



Környezetbarát tenzidek kőolaj-kihozatali célra való felhasználhatóságának vizsgálata

Investigation of the Applicability of Environmentally Friendly Surfactants for Oil Recovery

Gerbovits Ditta Adrienn,¹ Nagy Roland,² Puskás Sándor³

¹ Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Magyarország, gerbovits.ditta.adrienn@mk.uni-pannon.hu

² Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Magyarország, nagy.roland.dr@mk.uni-pannon.hu

³ MOL Nyrt, Csoportszintű Olajipari Vegyi Technológiák, Algyő, Magyarország, spuskas@mol.hu

Abstract

This study investigates the feasibility of producing surfactants (surface-active agents) from alternative, environmentally friendly raw materials for application in enhanced oil recovery (EOR) processes. The primary objective is to identify and evaluate sustainable feedstocks capable of replacing conventional, widely used surfactant materials that often pose environmental concerns. The paper provides a detailed overview of the analytical and physicochemical methods employed in the characterization of the synthesized surfactants, focusing on key parameters such as surface tension reduction, stability, and emulsification performance. The physicochemical properties of the newly developed surfactants are compared with those of commercially available agents currently used in EOR applications. The ultimate goal of this research is to support the development of sustainable and eco-conscious alternatives that maintain or improve oil recovery efficiency while minimizing environmental impact.

Keywords: *enhanced oil recovery, sustainability, environmentally friendly, surfactant.*

Összefoglalás

Jelen cikkben a kőolaj-kitermelés hatékonyságát növelő eljárásokhoz is alkalmazható tenzidek (felületaktív anyagok) potenciális, környezetbarát alapanyagból történő előállításának eredményessége képezi a vizsgálat tárgyát. A kutatás célja olyan alternatív tenzid-alapanyagok azonosítása és értékelése, amelyek kiválthatják a jelenleg széles körben alkalmazott, de sok esetben környezeti szempontból problémás nyersanyagokat. A cikk részletesen bemutatja a vizsgálat során alkalmazott analitikai és fizikai-kémiai vizsgálati módszereket, valamint ismerteti a szintetizált felületaktív anyagok főbb tulajdonságait, mint például a felületi feszültségre gyakorolt hatásukat, stabilitásukat és emulgeáló képességüket. Az újonnan előállított tenzidek jellemzőit összehasonlítjuk a már kereskedelmi forgalomban lévő anyagokéval. A vizsgálatok célja hosszú távon olyan fenntartható megoldások előmozdítása, amelyek hozzájárulnak a kőolajipar környezetbarátabb működéséhez anélkül, hogy csökkentenék a kihozatali hatékonyságot.

Kulcsszavak: *kőolaj-kihozatalt növelő eljárás, fenntarthatóság, környezetbarát, felületaktív anyag, tenzid.*

1. Bevezetés

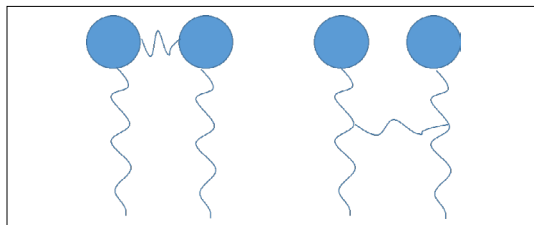
A globális energiaigények hatására kulcsfontosságú törekvés a kőolajtelepekben, rezervoárookban lévő kőolaj minél nagyobb határfokkal történő kitermelése. Fokozott kőolaj-kihozatali eljárás

