

rást dolgoztam ki különböző szobahőmérsékletű ionos folyadékok előállítására, melyek szintén felhasználhatók homogén katalitikus hidrogénezési [14] és keresztkapcsolási [15] reakciókban.

Kutatással töltött éveim alatt többször volt lehetőségem külföldi kutatóhelyeken (Forschungszentrum Karlsruhe, Bayer MaterialScience Leverkusen, EPFL Lausanne, City University of Hong Kong) ösztöndíjasként vagy vendégkutatóként dolgozni, ami a szakmai fejlődési lehetőségek és együttműködések mellett hosszú távú baráti kapcsolatokat is eredményezett.

Kutatómunkámat 2014 és 2017 között az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíjjal támogatta, eredményességét 2018-ban Bolyai-plakettal ismerte el. Habilitációs okleveletem 2016-ban szereztem a BME-n. A MTA doktora cím elnyerésére benyújtott értekezésemet 2019-ben védtem meg. A BME Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszékének 2016-óta vagyok a vezetője. Egyetemi tanári kinevezésemet 2020-ban vettem át.

Oktatási tevékenységem mellett, amely továbbra is a vegyipari műveletekhez és a katalízishez kötődik, nagyon fontosnak tartom a tudomány iránt érdeklődő diákok munkájának magas színvonalú szakmai irányítását és előmenetelének támogatását. A kutatócsoportban dolgozó hallgatókat maximálisan támogatom hazai és nemzetközi konferenciákon való részvételben, ahol eredményeiket angol nyelven is, szélesebb szakmai közönség előtt is bemutatathatják. A kutatási eredmények magas szintű publikálását különös fontossággal kezelem. Publikációim közül kiemelném a *Chemical Reviews* folyóiratban 2018-ban megjelent, két BME-es társszerzővel készült összefoglaló műveletet, amelyet a BME legkiválóbb tudományos közleményének is választottak. [16]

Oktatói munkámat 2016-ban a BME kiváló oktatója díjjal, 2021-ben Görög Jenő-díjjal ismerték el.

Nagy megtiszteltetés, hogy 2021-ben a MKE főtitkárává választottak. Az Egyesület történelmi múltja külön rangra emeli a tisztséggel járó feladatok ellátását, amit legjobb tudásom szerint szeretnék teljesíteni.

**Mika László Tamás**

#### IRODALOM

- [1] Mika, L. T.; Orha, L.; Driessche, E. van; Garton, R.; Zih-Perényi, K.; Horváth, I. T. *Organometallics* (2013) 32, 5326.
- [2] Fábos, V.; Lantos, D.; Bodor, A.; Bálint, A.-M.; Mika, L. T.; Sielcken, O. E.; Cuiper, A.; Horváth, I. T. *ChemSusChem* (2008) 1, 189.
- [3] Szabolcs, Á.; Molnár, M.; Dibó, G.; Mika, L. T. *Green Chem.* (2013) 15, 439.
- [4] Tukacs, J. M.; Király, D.; Strádi, A.; Novodarszki, G.; Eke, Z.; Dibó, G.; Kégl, T.; Mika, L. T. *Green Chem.* (2012) 14, 2057.
- [5] Tukacs, J. M.; Novák, M.; Dibó, G.; Mika, L. T. *Catal. Sci. Technol.* (2014) 4, 2908.
- [6] Havasi, D.; Mizsey, P.; Mika, L. T. *J. Chem. Eng. Data* (2016) 61, 1502.
- [7] Havasi, D.; Pátzay, G.; Kolarovszki, Z.; Mika, L. T. *J. Chem. Eng. Data* (2016) 6, 3326.
- [8] Tukacs, J. M.; Fridrich, B.; Dibó, G.; Székely, E.; Mika, L. T. *Green Chem.* (2015) 17, 5189.
- [9] Tukacs, J. M.; Bohus, M.; Dibó, G.; Mika, L. T. *RSC Adv.* (2017) 7, 3331.
- [10] Pongrácz, P.; Kollár, L.; Mika, L. T. *Green Chem.* (2015) 18, 842.
- [10] Marosvölgyi-Haskó, D.; Lengyel, B.; Tukacs, J. M.; Kollár, L.; Mika, L. T. *Chem-PlusChem* (2016) 81, 1224.
- [12] Tukacs, J. M.; Marton, B.; Albert, E.; Tóth, I.; Mika, L. T. *J. Organomet. Chem.* (2020) 923, 121407.
- [13] Fodor, D.; Kégl, T.; Tukacs, J. M.; Horváth, A. K.; Mika, L. T. *ACS Sustain. Chem. Eng.* (2020) 8, 9926.
- [14] Strádi, A.; Molnár, M.; Óvári, M.; Dibó, G.; Richter, F. U. *Green Chem.* (2013) 15, 1857.
- [15] Orha, L.; Tukacs, J. M.; Gyarmati, B.; Szilágyi, A.; Kollár, L.; Mika, L. T. *ACS Sustain. Chem. Eng.* (2018) 6, 5097.
- [16] Mika, L. T.; Cséfalvay, E.; Németh, Á. *Chemical Reviews* 2018, 118, 505.

