

ADAM ROTKEGEL, ZENON ZIOBROWSKI, ROMAN KRUPICZKA

## BADANIA DOŚWIADCZALNE POJEMNOŚCI ABSORPCJI DITLENKU WĘGLA W CIECZY JONOWEJ [BMIM][AC]

Instytut Inżynierii Chemicznej PAN, ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

W pracy przedstawiono wyniki badań równowagowych pojemności absorpcji ditlenku węgla w cieczy jonowej [bmim][Ac]. Badania przeprowadzono w aparacie barbotażowym, w temperaturach od 20 do 60°C. Badana ciecz jonowa ma zbliżone wielkości równowagowych pojemności absorpcji CO<sub>2</sub> do stosowanych w przemyśle wodnych roztworów MEA. Wraz ze wzrostem temperatury rośnie szybkość procesu i maleje równowagowa pojemność sorpcyjna CO<sub>2</sub> w cieczy jonowej.

The experimental results of equilibrium capacity of carbon dioxide absorption in ionic liquid [bmim][Ac] are presented. Experiments were performed in bubbling apparatus in temperature range 20-60°C. Measured equilibrium carbon dioxide absorption capacities are comparable with those obtained for aqueous MEA solutions used in industry. With rising temperature the higher values of absorption rates and lower equilibrium CO<sub>2</sub> absorption capacities were obtained.

### 1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach, ze względu na możliwe zmiany klimatyczne, znacząco wzrosła ilość publikacji zajmujących się wpływem emisji antropomorficznego ditlenku węgla na efekt cieplarniany. Możliwość zmiany klimatu spowodowała wzrost zainteresowania procesami umożliwiającymi obniżenie emisji ditlenku węgla z gazów przemysłowych do atmosfery. Powstały liczne prace dotyczące usuwania CO<sub>2</sub> ze spalin i gazów syntezowych, które może być zrealizowane przy pomocy różnych procesów takich jak: kriogeniczna destylacja, adsorpcja, absorpcja oraz procesy membranowe.

Obecnie najczęściej stosowaną metodą usuwania CO<sub>2</sub> ze spalin jest absorpcja ditlenku węgla w wodnych roztworach amin takich jak monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), trietanolamina (TEA), metyldietanolamina (MDEA) [1,2].

Wyżej wymienione substancje absorbujące ditlenek węgla charakteryzują się własnościami takimi jak: duża pojemność sorpcyjna, niska cena, stosunkowo duża szybkość reakcji. Wykazują one jednak szereg poważnych wad takich jak: znacząca lotność, degradacja termiczna w wyższych temperaturach, degradacja chemiczna, silna korozyjność (zwłaszcza MEA), oraz znacząca konsumpcja energii w procesie absorpcja – desorpcja ditlenku węgla.

Zaprojektowanie ekonomicznych układów aparaturowych i zastosowanie nowych absorbentów staje się więc poważnym wyzwaniem dla naukowców i inżynierów [3,4]. Wybór odpowiedniego sorbentu pozwala ograniczyć wielkość nakładów energetycznych związanych z dużą różnicą temperatur między absorpcją a desorpcją. Różnica ta określa w znacznym stopniu sprawność oraz koszty procesu otrzymywania stężonego ditlenku węgla.

Prowadzone obecnie badania nad cieczami jonowymi wskazują na ich potencjalnie znaczne możliwości absorpcji ditlenku węgla, porównywalne do roztworów amin.

Ciecze jonowe charakteryzują się następującymi własnościami, korzystnymi w przemysłowych procesach absorpcji CO<sub>2</sub> z gazów: bardzo mała prężność par, niepalność, duża stabilność termiczna, szeroki zakres występowania w stanie ciekłym, zdolność rozpuszczania różnorodnej gamy substancji. Kwasowość i zasadowość cieczy jonowych zależy od rodzaju posiadanego anionu. Mogą być one zarówno hydrofobowe, jak i hydrofilowe. Ze względu na znikomą lotność są uważane za bezpieczne dla środowiska naturalnego, przez co mogą być stosowane jako rozpuszczalniki w wielu reakcjach chemicznych.