(angolul: Enhanced Oil Recovery, EOR) alkalmazására akkor kerül sor, ha a tárolóközetben csapadózott, maradék kőolajat a hagyományos kihozatali eljárásokkal nem tudjuk a felszínre hozni, ezért ebben az esetben valamilyen segédanyag

alkalmazása szükséges [1]. Segédanyag használatával a porózus közetben (tározókban) lévő kőolaj kémiai, fizikai-kémiai tulajdonságait megváltoztatjuk, s ennek hatására a kőolaj mozgékony-sága, mobilitása nagyobb, s a felszínre hozatala is könnyebb lesz [2]. A módszer alapja, hogy az alkalmazott segédanyagok azokra az erőkre hatnak, melyek a kőolajat a tározóközet pórusaiban tartják, és gátolják az onnan való kiáramlást [3]. Az EOR-technológiák során többféle segédanyagot használhatnak, ezek alapján beszélhetünk termikus módszerről, gázbesajtolásról, kémiai eljárásról vagy egyéb segédanyagot alkalmazó eljárásról. Az alkalmazott kitermelési eljárás módja függ a tározó geológiai tulajdonságaitól, a kőolaj fizikai és kémiai jellemzőitől és a rétegvíz összetételétől [4, 5, 6]. Az alkalmazott módszerek csoportosítására az 1. ábra szolgál [7]:

A munkánk további részében a kémiailag növelt hatékonyságú kőolaj-kitermelési eljárások (cEOR) során alkalmazott tenzidek tulajdonságait elemezzük. A kémiai eljárás segédanyagai, ahogy az 1. ábrán is látható, a polimerek, tenzidek, alkáli anyagok, lúgok és a habosított anyagok [8]. Együttes alkalmazásuk során szinergikus hatást is kifejthetnek. Az alábbiakban a kőolaj-kihozatali eljárásokban alkalmazott tenzideket vizsgáljuk, és az eddig használt tenzidek alapanyagait helyettesítjük környezetbarát, növényi olaj alapanyaggal.

A szintézisek során célunk gemini típusú tenzidek előállítása és vizsgálata, melyek a tenzidek



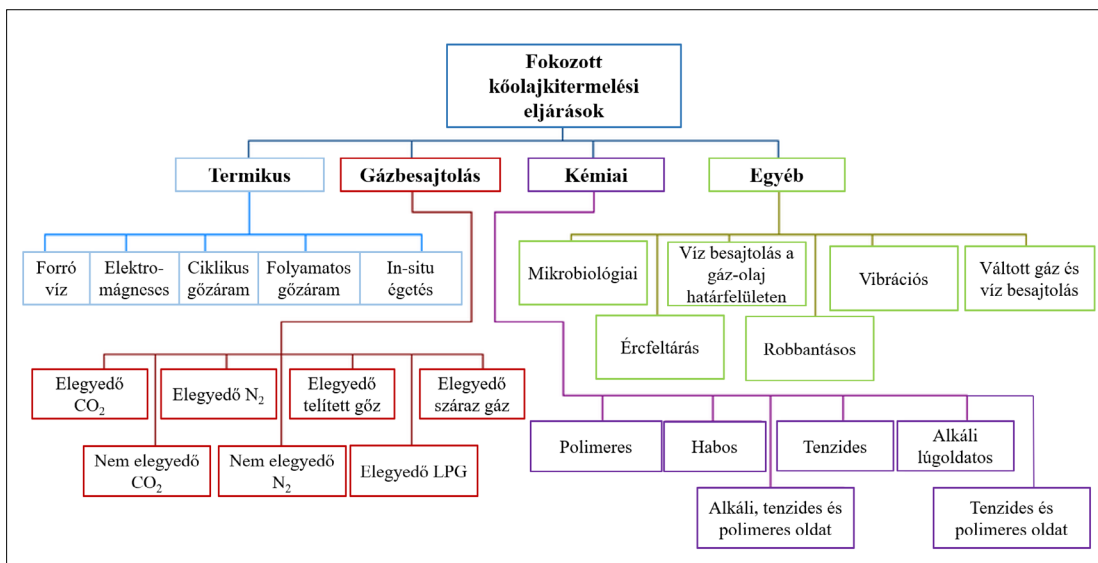
2. ábra. A gemini tenzidek szerkezeti felépítése

egy speciális csoportját alkotják. A gemini típusú tenzidek dimer szerkezetű vegyületek. Az egyszerű tenzidekkel ellentétben két hosszú, hidrofób szénhidrogénláncuk és két hidrofil fejrészük van, mely egységeket egy úgynevezett távtartó köti össze. Sematikus szerkezetük a 2. ábrán látható.

