

Maciej KANIEWSKI<sup>1</sup>, Dominik NIEWEŚ<sup>1</sup>, Daniel SZOPA<sup>1</sup>  
Marta HUCULAK-MAŁCZKA<sup>1</sup>, Justyna GEBAUER<sup>1</sup>, Jakub ZIELIŃSKI<sup>1</sup>  
Józef HOFFMANN<sup>1</sup> i Krystyna HOFFMANN<sup>1\*</sup>

## SYMULACJA WYBRANYCH PARAMETRÓW PROCESOWYCH W INSTALACJI SYNTEZY KWASU AZOTOWEGO(V) Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU CHEMCAD

### SIMULATION OF THE SELECTED PROCESS PARAMETERS FOR NITRIC ACID SYNTHESIS PLANT USING CHEMCAD SOFTWARE

**Abstrakt:** Kwas azotowy(V) jest nieorganicznym związkiem chemicznym, który ze względu na silne właściwości utleniające wykorzystywany jest w wielu procesach przemysłu chemicznego, między innymi do wytwarzania paliwa raketowego czy też rozdzielania mieszanin zawierających złoto i srebro. Kwas azotowy o niższym stężeniu (około 60 do 65 % mas.  $\text{HNO}_3$ ) zobojętnia się amoniakiem z wytworzeniem azotanu amonu, który ze względu na obecność dwóch form azotu (azotanowej i amonowej) stanowi podstawowy związek wchodzący w skład azotowych nawozów mineralnych. Znacząca większość  $\text{HNO}_3$  wytwarzanego w polskich zakładach chemicznych zużywana jest w procesie wytwarzania nawozów azotowych. W pracy przedstawiono wyniki symulacji komputerowej węzła absorpcji  $\text{NO}_x$  w fazie ciekłej, stanowiącego jeden z ostatnich etapów syntezy kwasu azotowego(V) metodą Ostwalda. Określono także podstawowe parametry pracy pompy, wchodzącej w skład tej części instalacji.

**Słowa kluczowe:** Chemcad, symulacja procesu, kwas azotowy, absorpcja  $\text{NO}_x$

### Wprowadzenie

Zgodnie z opublikowanym raportem GUS, dotyczącym środków produkcji w roku gospodarczym 2015/2016, zużycie nawozów sztucznych w przeliczeniu na 1 hektar użytków rolnych w 2015 roku wyniosło w Polsce 123 kg. Jeszcze w 2000 roku wskaźnik ten był znacząco niższy i wynosił 85,80 kg. Od początku XXI wieku występuje wyraźna tendencja wzrostowa w zużyciu nawozów mineralnych w naszym kraju. Polska plasuje się na 11 miejscu w rankingu największych producentów nawozów azotowych. Jej udział w globalnej produkcji tych substancji wynosi 1,70 % i jest najwyższy w Unii Europejskiej [1-3].

Przełomem w technologii wytwarzania nawozów azotowych było opracowanie syntezy amoniaku z gazowego wodoru i azotu. Reakcja ta została opisana przez Habera i przeprowadzona kilka lat później przez Boscha. Wytworzony w ten sposób amoniak mógł zostać utleniony do różnych form tlenków azotu (określanych w literaturze jako  $\text{NO}_x$ ), które w kolejnym etapie ulegały absorpcji w fazie ciekłej z wytworzeniem  $\text{HNO}_3$  [4-7].