.....

Bélafiné Bakó Katalin

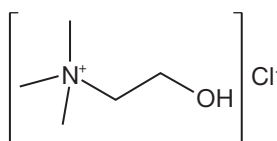
# Újabb „zöld” oldószerek a láthatáron?

## Az eutektikus oldószerekről

**H**a két komponens elegyének létezik olyan összetétele, ahol az olvadáspont mindkét komponensénél alacsonyabb, azt eutektikumnak nevezzük. Ennél az összetételnél az oldat teljes mennyisége lehűlés közben az eutektikus hőmérsékleten homogén eutektikummal alakul. Az eutektikumok 2003-ig főként a szilárd fázisú rendszerekkel kapcsolatos kutatásokban szerepeltek. 2003-ban azonban Andy Abbott és társai az angliai Leicester Egyetemről publikáltak egy cikket [1], amelyben felhívták a figyelmet arra, hogy az ionos folyadékokhoz hasonló módon léteznek eutektikus *oldószerek* is, ahol kationok és anionok alkotják az elegyet, s olvadáspontjuk gyakran szobahőmérséklet alatti [2]. Ezek az eutektikus oldószerek (angolul *Deep Eutectic Solvents*, DESs) természetes alapúak is lehetnek [3], s így a zöld kémia alternatív oldószereiként tekinthetünk rájuk...

Abbott és munkatársai elsőként a kolin-klorid por (1. ábra, op. 302 °C) és kristályos karbamid (op. 133 °C) 1:2 arányú összekeverésénél tapasztalták, hogy szobahőmérsékleten megolvadt az

elegy. Kiderült, hogy ennél az eutektikus összetételnél az olvadáspont 12 °C-ra csökken!



**1. ábra. A kolin-klorid szerkezete (2-hidroxiethyl)-trimetilammónium-klorid**

A kolin-klorid állati tápokban használt természetes anyag, a B-vitamin összetevője, míg a karbamidot műtrágyaként használják. Az összekeverésükkel létrehozott oldószer már első ránézésre is számos vonzó tulajdonsággal rendelkezik: könnyen hozzáférhető, olcsó, természetes alapanyagokból állítható elő, és nem toxikus, környezetbarát, biológiailag lebontható.

Abbotték cikke óta meglehetősen nagy számú közlemény jelent meg újabb és újabb fajta természetes alapú eutektikus oldószerekről (magyarul rövidíthetjük TEO-nak), tulajdonságaikról, al-



Név	Szerkezeti képlet
N-(2-(klórkarboniloxi)etil)-N,N,N-trimetil-ammónium-klorid	
N-benzil-N-(2-hidroxietyl)-N,N-dimetil-ammónium-klorid	
N-etyl-N-(2-hidroxietyl)-N,N-dimetil-ammónium-klorid	
Tetra-N-butil-ammónium-bromid	
Tetra-N-etyl-ammónium-klorid	
Tetrametil-ammónium-klorid	
Betain	

1. táblázat. Kvaterner ammóniumiont tartalmazó hidrogén-akceptor molekulák [4–8]

Név	Szerkezeti képlet
karbamid	
glicerin	
adipinsav	
etilén-glikol	
szukcinsav	
glükóz	
fruktóz	

2. táblázat. Hidrogéndonor molekulák [4–8]

kalmazási lehetőségeikről. Ezekből mutat be szemelvényeket ez az összeállítás.