2. A felhasznált alapanyagok

A vizsgálat tárgya a MOL Nyrt. által kifejlesztett, gyártott és forgalmazott, növényi alapú, KOMAD-710 jelű tenzid, a kókuszolaj-alapú, Empilan 2502 jelű tenzid, a Sigma-Aldrich által forgalmazott, SPAN80 jelű, olajsav-alapú tenzid és két saját, napraforgó-alapú, kísérleti gemini tenzid (ZMG-1 és ZMG-3 jelű kísérleti tenzidek), valamint mindezek fizikai és kémiai tulajdonságai és hatásvizsgálatuk eredménye.

A kísérleti munka, mely a kereskedelmi forgalomban kapható felületaktív anyagok fizikai, kémiai tulajdonságait és hatásvizsgálatát elemzi, az 1. táblázatban látható. A vizsgált tenzidek mindegyike nemionos csoportba sorolható.



1. ábra. Fokozott kőolaj-kihozatali eljárások során alkalmazott segédanyagok (LPG = cseppfolyós pégégáz) [7]

1. táblázat. A kereskedelmi forgalomban kapható tenzidek és környezetbarát alapanyagai

Tenzid jele	KOMAD-710	Empilan 2502	SPAN80
Alapanyaga	Repceolaj	Kókuszszír	Szorbit
Forgalmazó	MOL Nyrt.	Huntsman	Sigma-Aldrich

A saját, kísérleti alapú felületaktív anyagok növényi olaj alapú, gemini típusú nemionos tenzidek. A következőkben bemutatott kísérleti tenzidek szintézise nagyban hasonló, különbség az alkalmazott távtartó csoportok szénatomszámban van, de mindkét esetben dibrom-alkán volt az alkalmazott vegyület.

A kísérleti tenzidek előállításának első lépése glicerín-észter intermediát előállítása volt átszterezeccsével, növényi olajból és glicerinnél. Második lépésként a glicerín-észter intermediátot fázistranszfer katalizátor segítségével dibrom-alkánnal reagáltattuk lúgos környezetben. A reakciók 100–250 °C hőmérsékleten és környezeti nyomáson mentek végbe. A terméket vízmentes nátrium-szulfáttal szárítottuk [9].

3. Módszerek

A tenzidek fizikai és kémiai tulajdonságait és a hatásvizsgálatokat az alábbi módszerek alkalmazásával határoztuk meg és végeztük el.

3.1. Sűrűség és dinamikai viszkozitás

A sűrűség és dinamikai viszkozitás 40 °C-on való vizsgálata SVM 3000 Stabinger Viscometer típusú készülékkel történt.

3.2. A pH-érték meghatározása

A pH-értéket a tenzidek 5 g/l-es, desztillált vizes oldatában mértük a Mettler Toledo által gyártott, SevenCompact Duo nevű készülékkel.

3.3. Az oldhatóság meghatározása

A tenzidek vízben való oldhatóságát szintén 5 g/l-es, desztillált vizes oldatukban vizsgáltuk szemrevételezéssel és transzmittancia mérésével. A transzmittancia vizsgálata Avantes AvaSpec-DUAL spektrofotométerrel történt.

3.4. A dermedéspont meghatározása

A dermedéspontot Koehler gyártmányú, automata dermedés- és folyáspontmérővel vizsgáltuk.

3.5. A vízsám meghatározása

A vizsgálat a felületaktív vegyületek hidrofíll-lipofíll jellegének meghatározására szolgál, ezáltal információt adva a tenzidek emulgeáló hatásáról és a sőtűrő képességükről. A vízsámot titrálási módszerrel határoztuk meg. A mérés során 1 g tenzidet feloldottunk 30 cm³ ciklohexán-aceton 4:96 arányú elegyében, majd desztillált vízzel titráltuk az elegyet meg nem szűnő zavarosodásig.

