

# Uklanjanje etilen-oksida iz otpadnih gasova postupkom apsorpcije

Zorana Lj. Arsenijević<sup>1</sup>, Željko B. Grbavčić<sup>2</sup>, Boško V. Grbić<sup>1</sup>, Nenad D. Radić<sup>1</sup>, Radmila V. Garić-Grulović<sup>1</sup>,  
Mihal M. Đuriš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IHTM – Centar za katalizu i hemijsko inženjerstvo, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

<sup>2</sup>Tehnološko–metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

## Izvod

Predmet ovog rada je istraživanje mogućnosti uklanjanja etilen-oksida (EtO) iz otpadnih gasova apsorpcijom u razblaženim vodenim rastvorima sumporne kiseline sa ciljem da se ocene mogućnosti primene ove tehnologije za projektovanje industrijskog sistema. Apсорpcija je naročito pogodan postupak kao prvi stepen prečišćavanja u slučajevima kada je emisiona koncentracija EtO visoka. Eksperimentalno je ispitan uticaj širokog opsega vremena kontakta na efikasnost uklanjanja EtO. Ulazne koncentracije EtO su varirane od 4 do 40 vol.%, a vremena kontakta od 4 do 40 s. Apсорpcija je izvođena u rastvoru sumporne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pri čemu dolazi do hidrolize EtO u etilen-glikol. Efikasnost apсорpcije EtO opada sa povećanjem koncentracije etilen-glikola u apсорpcionom rastvoru. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja su pokazali da se može postići visok stepen efikasnosti uklanjanja EtO (> 98%) pod uslovom da je vreme kontakta dovoljno dugo (oko 25 s).

*Ključne reči:* etilen-oksid; apсорpcija; mokri skruber.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

Etilen-oksid (EtO) je isparljivo organsko jedinjenje koje je našlo široku praktičnu primenu. Primarno se koristi kao hemijski intermedijer za proizvodnju etilen-glikola (antifriz), plastičnih masa i polimera i površinsko aktivnih agenasa. Takođe se koristi u proizvodnji glikol-etera i etanol-amina, kao i za sterilizaciju medicinskih, farmaceutskih i prehrambenih proizvoda.

EtO je eksplozivan i zapaljiv gas u smeši sa vazduhom. Potpuno je mešljiv sa vodom, alkoholom, acetonom, benzenom, etrom, ugljen-tetrahloridom i većinom organskih rastvarača. S obzirom na to da je tež i od vazduha, od izvora emisije se rasprostire neposredno iznad površine zemlje. Burno reaguje sa različitim jedinjenjima: jakim kiselinama, alkalijama, oksidantima, hloridima gvožđa, olova i aluminijuma, kao i sa oksidima gvožđa i aluminijuma, pri čemu nastaju termodinamički stabilni i uglavnom vrlo toksični produkti. Zagrevanjem na preko 500 °C EtO se razgrađuje uz pojavu vatre i eksplozije. Međutim, relativno je stabilan u vodenom rastvoru ili razblažen sa ugljen-dioksidom. Radi smanjenja opasnosti od eksplozije, kada se koristi kao fumigant ili sterilizator, EtO se najčešće koristi u smeši sa CO<sub>2</sub>.

Prema domaćim propisima (Pravilnik o graničnim vrednostima emisije (GVE), načinu i rokovima merenja i evidentiranju podataka, Sl. glasnik RS, 30/97 i 35/97) etilen-oksid spada u III klasu zagađujućih materija sa

maksimalno dozvoljenom emisionom koncentracijom od 5 mg/m<sup>3</sup> za emisiju veću od 0,025 kg/h.

Postoji više tehnologija koje se koriste za smanjenje emisije gasovitih polutanata: apсорpcija u tečnosti [1–3], adsorpcija na aktivnom uglju ili na nekoj drugoj poroznoj čvrstoj podlozi [4], hemijska promena – prevođenje u neškodljiv (ili manje škodljiv) gas termičkom, katalitičkom ili biološkom oksidacijom i kriogena kondenzacija [5–6]. Izbor tehnologije prečišćavanja zavisi od više faktora kao što su: koncentracija gasovitih polutanata, u ovom slučaju EtO, potrebna efikasnost separacije, kao i ukupni operativni i instalacioni troškovi [7]. U specifičnim situacijama kada jedan tehnološki postupak ne može da obezbedi zahtevani stepen uklanjanja polutanata moguće je kombinovati dve ili više različitih tehnologija u jednoj liniji za prečišćavanje, kao na primer mokro prečišćavanje, a potom katalitička oksidacija [8] ili adsorpcija na aktivnom uglju, a potom katalitička oksidacija, i drugo [8–14].