Sz szczególnie cenne i popularne są ciecze jonowe, topiące się w stosunkowo niskich temperaturach np. octan 1-butylo-3-metyloimidazoliowy ([bmim][Ac]), octan 1-etylo-3-metyloimidazoliowy, ([emim][Ac]), tetrafluoroboran 1-butylo-3-metyloimidazoliowy ([bmim][BF<sub>4</sub>]) lub heksafluorofosforan 1-butylo-3-metyloimidazoliowy ([bmim][PF<sub>6</sub>]) [4 -7]. Ważną cechą cieczy jonowych jest możliwość przewidywania niektórych ich własności, takich jak mieszalność z wodą i rozpuszczalnikami organicznymi oraz temperatura topnienia.

Najczęściej stosowane ciecze jonowe w procesie absorpcji CO<sub>2</sub> zestawiono w tabelach 1 i 2. W tabeli 1 przedstawiono ciecze jonowe absorbujące CO<sub>2</sub> na zasadzie absorpcji fizycznej, zaś w tabeli 2 na zasadzie chemisorpcji.

Tabela 1. Oznaczenia cieczy jonowych, które mogą znaleźć zastosowanie w procesach absorpcji CO<sub>2</sub>. Mechanizm procesu: absorpcja fizyczna

Table 1. Specification of ionic liquids for application in CO<sub>2</sub> absorption process. Mechanism: physical absorption

Nazwa skrócona	Nazwa pełna
[bmim][PF <sub>6</sub> ]	1-butylo-3-metylimidazolium heksafluorofosfate
[C <sub>6</sub> mim][PF <sub>6</sub> ]	1-hexyl-3-metylimidazolium heksafluorofosfate
[C <sub>8</sub> mim][PF <sub>6</sub> ]	1-octyl-3-metylimidazolium heksafluorofosfate
[C <sub>9</sub> mim][PF <sub>6</sub> ]	1-nonyl-3-metylimidazolium heksafluorofosfate
[emim][BF <sub>4</sub> ]	1-ethyl-3-metylimidazolium tetrafluoroborate

Nazwa skrócona	Nazwa pełna
[C <sub>6</sub> mim][BF <sub>4</sub> ]	1-hexyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate
[C <sub>8</sub> mim][BF <sub>4</sub> ]	1-octyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate
[N-bupy][BF <sub>4</sub> ]	N-butylpyridinium tetrafluoroborate
[bmim][NO <sub>3</sub> ]	1-butyl-3-methylimidazolium nitrate
[emim][Tf <sub>2</sub> N]	1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[bmim][Tf <sub>2</sub> N]	1-butyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[dmim][Tf <sub>2</sub> N]	1,2-dimethylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[hmim][Tf <sub>2</sub> N]	1-hexyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[P14,6,6,6][Tf <sub>2</sub> N]	trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[BMP][Tf <sub>2</sub> N]	1-butyl-1-methylpyrrolidinium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide
[bmim][DCA]	1-butyl-3-methylimidazolium dicyanamide
[bmim][TfO]	1-butyl-3-methylimidazolium trifluoromethanesulfonate
[emim][EtSO <sub>4</sub> ]	1-ethyl-3-methylimidazolium ethylsulfate
[emim][C <sub>2</sub> N <sub>3</sub> ]	1-ethyl-3-methylimidazolium dicyanamide
[emim][Ac]	1-ethyl-3-methylimidazolium acetate
[bmim][Ac]	1-butyl-3-methylimidazolium acetate
[emim][TFA]	1-ethyl-3-methylimidazolium trifluoroacetate
[bmim][SCN]	1-butyl-3-methylimidazolium thiocyanate
HEF	2-hydroxy ethylammonium formate
THEAA	tri-(2-hydroxy ethyl)-ammonium acetate
HEAF	2-(2-hydroxy ethoxy)-ammonium formate
HEAA	2-(2-hydroxy ethoxy)-ammonium acetate
[emim][MDEGSO <sub>4</sub> ]	1-ethyl-3-methylimidazolium 2-(2-methoxyethoxy)ethylsulfate
TEGO IL K5	quaternary ammonium compounds, coco alkylbis (hydroxyethyl) methyl, ethoxylated, chlorides, methyl chloride

Tabela 2. Oznaczenia cieczy jonowych, które mogą znaleźć zastosowanie w procesach absorpcji CO<sub>2</sub>. Mechanizm procesu: chemisorpcja

Table 2. Specification of ionic liquids for application in CO<sub>2</sub> absorption process. Mechanism: chemical absorption