3.6. Az olajkiszorító hatás vizsgálata

Az olajkiszorító hatás vizsgálata vékonyréteg-kromatográfiás módszerrel történik. A mérés előkészítéseként tiszta, száraz üveglapot algyói porított közet anyagának kloroformos szuszpenziójába mártottunk. Ennek hatására száradás után az üveglapon egy vékony porítottközet-réteg képződött. Az üveglap aljától körülbelül 2 cm-re Algyó 892 jelű kőolajból egy cseppet vittünk fel. A tenzidekből 5 g/l-es oldatot készítettünk algyói szűrt rétegvízzel. A továbbiakban vizsgálócsőbe mértünk 15 cm³-t a készített oldatokból, és az előkészített üveglapokat behelyeztük a csőbe. Lezártuk a vizsgálócsöveket, majd a mintákat 60 °C-on 3 órán keresztül szárítószekrényben tároltuk. A vizsgálati idő leteltével az olajcsepp futása lemérhető a cseppentés helye és az olajfolt széle közötti távolság alapján. Az eredményt mm-ben adtuk meg.

3.7. Az emulgeáló (szolubilizáló) hatás vizsgálata

Az emulgeáló hatás vizsgálata ADEM automata emulgeálóberendezéssel történt. A vizsgálat során a készülékhez tartozó mérőhengerekbe ki-mértünk 40 cm³, 5 g/l koncentrációjú algyói szűrt rétegvízzel készített tenzidoldatot, majd mindegyik mintához hozzáadtunk 40–40 cm³ Algyó 892 jelű kőolajat. A mintákat 2 percig 1500 1/min fordulatszámmal kevertettük, majd félóra elteltével vizsgáltuk a keletkezett emulziót (elegyet).

3.8. A határfelületi feszültség vizsgálata

A határfelületi feszültség (angolul: interfacial tension, IFT) meghatározása Krüss SDT gyártmányú Spinning Drop tenziométerrel történt. A készülékben lévő vékony üvegcsövet (kapilláris) a készülék tengelye körül megforgatja, így a kapillárisban lévő olajcsepp forgástengelyétől mért sugara alapján meghatározható a kapillárisban lévő tenzidoldat és a kőolajcsepp közötti határfelületi feszültség. A vizsgálat során szintén Algyó 892 jelű kőolajat és a tenzidek 5 g/l-es, algyói szűrt rétegvízzel készített oldatát használtuk.

2. táblázat. A vizsgált tenzidek mért fizikai és kémiai tulajdonságai

Vizsgált tulajdonság / Tenzid jele	KOMAD- 710	Empilan 2502	SPAN80	ZMG-1	ZMG-3
Sűrűség (g/cm ³) 40 °C	0,9701	0,9800	0,9860	1,2201	1,2223
Dinamikai viszkozitás (mPa·s) 40 °C	148,8	450	1285	1,6570	1,5947
pH-érték (5 g/l-es deszt. vizes oldat)	11,21	9,74	Nem mérhető	12,83	11,83
Folyáspont/dermedéspont (°C)	–25	9	1	–15	–16
Oldhatóság (5 g/l-es deszt. vizes oldat)	Oldható	Részlegesen oldható	Nem oldható	Oldható	Oldható
Transzmittancia (%) (5 g/l-es deszt. vizes oldat)	34	51	69	23	28
Vízszám (cm ³)	10,3	13,5	4,30	13,0	11,65

3. táblázat. A vizsgált tenzidek hatásvizsgálatainak eredménye

Vizsgált tulajdonság / Tenzid jele	KOMAD- 710	Empilan 2502	SPAN80	ZMG-1	ZMG-3
Olajkiszorító hatás (vékonyréteg-kromatográfiás módszerrel) (mm)	21	12	10	26	20
Emulgeáló (szolubilizáló) hatás, térfogatarány (%)	30	22	23	41	63
Határfelületi feszültség (mN/m)	6,18	8,67	10,2	7,14	5,3

4. Eredmények

A következőkben a tenzidek fizikai és kémiai vizsgálata során kapott értékek találhatók. A **2. táblázat**ban a vizsgált tenzidek fizikai és kémiai tulajdonságai, a **3. táblázat**ban pedig a hatásvizsgálatok eredményei láthatóak.