Ze względu na swoje silne właściwości utleniające stężony kwas azotowy(V) wykorzystywany jest jako substrat w procesach rozdzielania mieszanin złota i srebra czy też

<sup>1</sup> Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, ul. M. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, tel. 71 320 62 93, fax 71 328 04 25

\* Autor do korespondencji: krystyna.hoffmann@pwr.edu.pl

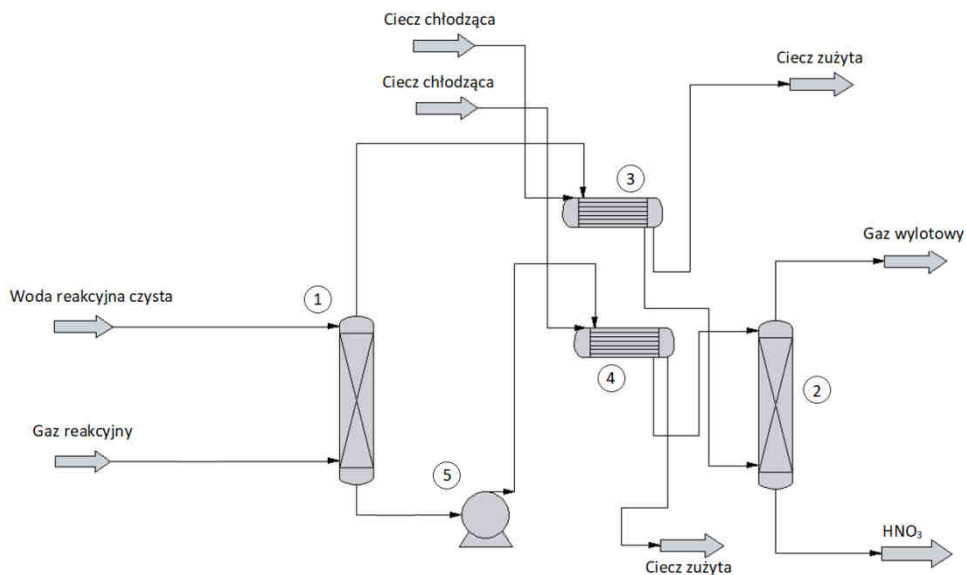
Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 18, Polanica-Zdrój, 10-13.10.2018

do wytwarzania paliwa raketowego [8, 9]. Jednak w większości przypadków kwas azotowy wytwarzany jest jako roztwór o stężeniu około 60-65 % mas.  $\text{HNO}_3$ , co jest wystarczające przy zastosowaniu do wytwarzania nawozowego azotanu amonu [4-6]. Produkcja kwasu azotowego metodą Ostwalda może być realizowana z wykorzystaniem różnych rozwiązań technologicznych, różniących się przede wszystkim węzłem absorpcji  $\text{NO}_x$  do fazy ciekłej, która może odbywać się z zastosowaniem jednego bądź kilku absorberów. Innym czynnikiem różnicującym jest wartość ciśnienia, pod którym realizowane są poszczególne etapy syntezy. Stąd też wyróżnia się nisko- oraz wysokociśnieniowe instalacje syntezy  $\text{HNO}_3$  [10, 11]. Modyfikacje rozwiązań technologicznych otrzymywania  $\text{HNO}_3$  związane są nie tylko z poprawą wydajności i efektywności prowadzonego procesu, ale także z coraz bardziej rygorystycznymi normami dotyczącymi emisji zanieczyszczeń gazowych, do których zaliczane są tlenki azotu.

Coraz częstszą praktyką staje się dokonywanie symulacji procesów w oparciu o nowe rozwiązania technologiczne z wykorzystaniem programów komputerowych, takich jak Comsol, Aspen czy Chemcad. Możliwe jest wówczas wstępne określenie wydajności procesu, poziomów emitowanych zanieczyszczeń, a także optymalizacja parametrów pracy absorberów czy reaktorów, często stanowiących trzon danego rozwiązania technologicznego. Symulacje komputerowe pozwalają także określić parametry pracy innych urządzeń odpowiedzialnych za prawidłowy przebieg procesu technologicznego (pomp, wymienników ciepła), co umożliwia zredukowanie zużycia energii oraz zwiększenie poziomu jej odzyskiwania poprzez m.in. optymalizację wymiany ciepła. Pozwala to na obniżenie kosztów procesowych oraz zredukowanie negatywnego wpływu prowadzonego procesu na środowisko naturalne [12-20].