Uređaji koji se široko primenjuju za tretman gasova su mokri skruberi koji apсорbuju gasove u odgovarajućoj tečnosti koja protivstrujno teče u odnosu na gas. Takođe, postupak apсорpcije je naročito pogodan kao prvi stepen prečišćavanja kada su u pitanju visoke koncentracije EtO u otpadnim gasovima. Postoji veći broj konstrukcija skrubera koji omogućuju visoki stepen kontakta gasa i tečnosti i visoku efikasnost separacije. Stepenu uklanjanja štetnih gasova u skruberu zavisi od stepena zasićenja na granici faza gasa i rastvarača u apsorberu. Efikasnost separacije je funkcija vremena kontakta, stepena zasićenja na površini tečnosti i reaktivnosti gasa sa rastvaračem [15].

Iako je tehnologija uklanjanja otpadnog EtO procesom apсорpcije u kiselim rastvorima relativno poznata,

NAUČNI RAD

UDK 547.422–31:66.071.9:543.272

*Hem. Ind.* 65 (4) 389–395 (2011)

doi: 10.2298/HEMIND110329026A

Prepiska: M. Đuriš, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju – Centar za katalizu i hemijsko inženjerstvo, Njegoševa 12, 11000 Beograd, Srbija.

E-pošta: mdjuris@tmf.bg.ac.rs

Rad primljen: 29. mart, 2011

Rad prihvaćen: 14. april, 2011

u dostupnoj naučnoj i stručnoj literaturi nema podataka o procesnim parametrima koji obezbeđuju visoku efikasnost ovog procesa, kao što su ulazne koncentracije EtO, vreme kontakta, optimalne temperature i pH rastvora. Stoga je u okviru ovog rada izvršeno eksperimentalno ispitivanje apsorpcije EtO u razblaženom vodenom rastvoru  $H_2SO_4$  radi ocene mogućnosti primene ovog postupka i dobijanja projektnih parametara za realizaciju industrijskog postrojenja.

## EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

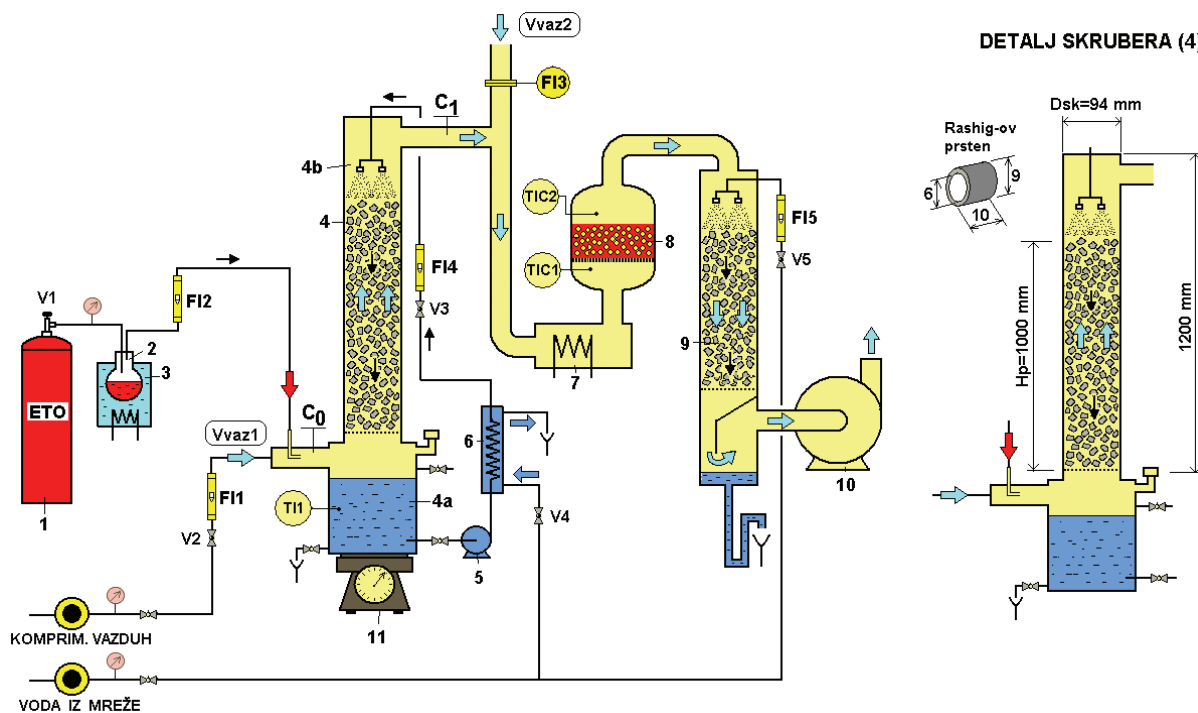
Karakteristike EtO prikazane su u tabeli 1.