Nazwa skrócona	Nazwa pełna
[NH <sub>2</sub> p-bim][BF <sub>4</sub> ]	1-propylamide-3-butyl imidazolium tetrafluoroborate
[P(C <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ][Ala]	Tetrabutylphosphonium 1- $\alpha$ -aminopropionic acid salt
[P(C <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ][Gly]	Tetrabutylphosphonium aminoethanoic acid salt
[P <sub>66614</sub> ][Met]	trihexyl(tetradecyl)phosphonium methioninate
[P <sub>66614</sub> ][Pro]	trihexyl(tetradecyl)phosphonium proline
[aP <sub>4443</sub> ][Gly]	(3-Aminopropyl)tributylphosphonium aminoethanoic acid salt
[aP <sub>4443</sub> ][Ala]	(3-Aminopropyl)tributylphosphonium 1- $\alpha$ -aminopropionic acid salt
[aemmim][Tau]	1-aminoethyl-2,3-dimethylimidazolium taurine salt
[MTBDH <sup>+</sup> ][TFE <sup>-</sup> ]	9-methyl-2,3,4,6,7,8-hexahydropyrimido[1,2-a]pyrimidine trifluoroethanol
[MTBDH <sup>+</sup> ][Im <sup>-</sup> ]	9-methyl-2,3,4,6,7,8-hexahydropyrimido[1,2-a]pyrimidine imidazole
[(P <sub>2</sub> -Et)H <sup>+</sup> ][TFE <sup>-</sup> ]	Tetramethyl(tris(dimethylamino)phosphoranylidene)phosphoric triamid-Et-imintrifluoroethanol
[MTBDH <sup>+</sup> ][TFPA <sup>-</sup> ]	9-methyl-2,3,4,6,7,8-hexahydropyrimido[1,2-a]pyrimidine (1-phenyl)

Nazwa skrócona	Nazwa pełna
[(P <sub>2</sub> -Et) H <sup>+</sup> ][Im <sup>-</sup> ]	trifluoroethanol
[MTBDH <sup>+</sup> ][Pyrr <sup>-</sup> ]	Tetramethyl(tris(dimethylamino)phosphoranylidene)phosphorictriamid-Et-imin imidazole
[(P <sub>2</sub> -Et) H <sup>+</sup> ][Pyrr <sup>-</sup> ]	9-methyl-2,3,4,6,7,8-hexahydropyrimido[1,2-a]pyrimidine pyrrolidone
[MTBDH <sup>+</sup> ][PhO <sup>-</sup> ]	Tetramethyl(tris(dimethylamino)phosphoranylidene)phosphorictriamid-Et-imin pyrrolidone
[(P <sub>2</sub> -Et) H <sup>+</sup> ][PhO <sup>-</sup> ]	9-methyl-2,3,4,6,7,8-hexahydropyrimido[1,2-a]pyrimidine phenol
[P66614][Pyr]	Tetramethyl(tris(dimethylamino)phosphoranylidene)phosphorictriamid-Et-imin phenol
[P66614][Im]	trihexyl(tetradecyl)phosponium pyrazole
[P66614][Ind]	trihexyl(tetradecyl)phosponium imidazole
[P66614][Triz]	trihexyl(tetradecyl)phosponium indole
[P66614][Bentriz]	trihexyl(tetradecyl)phosponium Trizole
[P66614][Tetz]	trihexyl(tetradecyl)phosponium bentrizole
[P66614][Oxa]	trihexyl(tetradecyl)phosponium tetrazole
[P66614][PhO]	trihexyl(tetradecyl)phosponium oxazolidinone
[emim][pivalate]	trihexyl(tetradecyl)phosponium phenol
[emim][lactate]	1-ethyl-3-methylimidazolium pivalate
[emim][benzoate]	1-ethyl-3-methylimidazolium lactate
	1-ethyl-3-methylimidazolium benzoate

Fukumoto i wsp. [8] otrzymali serię cieczy jonowych, które charakteryzują się dużą szybkością reakcji absorpcji CO<sub>2</sub> i osiągnięciem stanu równowagi gaz-ciecz w czasie poniżej 60 minut. Ich praktyczne zastosowanie utrudnia jednak ich wysoka lepkość i koszt w stosunku do roztworów amin. Jak stwierdzono, ich zdolność absorpcyjna zmieniła się od 0,169 do 0,601 mola CO<sub>2</sub> na mol roztworu.