### **Metodyka badań**

Celem prowadzonych badań była symulacja komputerowa z wykorzystaniem programu Chemcad przebiegu procesu absorpcji  $\text{NO}_x$  do fazy ciekłej, którą stanowiła woda, a następnie rozcieńczony kwas azotowy(V). Proces ten stanowi jeden z etapów w technologii wytwarzania  $\text{HNO}_3$ . Na tej podstawie dokonano obliczeń, związanych z wyznaczeniem wartości parametrów charakteryzujących pracę pompy, wchodzącej w skład rozpatrywanej części węzła technologicznego. Symulację procesu absorpcji  $\text{NO}_x$  wykonano dla modelu instalacji zaproponowanego przez UHDE, gdzie symbolami 1 oraz 2 oznaczono absorbery, 3 i 4 wymienniki ciepła, natomiast cyfrą 5 pompę przetłaczającą ciecz pomiędzy kolumnami absorpcyjnymi. Na podstawie modelu reakcji przedstawionego w tabeli 1 dla poszczególnych równań reakcji zachodzących w kolumnie absorpcyjnej określono także parametry kinetyczne, niezbędne do przeprowadzenia symulacji komputerowej [5, 21-23].



Rys. 1. Schemat węzła technologicznego absorpcji NO<sub>x</sub> w fazie ciekłej, gdzie symbolami 1 oraz 2 oznaczono kolumny absorpcyjne, 3 i 4 wymienniki ciepła, natomiast cyfrą 5 pompę

Fig. 1. Diagram of technological node for NO<sub>x</sub> absorption into liquid phase, where absorbers were described as 1 and 2, heat exchangers were defined by 3 and 4 and 5 is a pump

Wartości parametrów kinetycznych dla poszczególnych reakcji w przyjętym modelu

Tabela 1

Kinetic parameters set for the reaction model

Table 1

Reakcja	Czynnik przedwykładniczy*	Wykładnik potęgi	Energia aktywacji [J · kmol <sup>-1</sup> ]
2NO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O → HNO <sub>2</sub> + HNO <sub>3</sub>	$1,15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^6}{\text{mol}^2 \cdot \text{s}}$	3,95	-1,16 · 10 <sup>7</sup>
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → 2HNO <sub>2</sub>	$3,79 \cdot 10^7 \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$	1,64	3,72 · 10 <sup>7</sup>
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O → HNO <sub>3</sub> + HNO <sub>2</sub>	$8,64 \cdot 10^4 \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$	1,88	1,71 · 10 <sup>7</sup>
2HNO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O + NO + NO <sub>2</sub>	$241 \frac{\text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{s}}$	3,50	5,35 · 10 <sup>7</sup>

\* Czynnik przedwykładniczy wyrażany jest w  $[\frac{\text{m}^3)^{b-1}}{\text{mol}^{b-1} \cdot \text{s}}]$ , gdzie *b* jest rzędem reakcji.

### Wyniki badań i ich dyskusja

W tabeli 2 zestawiono wyniki symulacji komputerowej procesu absorpcji tlenków azotu w fazie ciekłej z wykorzystaniem programu Chemcad. Na ich podstawie dokonano obliczeń związanych z określeniem parametrów pozwalających na wyznaczenie charakterystyki pompy i sieci, a także charakterystyki sprawności pompy.