Eksperimenti uklanjanja EtO su izvršeni na poluin-dustrijskom postrojenju, šematski prikazanom na slici 1. Vazduh iz kompresora (1) uvodi se u skruber definisanim protokom,  $V_{vaz1}$ . EtO se iz boce upušta u isparivač (2), koji se nalazi u vodenom kupatilu (3), na definisanoj konstantnoj temperaturi. Iz isparivača EtO se kao gas protokom  $V_{eto1}$  uvodi u ulaznu cev skrubera (4), gde se meša sa vazduhom, tako da se na ulazu u skruber formira gasna smeša željene koncentracije  $c_0$  (slika 1). U skruberu se ostvaruje suprotnostrujni kontakt gasne

Tabela 1. Karakteristike etilen-oksida (EtO) [16]  
Table 1. Characteristics of ethylene oxide (EtO) [16]

Molska masa, g/mol	44,05
Tačka ključanja (760 mm Hg), °C	11
Tačka topljenja (760 mm Hg), °C	-111
Relativna gustina u tečnom stanju (voda = 1)	0,9
Napon pare (20 °C), kPa	146
Relativa gustina u gasovitom stanju (vazduh = 1)	1,5
Temperatura samopaljenja, °C	429
Donja eksplozivna granica u vazduhu, vol.%	3
Gornja eksplozivna granica u vazduhu, vol.%	100
Toplota reakcije oksidacije, kJ/kg	29400

smeše i tečnosti koja recirkuliše. Recirkulaciju tečnosti obezbeđuje cirkulaciona pumpa (5), a s obzirom da tokom apsorpcije dolazi do povećanja temperature, na potisnom cevovodu nalazi se hladnjak (6). U skruberu dolazi do apsorpcije EtO u vodenom rastvoru  $H_2SO_4$ , a potom do hidrolize EtO u glikol:  $C_2H_4O + H_2O \rightarrow C_2H_4(OH)_2$ . Ova reakcija je spora i može se katalizovati u kiseloj ili baznoj sredini. Skruber (4) postavljen je na vagu (11)



Slika 1. Tehnološka šema pilot postrojenja za uklanjanje EtO; 1 – boca sa EtO; 2 – isparivač; 3 – vodenom kupatilo; 4 – skruber 1; 4a – rezervoar skrubera, nominalne zapremine 10 lit; 4b – mlaznice za raspršivanje tečnosti; 5 – cirkulaciona pumpa; 6 – hladnjak; 7 – električni predgrejač katalitičkog reaktora snage 9 kW; 8 – katalitički reaktor prečnika 200 mm, visina sloja katalizatora 100 mm, katalizator  $Pt/Al_2O_3$  prečnika sfernih zrna 3,3 mm; 9 – skruber 2; 10 – ventilator; 11 – vaga; TIC1, TIC2 – indikacija i kontrola temperature; T11 – indikator temperature; FI1,..., FI6 – merači protoka; V1,..., V5 – regulacioni ventili.