## A TEO-k fajtái

Az eddig tüzetes vizsgálat alá vetett TEO-k többsége [4–8] – a kolin-kloridhoz hasonlóan – kvaterner ammóniumsót és kloridiont

tartalmaz (1. típus). Az ez idáig elérhető kutatási eredmények alapján elmondható, hogy az olvadáspont-csökkenést elsősorban a komponensek között kialakuló hidrogénkötés okozza. Ennek erősödésével az olvadáspont-csökkenés is nagyobb lesz [4, 8]. Így tehát szükséges, hogy az egyik komponens hidrogéndonor legyen, a másik pedig hidrogénakceptor.

A TEO-k 2. típusába tartozóknál a kvaterner ammóniumsó mellett klorid-hidrát lakozik, míg a 3. típusú TEO-nál a kvaterner ammóniumsó mellé egy hidrogéndonor molekula épül be (a szerves vegyületek közül amid, karboxilsav vagy poliol). A 4. típusban klorid-hidrátot és hidrogéndonor molekulát, végül az 5. típusnál nemionos hidrogénakceptor molekulát és hidrogén donormolekulát találunk építőkövekként [5]. Úgy tűnik, hogy felhasználási szempontból a 3. típusú TEO-knak lesz a legfontosabb szerepük kémiai folyamatoknál.

Az 1. táblázat a legfontosabb, kvaterner ammóniumiont tartalmazó hidrogénakceptor molekulákat szemlélteti, míg a leggyakrabban használt hidrogéndonor molekulákat a 2. táblázat mutatja be.

A bemutatott „klasszikus”, két kiinduló komponenst tartalmazó TEO-k mellett egyre nagyobb számban jelennek meg három- (terner) vagy akár több komponensű rendszerek is, s úgy tűnik egyes, nyomnyi mennyiségben jelen levő anyagok (pl. víz) is hatást gyakorolhatnak az adott TEO fizikai-kémiai tulajdonságaira. Így aztán a TEO-k ún. „dízájner” oldószereknek tekinthetők, az összetétel megfelelő megválasztásával tehát ugyanúgy „méretre szabhatók”, mint az ionos folyadékok. Az is könnyen belátható, hogy a szóba jöhető potenciális TEO-k száma gyakorlatilag korlátlan [8].

## Előállítás

Ezek a természetes alapú eutektikus oldószerek könnyen előállíthatók (egyszerűen össze kell keverni két komponenst a megfelelő arányban és esetleg kissé melegíteni), nem szükséges különleges berendezés hozzá (esetenként egyedül a víztartalom szabályozására érdemes figyelni), nem kell adalék, kémiai reakció nem történik, további elválasztásra, tisztítási lépésekre sincs szükség [4–6]. Mivel a kiindulási anyagok könnyen hozzáférhetők és viszonylag olcsók, s az előállítás is egyszerű, nem tűnik merésznek a kijelentés, mely szerint a TEO-k gazdaságosan gyárthatók lesznek a közeljövőben.

Azt is hozzá kell azonban tennünk, hogy egyes, különleges TEO-k előállításához szükség lehet a kiinduló anyagok őrlésére (részecskeméret!), illetve vákuumdesztillációra, szárításra, liofilizációra a végső formázáshoz.

## Fizikai, kémiai tulajdonságok

Külső megjelenésüket tekintve a TEO-k ránézésre tipikusan viszkózus, tiszta, áttetsző folyadékok, különféle színekben a fehértől a borostyán színig [4–8]. A hőmérsékletet csökkentve, ahogy közeledünk az eutektikus fagyásponthoz, egyre kevésbé áttetsző, homályosabb lesz a folyadék.

Egy TEO struktúrája és a fizikai, kémiai tulajdonságai közötti összefüggéseket azért fontos megállapítani, hogy megfelelő TEO-t lehessen tervezni egy adott (kémiai) átalakítás megvalósításához. Ennek első lépéseit lehet nyomon követni a szakirodalomban, ahol nemrégiben kezdődtek a TEO-k ilyen irányú vizsgálatai.