Stwierdzono [9], że CO<sub>2</sub> jest silnie rozpuszczalny w cieczach jonowych zawierających kation będący pochodną imidazolu. Ich rozpuszczalność silnie rośnie z ciśnieniem, a maleje wraz ze wzrostem temperatury. Fizyczna absorpcja CO<sub>2</sub> w cieczy jonowej jest utrudniona, ponieważ dla uzyskania wysokiej efektywności procesu konieczne jest jego prowadzenie w warunkach wysokiego ciśnienia przez długi okres czasu (nawet do 24 h).

Autorzy [10] stwierdzili również, że reakcji absorpcji CO<sub>2</sub> w cieczy jonowej zawierającej kation będący pochodną imidazolu i anion octanowy towarzyszy powstawanie kwasu octowego w fazie parowej w wyższych temperaturach. W badaniach otrzymali maksymalną zdolność absorpcji równą 0,45 mola CO<sub>2</sub> na mol cieczy jonowej, przy ciśnieniu 1,6 bara, w temperaturze 30°C. Zaabsorbowany CO<sub>2</sub> był desorbowany przez ogrzanie do 70°C i użycie próżni.

W pracach [6,7,11] autorzy stwierdzili wyjątkowo dużą rozpuszczalność CO<sub>2</sub> w octanie 1-butylo-3-metyloimidazoliowym (1-butylo-3-methylimidazolium acetate) [bmim][Ac]. W pracy [11] autorzy dokonali porównania kosztów pracy instalacji opartej na klasycznej metodzie absorpcji CO<sub>2</sub> w roztworze amin z kosztami pracy

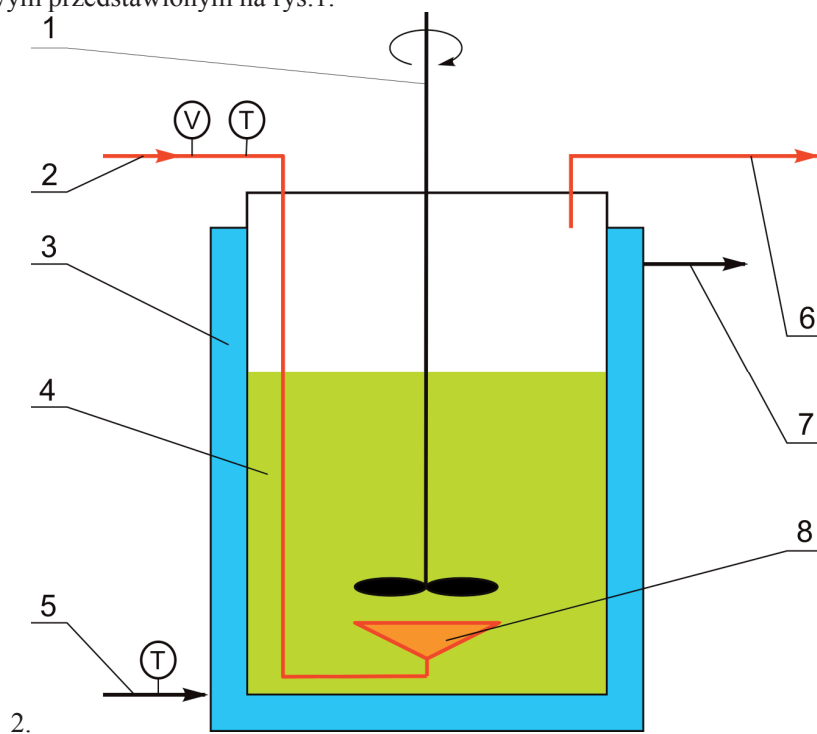
instalacji usuwania CO<sub>2</sub> wykorzystującej ciecz jonową ([bmim][Ac]). Stwierdzono, że instalacja oparta o ciecze jonowe może być tańsza od instalacji tradycyjnej.

## 2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Opierając się na informacjach literaturowych jako ciecz jonową do badań wybrano octan 1-butylo-3-metyloimidazoliowy ([bmim][Ac]).

Z uwagi na wysoką cenę cieczy jonowych zdolnych do absorpcji CO<sub>2</sub> (około 1000€/kg) zdecydowano, że aparatura badawcza powinna być mała, najlepiej szklana, tak, by niewielka objętość cieczy jonowej wystarczyła do przeprowadzenia badań doświadczalnych.

Badania równowag absorpcyjnych cieczy jonowej – CO<sub>2</sub> wykonano w aparacie barbotażowym przedstawionym na rys.1.