Figure 1. Schematic diagram of the pilot plant for removal of EtO; 1 – ethylene oxide; 2 – evaporator; 3 – water bath; 4 – scrubber 1; 4a – scrubber reservoir; 4b – liquid spray nozzles; 5 – pump; 6 – cooler; 7 – electrical preheater, 9kW in power; 8 – catalytic reactor, 200 mm in diameter and 100 mm in the  $Pt/Al_2O_3$  catalyst bed height; 9 – scrubber 2; 10 – ventilator; 11 – scale; TIC1, TIC2 – temperature indicators and controllers; T11 – temperature indicator; FI1,..., FI6 – flow meters; V1,..., V5 – regulating valves.

radi praćenja povećanja mase usled apsorpcije EtO u tečnosti skrubera, što je poslužilo za proveru proračuna. Skruber (4) napunjen je Rashig-ovim prstenovima nominalne veličine  $10 \times 9 \times 6 \text{ mm}^3$  (detalj na slici 1). Vazдушna struja na izlazu iz skrubera se uvodi u usisni cevovod sistema za katalitičko prečišćavanje. Protok vazduha u sistemu za katalitičko prečišćavanje obezbeđuje ventilator (10). Na ovaj način se vazдушna struja na izlazu iz skrubera meša (razblažuje) svežim vazduhom (čiji je protok  $V_{\text{vaz2}}$ ). Ovako formirana gasna smeša uvodi se u električni predgrejač (7) katalitičkog reaktora (8). Temperatura predgrevanja je konstantna, što obezbeđuje termokontroler TIC1. Gasovi iz katalitičkog reaktora (8) propuštaju se kroz drugi skruber (9), radi rashlađivanja gasne smeše, a potom se preko ventilatora (10) ispuštaju u atmosferu.

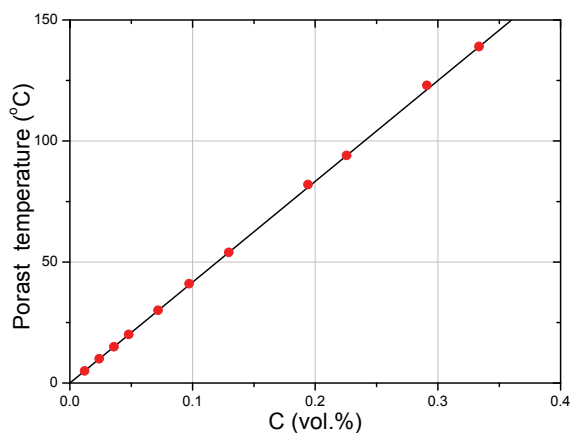
U oledima je meren porast temperature na katalitičkom reaktoru, temperatura tečnosti u rezervoaru skrubera (4a) i promena mase na vagi (11). Povećanje mase skrubera usled apsorpcije EtO omogućilo je izračunavanje koncentracije EtO u željenom momentu i sagledavanje dinamike povećanja koncentracije etilen-glikola u skruberu. Količina tečnosti u rezervoaru skrubera (4a) varirana je u opsegu od 3 do 5 L. U većini ogleđa koncentracija vodenog rastvora  $\text{H}_2\text{SO}_4$  iznosila je 5%, dok su dva ogleđa izvedena sa nižom, odnosno višom koncentracijom  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (3 i 7%). U tabeli 2 prikazani su operativni uslovi navedenih ogleđa.

Ukupno je izvršeno 40 ogleđa pri različitim operativnim uslovima. U svakom ogleđu praćeni su protoci vazduha,  $V_{\text{vaz1}}$ , i etilen-oksida,  $V_{\text{eto1}}$ , na ulazu u skruber, protok cirkulacione pumpe (5), protok vazduha za razblaživanje,  $V_{\text{vaz2}}$ , i ulazna temperatura u katalitički reaktor. U svim oledima protok vazduha za razblaživanje je bio konstantan ( $V_{\text{vaz2}} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ ), kao i temperatura na ulazu u katalitički reaktor ( $T_{\text{ku}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

## REZULTATI I DISKUSIJA

Sistem za katalitičku oksidaciju EtO sa  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$  katalizatorom ima dvojaku funkciju: potpuno uklanjanje EtO iz otpadnog gasa i ulogu određivanja izlazne koncen-

tracije EtO iz skrubera (4), na osnovu porasta temperature u sloju katalizatora (8) (razlika TIC2 – TIC1). U našem predhodnom radu [11] pokazano je da predgrevanje gasne smeše do temperature od  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  obezbeđuje kompletno uklanjanje EtO na  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$  katalizatoru a temperaturni porast u katalitičkom sloju nastao usled reakcije proporcionalan je koncentraciji EtO. Na osnovu ovog porasta temperature i poznatih vrednosti protoka vazduha za razblaživanje,  $V_{\text{vaz2}}$ , i protoka vazduha u skruberu,  $V_{\text{vaz1}}$ , izračunat je maseni protok EtO na izlazu iz skrubera, kao i koncentracija  $c_1$ , na osnovu prethodno sačinjenog kalibracionog dijagrama pri protoku vazduha od  $50 \text{ m}^3/\text{h}$  (slika 2).



