től a BME Hőerőművek Tanszékén oktatott és kutatott, majd Lévai András professzor felkérésére 1967-től ő koordinálta az egyetemi tanreaktor tervezését és építését. A reaktor 1971-es avatását követően előbb főmérnökként, 1973-tól 93-ig pedig igazgatóként irányította a Nukleáris Technikai Intézetet (NTI). Vezetése alatt az intézmény a magyarországi atomenergetikai oktatás centrumává fejlődött. Ebben az időszakban az irányításával dolgozták ki azoknak a tantárgyaknak és atomenergetikai képzési programoknak a tartalmát, amelyek az NTI-t nemcsak a hazai, de a nemzetközi nukleáris szakmában is vonzóvá tették. 1990-től egyetemi tanár, 1990-98 között a Természet- és Társadalomtudományi Kar alapító dékánja volt. Nevéhez fűződik – többek között – a BME Matematika Intézet megszervezése és az 1990-ben induló mérnök-fizikus képzés nukleáris moduljának előkészítése. A Paksi Atomerőmű építése alatt és indulása után kiváló szakmai kapcsolat alakult ki az atomerőmű és az NTI között, amelyet elsősorban Csom professzor katalizált. Szakmai munkásságának középpontjában az energiaellátás biztonsága, a fenntartható atomenergetika, a nukleáris üzemanyagciklus, annak zárási lehetőségei és a különböző atomerőmű-típusok biztonságos üzemeltetése állt. Szakmai tevékenységét 1998-ban Széchenyi-díjjal ismerték el.

Emlékét megőrizzük, tanításait követjük!  
Nyugodjék békében!