Rys. 1. Układ pomiarowy do badania równowag adsorpcyjnych. 1 - mieszadło, 2 - wlot gazu, 3 - łaźnia wodna, 4 - ciecz jonowa, 5 - wlot cieczy termostatującej, 6 - wylot gazu, 7 - wylot cieczy termostatującej, 8 - barbotka gazu

Fig. 1. Experimental setup. 1 – agitator, 2 – gas inlet, 3 – water bath, 4 – ionic liquid, 5 – water inlet, 6 – gas outlet, 7 – water outlet, 8 – bubbler

Układ pomiarowy składa się z termostowanego naczynia (3), o pojemności 100 cm<sup>3</sup>, w którym znajduje się określona ilość (~70 g) cieczy jonowej (4). Do naczynia doprowadzony jest strumień gazu zawierającego ditlenek węgla (2). Gaz przez barbotkę (8) zostaje równomiernie rozprowadzony w cieczy jonowej. Naczynie wyposażone jest w mieszadło, które zwiększa intensyfikację wymiany masy. W czasie pomiarów rejestrowano temperaturę cieczy jonowej, temperaturę łaźni wodnej i natężenie przepływu gazu, oraz czas i zmianę masy cieczy jonowej.

Zdolność absorpcyjną cieczy jonowej określono poprzez rejestrację zmiany masy próbki cieczy jonowej w trakcie procesu absorpcji ditlenku węgla. Masa badanej próbki cieczy jonowej wynosiła ok. 70 g, zmianę masy próbki oznaczano wagowo z dokładnością do 0,1 g, w odstępach od 5 do 30 minut (krótsze interwały czasowe na początku procesu). Temperaturę absorpcji zmieniano w zakresie od 20 do 60°C. Przepływ gazu utrzymywano w granicach 500 – 600 ml·min<sup>-1</sup>. Proces absorpcji CO<sub>2</sub> w cieczy jonowej prowadzono do osiągnięcia stanu równowagi, który przyjmowano gdy w dwóch kolejnych ważeniach przyrost masy był nie większy niż 0.1 g.

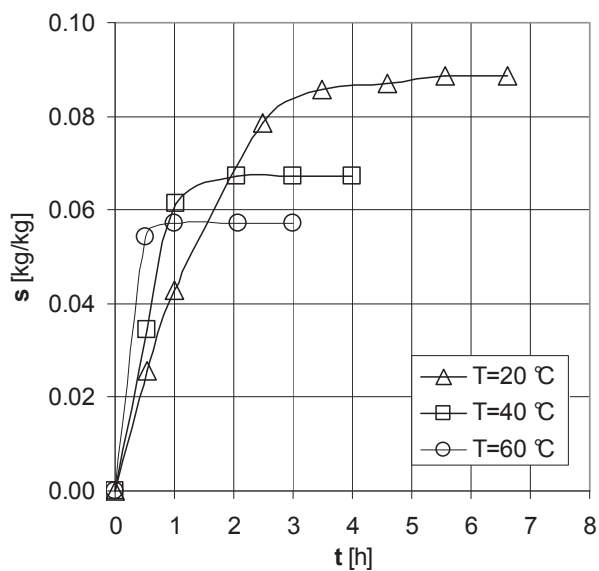
Po osiągnięciu stanu równowagi międzyfazowej ciecz jonowa – ditlenek węgla w zadanej temperaturze i wykonaniu wszystkich pomiarów rozpoczynano proces regeneracji cieczy jonowej, polegający na ogrzaniu cieczy jonowej do wyższych temperatur (60 do 95°C) i desorpcji ditlenku węgla. Stopień regeneracji cieczy jonowej kontrolowano grawimetrycznie. Zregenerowaną ciecz jonową wykorzystywano w dalszych badaniach absorpcji ditlenku węgla.