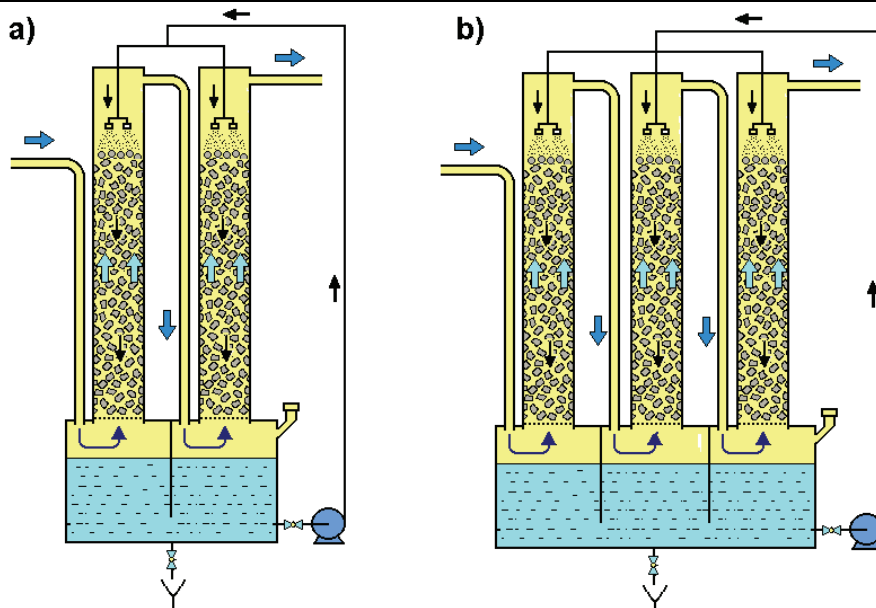
Slika 2. Kalibracioni dijagram: porast temperature u katalitičkom reaktoru u zavisnosti od ulazne koncentracije EtO ( $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 5,45 \times 10^{-5} \text{ vol.}\%$ ).

Figure 2. The calibration diagram: temperature rise in the catalytic reactor as a function of the input concentrations of EtO.

Prema literaturnim podacima, osnovni parametar koji definiše efikasnost skrubera je vreme kontakta. Vreme kontakta predstavlja količnik visine punjenja i brzine strujanja gasne smeše. Da bi se ispitalo karakteristike skrubera u širem opsegu vremena kontakta, deo eksperimentalnih ispitivanja obavljen je u sistemu sa dva, odnosno tri redno spojena skrubera (slika 3).

Tabela 2. Opsezi eksperimentalnih uslova  
Table 2. The ranges of experimental conditions

Parametar	Broj ogleđa				
	1–10	11–36	37	38	39–40
	Sistem				
	1 skruber	2 skrubera	2 skrubera	2 skrubera	3 skrubera
Protok vazduha u skruberu ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), $V_{\text{vaz1}} / \text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	1,2–4,0	0,92–2,4	0,92	0,92	0,92
Protok EtO u skruberu ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), $V_{\text{eto1}} / \text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	0,1704–0,6753	0,5963–0,6175	0,6175	0,6175	0,5963–0,6175
Koncentracija EtO na ulazu u skruber, $c_0 / \text{vol.}\%$	4,08–33,98	20,46–40,16	40,16	40,16	39,32–40,16
Početa koncentracija $\text{H}_2\text{SO}_4$ , mas.%	5	5	7	3	5
Protok tečnosti, $L / L \text{ h}^{-1}$	81,8	49,6	49,6	49,6	37,5
Vreme kontakta, $T_k / \text{s}$	4,35–13,34	13,25–26,36	26,36	26,36	39,0–39,5