Tabela 2  
Zestawienie najważniejszych wyników symulacji procesu absorpcji NO<sub>x</sub> do fazy ciekłej z wykorzystaniem programu Chemcad

Table 2

Results for simulation of NO<sub>x</sub> absorption into liquid phase using Chemcad software

Parametr	Oznaczenie	Wartość
Strumień objętościowy [m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	<i>V</i>	2,93
Gęstość roztworu HNO <sub>3</sub> [kg · m <sup>-3</sup> ]	<i>ρ</i>	1250,25
Stężenia otrzymanego roztworu HNO <sub>3</sub> [% mas.]	<i>C</i>	55,00
Prędkość liniowa przepływu cieczy przez rurociąg [m · s <sup>-1</sup> ]	<i>u</i>	0,20

Wyznaczono także optymalną średnicę rurociągu (*d*) dla wartości prędkości liniowej przedstawionej w tabeli 2. Wyniosła ona 0,0072 m. Następnym etapem było wyznaczenie wartości liczby Reynoldsa, określającej charakter przepływu cieczy w rozważanym węźle technologicznym. Wartość tę obliczono zgodnie z równaniem:

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

gdzie symbolem *Re* oznaczono bezwymiarową wartość liczby Reynoldsa, natomiast *ν* to lepkość kinematyczna przepływającego płynu w warunkach prowadzonego procesu, wyrażana w m<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup>. W tym przypadku wartość *ν* była równa 9,60 · 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup>. Dla warunków prowadzenia procesu liczba Reynoldsa, obliczona zgodnie z równaniem (1), wyniosła 14 996,10. Kolejnym etapem było wyznaczenie sumy współczynników strat ciśnienia, zgodnie z równaniem (2). Jest to wartość bezwymiarowa, wynikająca z oporów miejscowych przepływu płynu przez rurociąg:

$$\Sigma \zeta = 7 \cdot \zeta_k + \zeta_R + \zeta_{wylot} + \zeta_{wlrot} + \zeta_W + \zeta_B \quad (2)$$

gdzie symbolem  $\Sigma \zeta$  oznaczono sumę współczynników miejscowych strat ciśnienia płynu przepływającego przez zaprojektowaną część rurociągu.  $\zeta_k$  to współczynnik strat ciśnienia dla przepływu przez kolanko,  $\zeta_R$  oraz  $\zeta_B$  oznaczają odpowiednio współczynniki strat ciśnienia generowane podczas przepływu przez zawór regulacyjny oraz bezpieczeństwa, natomiast symbole  $\zeta_{wylot}$ ,  $\zeta_{wlrot}$  oraz  $\zeta_W$  to odpowiednio współczynniki strat ciśnienia podczas wypływania cieczy z 1 absorbera, wpływania do 2 absorbera oraz te, które generowane są podczas przepływu przez wymiennik ciepła, znajdujący się pomiędzy dwiema kolumnami absorpcyjnymi. Założone wartości poszczególnych współczynników strat ciśnienia zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3  
Wartości współczynników strat ciśnienia na poszczególnych etapach przepływu płynu przez rurociąg

Table 3

Values of pressure loss coefficients at each stages of fluid flow through the pipeline

Współczynnik strat ciśnienia	Wartość
$\zeta_k$	1,30
$\zeta_R$	2,00
$\zeta_{wylot}$	0,50
$\zeta_{wlrot}$	0,56
$\zeta_W$	1,50
$\zeta_B$	2,50

Na podstawie równania (2) oraz danych zestawionych w tabeli 3 obliczono sumę współczynników miejscowych strat ciśnienia na skutek przepływu płynu przez poszczególne elementy aparatury. Wartość ta wyniosła 16,10.

Kolejnym etapem było określenie całkowitych strat ciśnienia podczas przepływu płynu przez rurociąg. Wartość tego parametru obliczono, korzystając z równania:

$$\Delta p_{strat} = \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{u^2 \cdot \rho}{2} \quad (3)$$