### 3. WYNIKI BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

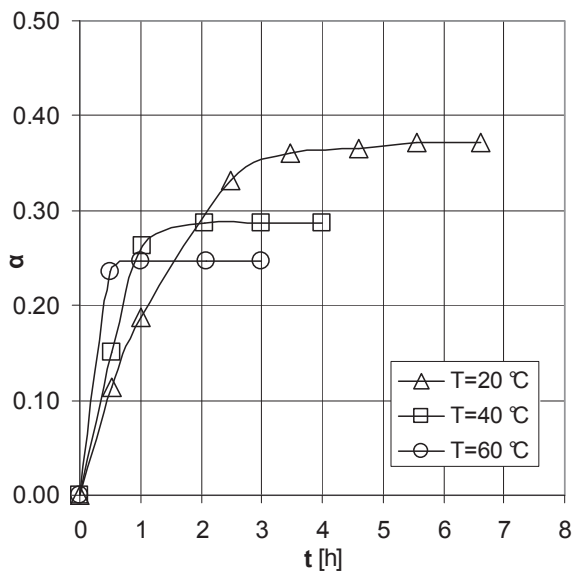
Wyniki badań przeprowadzonych w aparacie barbotażowym przedstawiono na rysunkach 2-5. Na rysunkach naniesiono dane doświadczalne opisujące przebieg procesu absorpcji CO<sub>2</sub> w czasie.

Zdolność absorpcyjną badanej cieczy jonowej przedstawiono na rys.2-3 jako ilość zaabsorbowanego CO<sub>2</sub> w jednostce masy cieczy jonowej ( $s$  [kg/kg]) lub ilość moli zaabsorbowanego ditlenku węgla na mol cieczy jonowej - ( $\alpha$ ) w funkcji czasu nasycania.

Jak można zauważyć ze wzrostem temperatury absorpcji od 20 do 60 °C rośnie szybkość procesu absorpcji, podczas gdy równowagowa pojemność absorpcyjna maleje. Największą pojemność sorpcyjną ditlenku węgla w badanej cieczy jonowej,  $\alpha=0,37$  osiągnięto w temperaturze 20°C. Czas osiągnięcia równowagowej wartości pojemności absorpcyjnej dla temperatur 20, 40, 60°C wynosił odpowiednio 3,5, 2 i 1h.

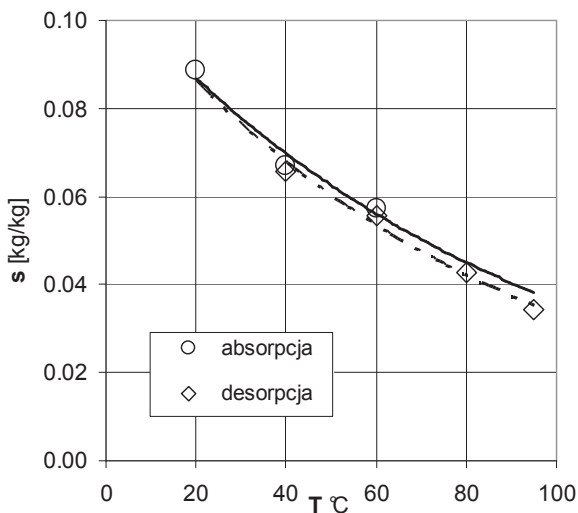


Rys. 2. Pojemność absorpcyjna badanej próbki cieczy jonowej  
Fig. 2. Absorption capacity of ionic liquid



Rys. 3. Pojemność absorpcyjna  $\alpha$  badanej cieczy jonowej, [mol/mol]  
Fig. 3. Absorption capacity of ionic liquid,  $\alpha$  [mol/mol]

Na rys.4 przedstawiono porównanie równowagowych wartości pojemności sorpcyjnej CO<sub>2</sub> dla absorpcji (w zakresie temperatur 20 - 60°C) i desorpcji (40 - 95°C). Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że histereza między absorpcją i desorpcją jest niewielka.



Rys. 4. Porównanie absorpcji i desorpcji w badanej cieczy jonowej  
Fig. 4. Comparison of absorption and desorption in ionic liquid

Badana ciecz jonowa bardzo dobrze miesza się z wodą. Niewielki dodatek wody destylowanej (5%) kilkukrotnie zwiększa szybkość procesu absorpcji w cieczy jonowej, rys.5. Równowagowa wartość pojemności sorpcyjnej zostaje osiągnięta w temperaturze 40°C po około 0,5h, podczas gdy przy braku wody po 1,5h.

Szybkość procesu absorpcji ditlenku węgla w cieczach jonowych oszacowano przybliżając zmianę masy zaabsorbowanego ditlenku w czasie za pomocą zależności

$$\frac{ds}{dt} = k(s^* - s)$$

gdzie  $s^*$  [kg/kg] jest równowagową pojemnością sorpcyjną CO<sub>2</sub> w badanej temperaturze, a  $k$  [1/s] jest stałą szybkości procesu.