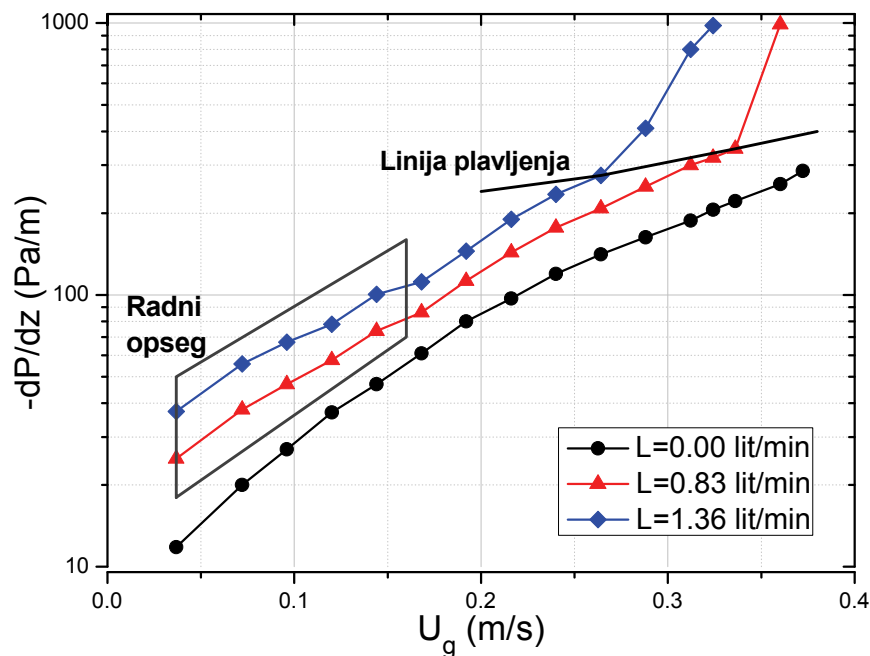
Slika 3. Šematski prikaz dvostepenog (a) i trostepenog (b) skrubera.  
Figure 3. Schematic view of the dual (a) and triple (b) scrubber.

Svi ogledi su izvršeni u operativnim uslovima koji su najmanje 50% ispod linije plavljenja, kako je prikazano na zavisnosti gradijenta pritiska od površinske brzine gasa (slika 4).

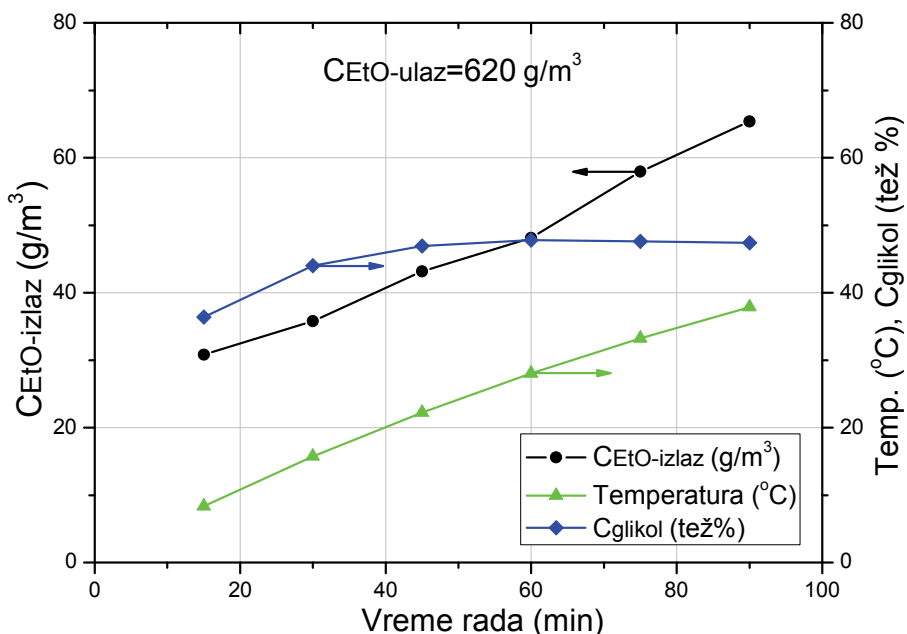
Na slici 5 prikazane su zavisnosti izlazne koncentracije EtO iz skrubera, koncentracije glikola u tečnosti koja recirkuliše i temperature tečnosti u zavisnosti od

vremena, računajući od trenutka puštanja sistema u rad. U prikazanim ogledima ulazni maseni protok EtO u skruber je bio  $G_{\text{EtO-ul}} = 1,115 \text{ kg/h}$ , protok vazduha  $V_{\text{vaz1}} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$  i vreme kontakta  $T_k = 16,5 \text{ s}$ .