gdzie  $\Delta p_{strat}$  oznacza całkowitą stratę ciśnienia płynu na skutek jego przepływu przez rozpatrywaną część instalacji syntezy HNO<sub>3</sub>,  $\lambda$  to bezwymiarowy współczynnik oporów liniowych. Wartość  $\lambda$ , odczytana z wykresu Colebrooka-White'a dla obliczonej wcześniej wartości  $Re$ , wynosi 0,0289.  $L$  oraz  $d$  oznaczają odpowiednio długość oraz średnicę rurociągu ( $L = 11,25$  m,  $d = 0,072$  m). Wartość  $\Sigma \xi$ , czyli suma współczynników miejscowych strat ciśnienia, została wcześniej obliczona i wynosi 16,10. Symbole  $u$  oraz  $\rho$  oznaczają liniową prędkość przepływu płynu oraz jego gęstość (odpowiednio  $u = 0,20$  m · s<sup>-1</sup>,  $\rho = 1250,25$  kg · m<sup>-3</sup>). Wyliczona wartość całkowitej straty ciśnienia płynu podczas przepływu przez węzeł absorpcji NO<sub>x</sub> w fazie ciekłej wynosi 515,60 Pa.

Kolejnym etapem, związanym z opisem parametrów pracy pompy, było określenie mocy, jaka konieczna jest, aby pompa była w stanie przetłoczyć określoną ilość cieczy na zadaną wysokość. W celu jej wyznaczenia najpierw, korzystając z równania Bernoulliego, określono wartość ciśnienia, jakie musi być generowane przez pompę ( $\Delta p_p$ ). Dla rozpatrywanego układu równanie Bernoulliego ma postać:

$$p_{atm} + \rho g h_1 + \frac{u_1^2 \rho}{2} + \Delta p_p = p_{atm} + \rho g h_2 + \frac{u_2^2 \rho}{2} + \Delta p_{strat} \quad (4)$$

Wykaz oznaczeń użytych w równaniu (4), wraz z wartościami dla poszczególnych wielkości, które zostały określone na podstawie symulacji komputerowej, zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Objaśnienie oznaczeń użytych w równaniu (4) wraz z wartościami dla poszczególnych wielkości

Table 4

Explanation for the symbols used in equation (4). Values for used variables were also given

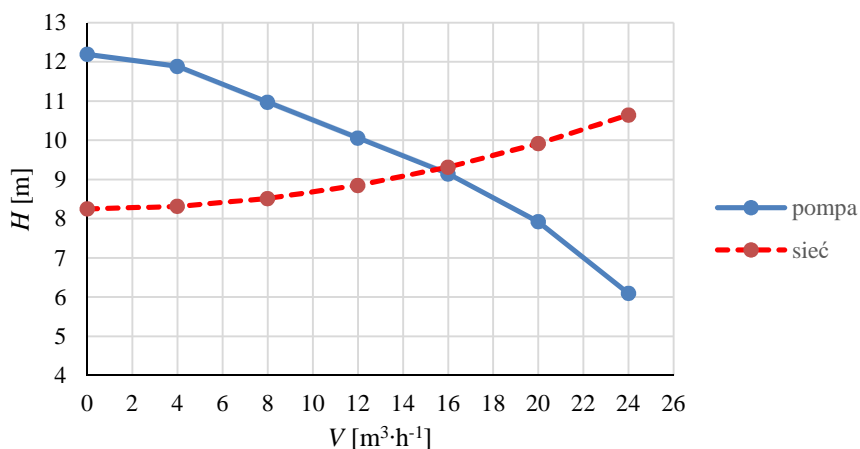
Symbol	Wyjaśnienie	Wartość
$p_{atm}$	Ciśnienie atmosferyczne	101325 Pa
$\rho$	Gęstość roztworu kwasu azotowego(V)	1250,25 kg · m <sup>-3</sup>
$g$	Przyspieszenie ziemskie	9,81 m · s <sup>-2</sup>
$h_1$	Różnica wysokości pomiędzy poziomem cieczy w absorberze 1 a pompą	0,25 m
$u_1$	Liniowa prędkość przepływu płynu przed pompą	0,20 m · s <sup>-1</sup>
$h_2$	Różnica wysokości pomiędzy poziomem cieczy w absorberze 2 a pompą	8,25 m
$u_2$	Liniowa prędkość przepływu płynu za pompą	0,20 m · s <sup>-1</sup>
$\Delta p_{strat}$	Strata ciśnienia strumienia płynu na skutek oporów przepływu	515,60 Pa