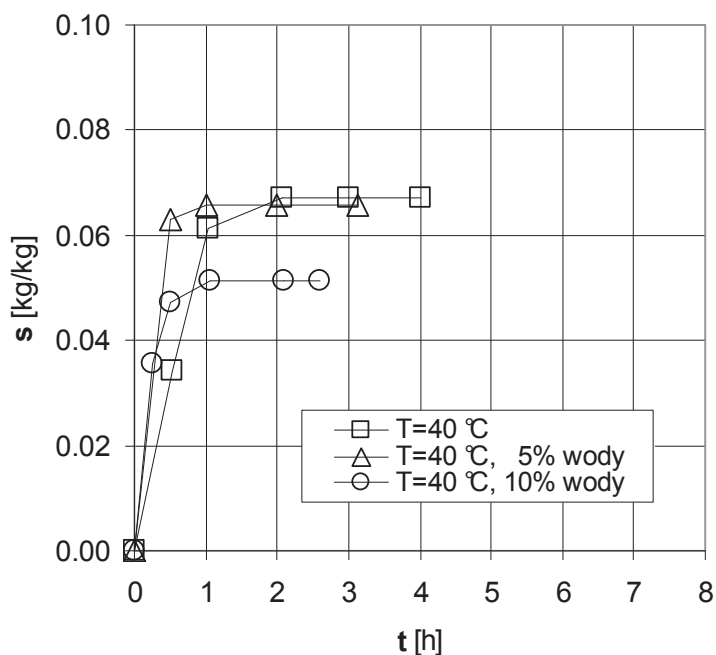
Wyestymowane metodą najmniejszych kwadratów wartości stałej  $k$  zamieszczono w tabeli 3. Dla wszystkich przypadków odchylenie standardowe wartości  $s$  nie przekraczało 0,0023 a współczynnik korelacji  $r^2$  był większy od 0,99.



Tabela 3. Stałe szybkości procesu absorpcji CO<sub>2</sub> w aparacie z barbotażem, k [1/s]Table 3. Absorption of CO<sub>2</sub> rate constants k [1/s] in bubbling apparatus

absorbent	temperatura		
	20 °C	40°C	60°C
[bmin][Ac]	0,000115	0,000374	0,000833
[bmim][Ac] + 5% H <sub>2</sub> O		0,001167	
[bmim][Ac] + 10% H <sub>2</sub> O		0,001420	

Analizując powyższą tabelę można zauważyć, że wraz ze wzrostem temperatury szybkość procesu rośnie; dodatek 5% wody wydatnie zwiększa szybkość procesu.



Rys. 5. Wpływ zawartości wody na pojemność absorpcyjną badanej cieczy jonowej

Fig. 5. Influence of water addition on ionic liquid absorption capacity

## 5. WNIOSKI

Zmierzona pojemność sorpcyjna CO<sub>2</sub> w badanej cieczy jonowej [bmim][Ac] maleje ze wzrostem temperatury absorpcji i osiąga wartość równowagową  $\alpha = 0,37; 0,28; 0,25$  odpowiednio dla temperatury 20, 40, 60 °C.

Pojemność sorpcyjna dla badanej cieczy jonowej w temperaturze 20°C jest porównywalna z pojemnością absorpcyjną wodnych roztworów amin ( $\alpha = 0,40$ ).

Ze wzrostem temperatury wyraźnie wzrasta szybkość procesu absorpcji. Równowaga absorpcyjna w temperaturze 20, 40, 60°C zostaje osiągnięta odpowiednio po 3,5h, 1,5h, i 0,5h, a stałe szybkości procesu  $k$  wynoszą odpowiednio  $115 \cdot 10^{-6}$ ,  $374 \cdot 10^{-6}$  i  $833 \cdot 10^{-6}$  [1/s].

Niewielki dodatek wody w cieczy jonowej (do 5%) wpływa korzystnie na szybkość procesu absorpcji ditlenku węgla. W temperaturze 40°C równowaga absorpcyjna osiągnięta jest po 0,5h ( $k=1167 \cdot 10^{-6}$  [1/s]), a bez dodatku wody po 1,5h ( $k=374 \cdot 10^{-6}$  [1/s]), bez istotnej zmiany równowagowej pojemności sorpcyjnej. Większy udział wody w cieczy jonowej (10%) zauważalnie zmniejsza równowagową pojemność sorpcyjną CO<sub>2</sub> badanej cieczy jonowej, przy porównywalnej szybkości absorpcji, w porównaniu do 5% dodatku wody (rys. 5).