Tokom apsorpcije EtO, odnosno njegove hidrolize u glikol, dolazi do povećanja temperature tečnosti za apsorpciju, kako pokazuju podaci na slici 5, budući da je



Slika 4. Gradijent pritiska u zavisnosti od površinske brzine gasa pri različitim protocima tečnosti.  
Figure 4. Pressure gradients as a function of superficial gas velocity at different liquid flow rates.

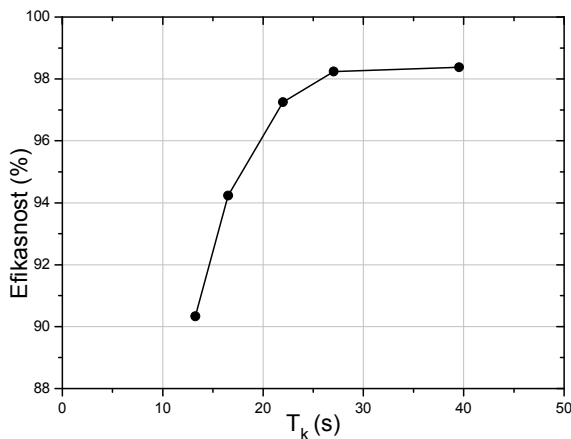


Slika 5. Koncentracija EtO na izlazu iz skrubera, koncentracija glikola i temperatura tečnosti za apsorpciju u zavisnosti od vremena trajanja procesa ( $T_k = 16,5$  s).

Figure 5. EtO concentration at the outlet of scrubber, the concentration of glycol and the temperature of liquid absorbent as a function of duration of the process ( $T_k = 16.5$  s).

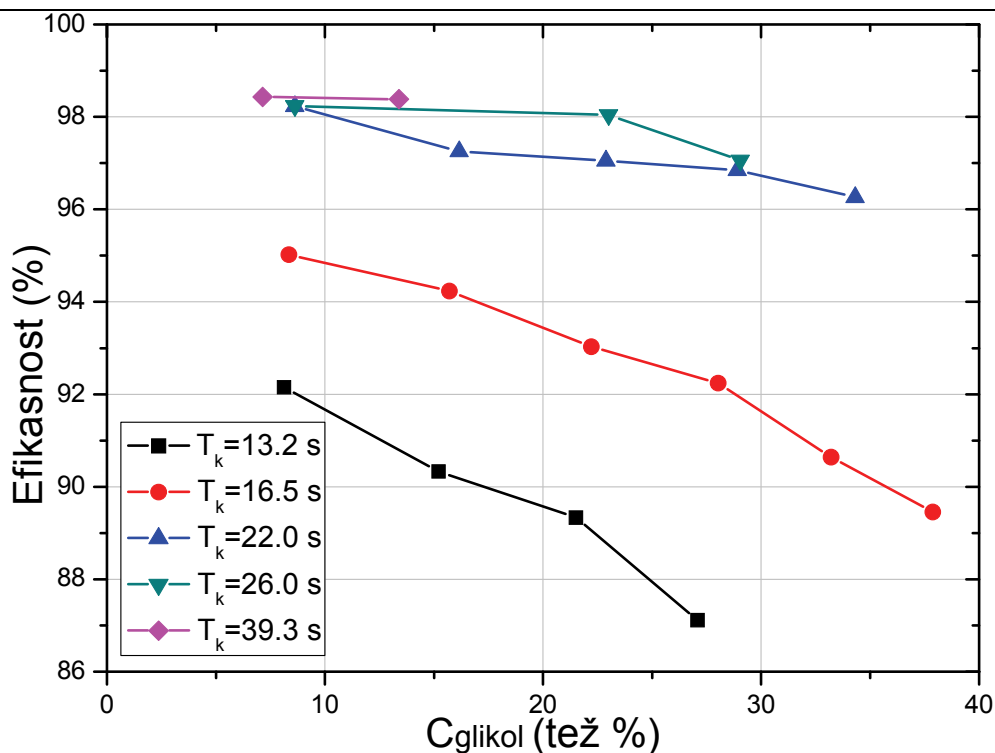
toplota rastvaranja EtO u vodi 142,7 kJ/kg. Porast temperature varira od 24 do 32 °C, zavisno od uslova ogle-da. U eksperimentalnom sistemu je postavljen labora-torijski hladnjak tečnosti za cirkulaciju relativno male efikasnosti. Bez hladnjaka porast temperature je za oko 10 °C veći u odnosu na navedene vrednosti. Izlazna koncentracija EtO iz skrubera raste sa povećanjem vre-mena rada, kao posledica porasta koncentracije glikola u tečnosti za recirkulaciju i manjim delom kao posledica povećanja temperature tečnosti za recirkulaciju. Na slici 6 prikazana je efikasnost skrubera u zavisnosti od vre-mena kontakta, pri konstantnoj koncentraciji glikola u tečnosti za racirkulaciju ( $c_{glikol} = 15,4$  mas.%) i približnoj konstantnoj temperaturi tečnosti. U ovim ogle-dima ulazna koncentracija EtO u skruber je varirana od 20,46 do 40,16 vol.%. Uočava se da se efikasnost skrubera povećava sa vremenom kontakta približno po eks-po-nencijalnoj zavisnosti. Nakon neke kritične vrednosti vremena kontakta (oko 25 s) dalje povećavanje vre-mena kontakta neznatno doprinosi povećanju efikasno-sti skrubera.