A legtöbbet vizsgált, kolin-klorid-tartalmú TEO-k fontosabb fizikai tulajdonságait – szemléltetésként – a 3. táblázatban fog-



laltuk össze [9–16]. Az eutektikus összetétel alapvető jellemzője ezeknek a rendszereknek, és ez a paraméter szoros összefüggést mutat az eutektikus fagyásponttal. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy sok esetben az adott komponensek más összetételben is mutatnak fagyáspontcsökkenést, de a legalacsonyabb fagyáspontoz tartozót fogadják el „igazinak”.

	Kolin-klorid-karbamid	Kolin-klorid-glicerín	Kolin-klorid-etilén-glikol
Eutektikus mólarány	1:2	1:2	1:2
Olvadáspont [K]	285	290	237
Viszkozitás [cP] (298 K)	750	281	48
Sűrűség [g/ml] (298 K)	1,21	1,18	1,12
Vezetőképesség [mS/cm] (298 K)	2,31	0,985	7,63

3. táblázat. Egyes TEO-k tulajdonságai [9–16]

A TEO-k viszkozitása – a „hagyományos” kémiai folyamatokhoz alkalmas oldószerekhez képest – kényelmetlenül nagy értékeket mutat (viszont a hőfokok jellemzően csökken). Ez a tulajdonság egyes szeparációs műveleteknél viszont kifejezetten előnyös lehet, pl. a támasztóréteges folyadékmembránok esetén. A sűrűségértékek magasabbak a víznél, de nem sokkal. A vezetőképességet tekintve a tanulmányok megállapították, hogy a TEO-k alkalmazhatók elektrolitokként, bár értékeik nagyban változnak a jelen lévő kationok és anionok méretétől.

A TEO-k kémiai tulajdonságai – mint pl. a pH, adott komponensek (legyen az szilárd, folyadék- vagy akár gázfázisú) oldhatósága stb. – rendkívül változatosak, viszont ezekről sok esetben még nem áll rendelkezésre megfelelően alátámasztott kísérleti adat. Hasonló megállapítást tehetünk – az alkalmazástechnikákkal párhuzamosan vizsgálendő – toxicitás és biológiai lebonthatóság kérdésköreire is.

### Alkalmazási lehetőségek

A TEO-k potenciális felhasználása igen sokrétű lehet, itt csak egy távrolról sem teljes listát tudunk erről bemutatni:

- szeparációs műveleteknél: elsősorban a vegyipari gyakorlatban nehézséget okozó elválasztásokra fókuszálva, a folyadékok esetén pl. azeotrópok [17], fehérjék [18] szeparációja, gázoknál pedig pl. a szén-dioxid megkötése, elválasztása [19]
- energiatárolási és átalakítási technológiáknál: a jó vezetőképességet kihasználva, pl. napelemeknél, újratölthető elemeknél [20]
- elektrokémiai folyamatoknál [21]
- biokatalitikus eljárásoknál: enzimes és mikrobiális folyamatoknál ún. nem konvencionális oldószerként [22]
- szerves kémiában: szintén oldószerként [23]
- biomasszafeldolgozás során: pl. a nehezen oldható poliszacharidok oldásánál [24]
- nanoanyagok, nanoszerkezetek szintézisének [25]
- metallurgiai eljárásoknál, fémfeldolgozásnál [26]

### Összefoglalás

Az eutektikus oldószerek helyzete manapság igen ígéretesnek mondható, számos alkalmazási lehetőség kínálkozik, ugyanakkor alapkutatói szinten is még rengeteg kérdést kell megválaszolni: a rendszert összetartó hidrogénkötések szerepétől, az egyes fizikai-kémiai tulajdonságok egymásra hatásán át az adott eutektikus oldószert viselkedésének modellezéséig.