Wartość ciśnienia, jakie powinno być wygenerowane przez pompę, obliczone na podstawie wzoru (4) oraz z wykorzystaniem wartości podanych w tabeli 4, wynosi 105 238,80 Pa. Kolejnym etapem analizy było wyznaczenie, zgodnie z równaniem (5), mocy użytkowej pompy ( $N_{uż.}$ ) jako iloczynu wartości ciśnienia generowanego przez pompę

oraz strumienia objętościowego transportowanej cieczy. W tym przypadku moc użytkowa wyniosła 85,60 W.

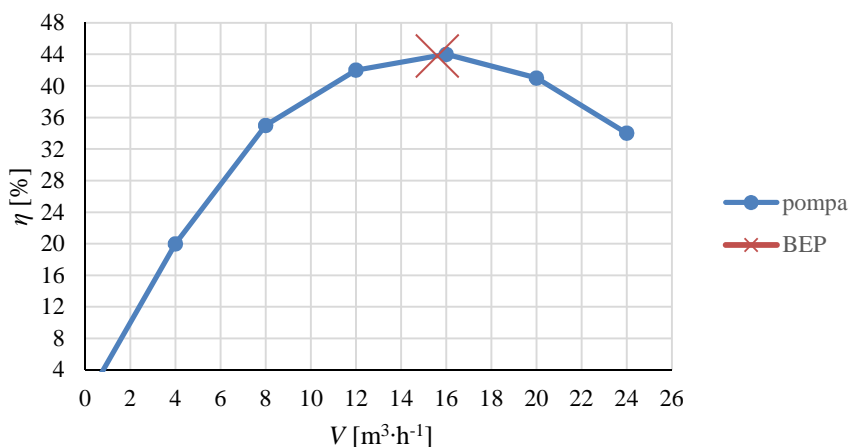
$$N_{uz.} = \Delta p_p \cdot V \quad (5)$$

Dzieląc wartość  $N_{uz.}$  przez sprawność pompy ( $\eta$ ), otrzymano wartość mocy elektrycznej ( $N_{el.}$ ), która konieczna jest do zapewnienia prawidłowej pracy rozpatrywanego węzła technologicznego instalacji syntezy  $\text{HNO}_3$ . Sprawność pompy wybranej do symulacji wynosiła 43,80 %, a zatem moc elektryczna pompy to 195,40 W.



Rys. 2. Charakterystyka pompy i sieci

Fig. 2. Pump and system characteristics



Rys. 3. Charakterystyka sprawności pompy

Fig. 3. Pump efficiency characteristics

Na podstawie dokonanych obliczeń wygenerowano wykresy charakterystyki pompy i sieci (rys. 2), a także zależność pomiędzy sprawnością pompy oraz strumieniem objętościowym transportowanej cieczy (rys. 3). Na podstawie ich analizy wyznaczono tzw. punkt najwyższej sprawności (BEP), określający, dla jakiego strumienia objętościowego tłoczonego płynu pompa osiąga najwyższą sprawność.

Na podstawie analizy wykresów z rysunków 2 oraz 3 określono wartości strumienia objętościowego przetłaczanego płynu oraz sprawność pompy dla punktu BEP. Najwyższa sprawność zaproponowanej pompy wynosiła 43,80 % i była ona osiągnięta przy przepływie objętościowym płynu wynoszącym  $15,60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

## Wnioski

Zgodnie z wynikami symulacji komputerowej przedstawionymi w tabeli 2, przy założonym modelu reakcji zachodzących w fazie ciekłej, a także dla wybranych parametrów kinetycznych możliwe jest uzyskanie roztworu kwasu azotowego(V) o stężeniu masowym wynoszącym 55 %  $\text{HNO}_3$ . Jest to wartość nieznacznie niższa od tej, którą uzyskuje się w instalacjach przemysłowych (60-65 % mas.  $\text{HNO}_3$ ).