5. Következtetések

A kísérleti munka célja az volt, hogy a már kereskedelmi forgalomban kapható felületaktív anyagok helyettesítése végett a környezetre kevésbé ártalmas, megújuló vagy megújítható alapanyagokból állítsunk elő a kőolaj-kitermelésben is használható tenzideket.

A mérési eredmények alapján látható, hogy a ZMG-1 jelű kísérleti tenzid a vékonyréteg-kromatográfiás módszerrel mért olajkiszorító hatásfoka a legnagyobb a mért értékek közül, az emulgeáló hatás vizsgálata esetében a forgalomban lévő tenzidekhez képest mindegyik esetben kiemelkedő az eredmény, a határfelületi feszültség vizsgálata esetében pedig nagyságrendileg illeszkedik a többi tenzid értékeihez.

A ZMG-3 jelű kísérleti tenzid olajkiszorítási vizsgálata során mért eredmény az Empilan 2502 és SPAN80 jelű tenzidekhez képest majdnem kétszer akkora távolságra „futott” a kőolajcsepp, a KOMAD-710 jelű tenzidhez viszonyítva pedig hasonlóan jó eredményt ért el.

Az emulgeáló hatás vizsgálata során a ZMG-3 jelű kísérleti tenzid eredménye a legkiemelke-

dőbb. A határfelületi feszültség értéke pedig szintén kedvezőbb a többi vizsgált tenzid esetében mért határfelületi feszültséghez képest.

Összességében a tenzidek előzetes hatásvizsgálata alapján a kísérleti tenzidek hatásfoka hasonlóan jó, vagy még kiemelkedőbb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a már forgalomban lévő felületaktív anyagok.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Gbadamosi, A. O., Junin, R., Manan, M. A. et al.: *An overview of chemical enhanced oil recovery: recent advances and prospects*. International Nano Letters, 9. (2019) 171–202.
<https://doi.org/10.1007/s40089-019-0272-8>
- [2] Wan-Li K., Bo-Bo Z., Issakhov M., Gabdullin M.: *Advances in enhanced oil recovery technologies for low permeability reservoirs*. Petroleum Science, 19/4. (2022)
<https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.06.010>
- [3] Barman B. N., Cebolla V. L., Mehrotra A. K., Mansfield C. T.: *Analytical Chemistry. Petroleum and Coal*, 73. (2001) 2791–2804.
- [4] Agi A., Junin R., Syamsul M. F., Chong A. S., Gbadamosi A.: *Intermittent and short duration ultrasound in a simulated porous medium*. Petroleum, 5/ 1. (2019) 42–51.
<https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.03.012>
- [5] Gbadamosi A., Patil S., Kamal, M. S., Adewunmi A. A., Yusuff A. S., Agi A., Oseh J.: *Application of Polymers for Chemical Enhanced Oil Recovery. A Review*. Polymers 14. (2022) 1433.
<https://doi.org/10.3390/polym14071433>

- [6] Tavakkoli O., Kamyab H., Shariati M., Mohamed A. M., Junin R.: *Effect of nanoparticles on the performance of polymer/surfactant flooding for enhanced oil recovery. A review*. Fuel, 312. (2022) <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122867>.
- [7] Gurgel A., Moura M. C., Castro T. N. D., Barros Neto E. L., Dantas Neto A. A.: *A review on chemical flooding methods applied in enhanced oil recovery*. Brazilian Journal of Petroleum and Gas, (2008), 2.
- [8] Samanta A., Bera A., Ojha K. et al.: *Comparative studies on enhanced oil recovery by alkali-surfactant and polymer flooding*. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2. (2012) 67–74. <https://doi.org/10.1007/s13202-012-0021-2>
- [9] Pal N., Kumar N., Verma A., Ojha K., Mandal A.: *Performance Evaluation of Novel Sunflower Oil-based Gemini Surfactant(s) with different Spacer Lengths*. Application in Enhanced Oil Recovery, Energy&Fuels, 32. (2018) 11344–11361. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02744>