**Köszönetnyilvánítás.** A közlemény megjelenését a TKP2020-IKA-07 sz. projekt keretében a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap 2020-4.1.1-TKP2020 sz. Tématérületi Kiválóság Programja finanszírozta.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A. P. Abbott et al., Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chem. Commun.* (2003) 70–71.
- [2] A. P. Abbott et al., Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids. *J. Am. Chem. Soc.* (2004) 126, 9142–47.
- [3] Y. T. Dai et al., Natural deep eutectic solvents as new potential media for green technology. *Anal. Chim. Acta* (2013) 766, 61–68.
- [4] Q. Zhang et al., Deep eutectic solvents: synthesis properties and applications. *Chem. Soc. Rev.* (2012) 41, 7108–7146.
- [5] B. B. Hansen et al., Deep Eutectic Solvents: A Review of Fundamentals and Applications. *Chem. Rev.* (2021) 121(3), 1232–1285.
- [6] B. Tang, K. H. Row, Recent developments in deep eutectic solvents in chemical sciences. *Monatsh. Chem.* (2013) 144, 1427–1454.
- [7] E. L. Smith, A. P. Abbott, K. S. Ryder, Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chem. Rev.* (2014) 114, 11060–11082.
- [8] A. Paiva, et al., Natural deep eutectic solvents – Solvents for the 21st century. *ACS Sustain. Chem. Eng.* (2014) 2, 1063–1071.
- [9] I. M. Aroso et al., Natural deep eutectic solvents from choline chloride and betaine – physicochemical properties. *J. Mol. Liquids* (2017) 241, 654–661.
- [10] D. Shah, F. S. Mjalli, Effect of water on the thermo-physical properties of reline: an experimental and molecular simulation based approach. *Phys. Chem. Chem. Phys.* (2014) 16, 23900–23907.
- [11] R. K. Ibrahim et al., Physical properties of ethylene glycol based deep eutectic solvents. *J. Mol. Liq.* (2019) 276, 794–800.
- [12] A. Yadav et al., Densities and dynamic viscosities of (choline chloride + glycerol) deep eutectic solvents and its aqueous mixtures in the temperature range 283 – 363 K. *Fluid Phase Equilib* (2014) 367, 135–142.
- [13] R. B. Leron, A. N. Soriano, M. H. Li, Densities and refractive indices of the deep eutectic solvents (choline chloride + ethylene glycol of glycerol) and their aqueous mixtures at the temperature ranging 298 to 333 K. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* (2012) 43, 551–557.
- [14] M. K. AlOmar et al., Glycerol based deep eutectic solvents: physical properties. *J. Mol. Liq.* (2015) 215, 98–103.
- [15] Y. P. Hsieh et al., Diffusivity, density and viscosity of aqueous solutions of choline chloride – ethylene glycol, and choline chloride – malonic acid. *J. Chem. Eng. Jpn.* (2012) 45, 939–94.
- [16] F. S. Mjalli, N. M. Abdel Jabbar, Acoustic investigation of choline chloride based ionic liquids analogs. *Fluid Phase Equilib.* 381 (2014) 71–76.
- [17] F. S. Oliveira et al., Deep eutectic solvents as extraction media for azeotropic mixtures. *Green. Chem.* (2013) 15, 1326–1330.
- [18] H. Zhang et al., Ternary and binary deep eutectic solvents as a novel extraction medium for protein partitioning. *Anal. Methods* (2016) 8, 8196–8207.
- [19] S. Sarmad, J. P. Mikkola, X. Ji, Carbon dioxide capture with ionic liquids and deep eutectic solvents: a new generation of sorbents. *Chem. Sus. Chem.* (2017) 10, 324–352.
- [20] A. Boissete et al., Deep eutectic solvents based on N-methylacetamide and a lithium salt as suitable electrolytes for lithium-ion batteries. *Phys. Chem. Chem. Phys.* (2013) 15, 20054–20063.
- [21] M. Anouti, Reem-Temperature molten salt: protic ionic liquids and deep eutectic solvents as media for electrochemical application. Springer, 2015.
- [22] J. T. Gorke, F. Srien, R. J. Kazlauskas, Deep eutectic solvents for Candida antarctica lipase B-catalyzed reactions. *ACS Symp. Ser.* (2010) 1038, 169–180.
- [23] A. P. Abbott et al., Glycerol eutectics as sustainable solvent systems. *Green Chem.* (2011) 13, 82–90.
- [24] K. H. Kim et al., Ragauskas, Integration of renewable deep eutectic solvents with engineered biomass to achieve a closed-loop biorefinery. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (2019) 116, 13816–13824.
- [25] A. Abo-Hamad et al., Potential applications for deep eutectic solvents in nanotechnology. *Chem. Eng. J.* (2015) 273, 551–567.
- [26] G. R. Jenkin et al., The application of deep eutectic solvent ionic liquids for environmentally friendly dissolution and recovery of precious metals. *Miner. Eng.* (2016) 87, 18–24.