Obliczona wartość liczby Reynoldsa wyniosła 14 996,10. Jest ona znacznie większa od 2300, co oznacza, że przepływ cieczy przez elementy rozpatrywanego węzła technologicznego ma charakter burzliwy. Umożliwia to intensyfikację procesów wymiany ciepła oraz masy, a tym samym sprawniejszy odzysk energii w wymiennikach ciepła, a także zwiększenie wydajności absorpcji  $\text{NO}_x$  w fazie ciekłej.

Na podstawie obliczeń związanych z parametrami pracy pompy tłoczącej ciecz pomiędzy dwoma absorberami określono parametry dla punktu najwyższej sprawności pompy (BEP). Najwyższa sprawność pompy, wynosząca 43,80 %, została osiągnięta przy przepływie objętościowym płynu równym  $15,60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Wyznaczona maksymalna sprawność pompy jest znacząco niższa od przeciętnej wartości tego parametru. Jest to związane z koniecznością zastosowania pompy o specjalnej konstrukcji, odpornej na działanie czynnika agresywnego, jakim niewątpliwie jest transportowany roztwór  $\text{HNO}_3$ .

Otrzymane wyniki symulacji komputerowej oraz określenie parametrów pracy pompy mogą stanowić podstawę dalszych badań nad modyfikowaniem rozwiązań technologicznych dotyczących produkcji kwasu azotowego(V) w celu zwiększenia jej wydajności, a także zmniejszenia emisji zanieczyszczeń.

## Podziękowania

Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2017-2018 jako projekt badawczy statutowy MNiSzW realizowany na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (Nr 0401/0199/17 - W3/Z14).

## Literatura

- [1] <http://www.chemiaibiznes.com.pl/aktualnosc/polska-utrzymuje-silna-pozycje-na-swiatowym-ryнку-nawozow>, dostęp 04.09.2018.
- [2] Główny Urząd Statystyczny, Departament Rolnictwa. Środki produkcji w rolnictwie w roku gospodarczym 2015/2016. Warszawa: GUS; 2017. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/srodki-produkcji-w-rolnictwie-w-roku-gospodarczym-20152016,6,13.html>.