## PIŚMIENNICTWO CYTOWANE - REFERENCES

1. J.M. Navazza, D. Gomez-Diaz, M.D. La Rubia, Removal process of CO<sub>2</sub> using MDEA aqueous solutions in bubble column reactor, *Chem.Eng.J.*, 2009, 146, 184-188.
2. W.Moniuk, R. Pohorecki, P. Chachniewski, Carbon dioxide absorption into aqueous blends of N-Methyldietanolamine and 2-Ethylaminoetanol, *Chem.Process. Eng.*, 2012, 33(4), 546-561.
3. A. Yokozeki, M.B. Shiflett, C.P. Junk, L.M. Grieco, T. Foo, Physical and chemical absorption of carbon dioxide in room temperature ionic liquids, *J.Phys. Chem B*, 2008, 112, 16654-16632.
4. A.M. Inamuddin, *Green Solvents II, Properties and applications of the ionic liquids*, Springer Dordrecht Heilderberg New York London, 2012.
5. M.B. Shiflett, A. Yokozeki, A phase behavior of carbon dioxide in ionic liquids: [emim][acetate], [emim][trifluoroacetate], and [emim][acetate]+[emim][trifluoroacetate] mixtures, *J.Chem.Eng.Data*, 2009, 54, 108-114.
6. M.B. Shiflett, D.J Kasprzak, C.P. Junk, A. Yokozeki, A phase behavior of carbon dioxide + [bmim][Ac] mixtures, *J.Chem.Thermodyn.*, 2008, 40, 25-31.
7. M. I. Cabaço, M. Besnard, Y. Danten, J. A. P. Coutinho, Carbon Dioxide in 1-butyl-3-methylimidazolium Acetate. I. Unusual Solubility Investigated by Raman Spectroscopy and DFT Calculations, *J.Phys.Chem.A.*, 2012, 116(20), 1605-1620.

8. K.Fukumoto, M.Yoshizawa, H.Ohno, Room Temperature Ionic Liquids from 20 Natural Amino Acids, *J.Am.Chem.Soc.*, 2005, 127, 2398 – 2399.
9. L.M. Galan Sanchez, G.W. Meindersma, A.B. Haan, Solvent properties of functionalized ionic liquids for CO<sub>2</sub> absorption, *Trans IChemE*, 2007, 85(A1), 31-39.
10. M. Besnard, M. I. Cabaço, F. V. Chávez, N. Pinaud, P. J. Sebastião, J. A. P. Coutinho, J. Mascetti, Y. Danten, CO<sub>2</sub> in 1-butyl-3-methylimidazolium Acetate. 2. NMR Investigation of Chemical Reactions, *J.Phys.Chem.A.*, 2012, 116(20), 4890-4901.
11. M.B. Shiflett, D.W. Drew, R.A. Cantini, A. Yokozeki, Carbon dioxide Capture Using Ionic Liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium Acetate, *Energy Fuels*, 2010, 24 (10), 5781–5789.

ADAM ROTKEGEL, ZENON ZIOBROWSKI, ROMAN KRUPICZKA

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CARBON DIOXIDE ABSORPTION IN IONIC LIQUID [BMIM][AC]

The experimental results of equilibrium capacity of carbon dioxide absorption in ionic liquid [bmim][Ac] are presented. Experiments were performed in bubbling apparatus (fig. 1) in temperature range 20-60°C and CO<sub>2</sub> flow range 500-600 cm<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>.

Carbon dioxide absorption equilibrium capacities in ionic liquid [bmim][Ac] decreases with rising temperature. For temperatures 20, 40, and 60°C the measured values of absorption capacities  $\alpha$  are equal 0.37; 0.28; 0.25 respectively (fig. 3).

Measured equilibrium CO<sub>2</sub> absorption capacities are comparable with those obtained for 15% aqueous MEA solutions used in industry [1,2].

With rising temperature the higher values of absorption rates were obtained. Absorption equilibrium was achieved after 3.5, 1.5, 0.5h for temperatures 20, 40 and 60°C respectively (fig. 2).

Small amounts of water (5 - 10%) was added to ionic liquid [bmim][Ac]. It was found that 5% amount of water increases CO<sub>2</sub> absorption rates significantly, while equilibrium absorption capacity does not changed. Higher amount of water (10%) does not increase CO<sub>2</sub> absorption rate, but decreases absorption capacity (fig. 5).