- [3] Monitoring Branżowy banku PKO BP. Departament Analiz Ekonomicznych. Analiza sektorowa - Rynek nawozów mineralnych w Polsce. Warszawa: 2015. [http://www.pkobp.pl/media\\_files/b74b6781-64ff-41f2-822b-aad014c378dc.pdf](http://www.pkobp.pl/media_files/b74b6781-64ff-41f2-822b-aad014c378dc.pdf).
- [4] Thiemann M, Scheibler E, Wiegand KW. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Berlin: Wiley-VCH Verlag GmbH; 2000. DOI: 10.1002/14356007.a17\_293.
- [5] Hignett TP. Fertilizer Manual. Dordrecht: Springer Science Business Media; 2013. DOI: 10.1007/978-94-017-1538-6.
- [6] Najlepsze Dostępne Techniki (BAT). Wytyczne dla branży chemicznej w Polsce, Przemysł Wielkotonazowych Chemikaliów Nieorganicznych, Amoniak, Kwasów i Nawozów Sztucznych, 13-75, 98-111. Warszawa: Ministerstwo Środowiska; 2005. [https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/nawozy\\_II\(1\).pdf](https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/nawozy_II(1).pdf).
- [7] Vojvodic A, Medford AJ, Studt F, Abild-Pedersen F, Khan TS, Bilgaard T, et al. Chem Phys Lett. 2014;598:108-112. DOI: 10.1016/j.cplett.2014.03.003.
- [8] Martinez L, Segarra M, Fernandez M, Espiell F. Metall Mater Trans B. 1993;24:827-837. DOI: 10.1007/BF02663143.
- [9] Kulkarni SG, Bagalkote VS. J Energ Mater. 2010;28:173-188. DOI: 10.1080/07370650903360070.
- [10] Liu JD, Dong ZZ, Xu JX, Guo AK, Tian ZL. Adv Chem Mater Metall Eng. 2013;634:3830-3834. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.634-638.3830.
- [11] Chatterjee IB, Joshi JB. Chem Eng J. 2008;138:556-577. DOI: 10.1016/j.cej.2007.07.064.
- [12] Santiago R, Beida J, Moreno D, Moya C, de Riva J, Larriba M, et al. Sep Purif Technol. 2018;204:38-48. DOI: 10.1016/j.seppur.2018.04.060.
- [13] Gutierrezcanas C, Arias PL, Legarreta JA. Comput Chem Eng. 1989;13:985-1002. DOI: 10.1016/0098-1354(89)87041-3.
- [14] Swain R, Mohapatra RN, Routray S, Pradhan RR. Adv Sci Lett. 2016;22:551-554. DOI: 10.1166/asl.2016.6860.
- [15] Valueva EP. High Temp. 2014;52:873-880. DOI: 10.1134/S0018151X14050198.
- [16] Smykalov PY, Sharikov YV, Sharikov FY, Veretennikov EA, Lebedev BA, Tselinskii IV. Russ J Appl Chem. 2001;74:1880-1883. DOI: 10.1023/A:1014844728175.
- [17] Giwa A, Giwa SO. Int J Eng Res Afr. 2017;29:70-80. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.29.70.
- [18] Ahmadpour J, Ahmadi M, Javdani A. J Therm Anal Calorim. 2019;135:1943-1949. DOI: 10.1007/s10973-018-7512-4.
- [19] Ngaojampa C, Kawatsu T, Oba Y, Kungwan N, Tachikawa M. Theor Chem Acc. 2017;136:30-41. DOI: 10.1007/s00214-017-2057-3.
- [20] Winner JD, Pan F, McIlvoy MH. Appl Opt. 2019;58:2702-2712. DOI: 10.1364/AO.58.002702.
- [21] Zhu RS, Ke-Yu L, Lin MC. J Phys Chem A. 2012;116:4466-4472. DOI: 10.1021/jp302247k.
- [22] England C, Corcoran WH. Ind Eng Chem Fundamen. 1975;14:55-63. DOI: 10.1021/i160053a010.
- [23] Martin JZ, Desai SR, Feigerle CS, Miller JC. J Phys Chem. 1998;100:8170-8174. DOI: 10.1021/jp953337+.

## SIMULATION OF THE SELECTED PROCESS PARAMETERS FOR NITRIC ACID SYNTHESIS PLANT USING CHEMCAD SOFTWARE

Department of Technology and Chemical Processes, Faculty of Chemistry  
Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw

**Abstract:** Nitric acid is an inorganic chemical compound, which due to its strong oxidizing properties is used as a substrate in many chemical industry processes, for example for rocket fuel synthesis or separation gold and silver containing mixtures. Nitric acid with lower concentration (about 60 to 65% by mass) is neutralized with ammonia to ammonium nitrate, which due to presence of two nitrogen forms (nitrate and ammonium) is a basic compound for nitrogen fertilizers. Most of  $\text{HNO}_3$  production in polish chemical companies is consumed as a substrate for nitrogen fertilizers production. This paper presented results of computer simulation for  $\text{NO}_x$  absorption process in liquid phase, which is one of the last step in the  $\text{HNO}_3$  synthesis by Ostwald method. The basic work parameters of pump for this part of installation were also calculated.

**Keywords:** Chemcad, process simulation, nitric acid, absorption of  $\text{NO}_x$