Presudan uticaj na efikasnost skrubera ima vreme kontakta između gasa i tečnosti, pod uslovom da su hidrodinamički parametri skrubera (površina kontakta gas–tečnost i protok tečnosti po jedinici površine po-prečnog preseka skrubera) iznad minimalno preporu-čenih vrednosti. Na slici 7 prikazana je zavisnost efikas-nosti skrubera od koncentracije glikola u tečnosti koja recirkuliše, pri konstantnim vremenima kontakta.



Slika 6. Efikasnost procesa apsorpcije u zavisnosti od vremena kontakta pri konstantnoj koncentraciji glikola  $c_{glikol} = 15,4$  mas.%, temperatura tečnosti za apsorpciju,  $T_L = 45,6 \pm 2,5$  °C. Figure 6. The efficiency of absorption proces as a function of the contact time at a constant concentration of glycol,  $c_{glikol} = 15.4$  mass%, temperature of liquid absorbent,  $T_L = 45.6 \pm 2.5$  °C.

Za ostvarivanje visoke efikasnosti skrubera, pored dovoljnog vremena kontakta, ne bi trebalo prekoračiti granicu koncentracije nastalog glikola od oko 20% u tečnosti skrubera. U većini literarnih izvora preporu-čuje se korišćenje 5% vodenog rastvora H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Radi provere ovih navoda izvršena su dva ogle-da sa poveća-nom, odnosno sniženom koncentracijom kiseline. Efi-



Slika 7. Efikasnost skrubera u funkciji koncentracije glikola u tečnosti koja recirkuliše.  
Figure 7. The efficiency of scrubber as a function of glycol concentration in a circulating liquid.

kasnost skrubera je neznatno veća pri većoj koncentraciji kiseline (7%) i neznatno manja pri manjoj koncentraciji kiseline (3%). Korist koja bi se postigla korišćenjem koncentrovanije kiseline bi bila neznatna u odnosu na povećani utrošak  $H_2SO_4$ . Sa druge strane smanjivanje koncentracije  $H_2SO_4$  na 3% nosi rizik nepotpune hidrolize, a time i moguće desorpcije rastvorenog EtO iz tečnosti skrubera.

## ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja uklanjanja visokih koncentracija EtO u vazduhu (od 4 do 40 vol.%), apsorpcijom u razblaženom vodenom rastvoru  $H_2SO_4$ , zaključeno je da se može obezbediti visok stepen uklanjanja EtO (> 98%) pod uslovom da se obezbedi relativno dugo vreme kontakta (oko 25 s). Proces je efikasan sve dok koncentracija glikola u rastvoru ne dostigne vrednost od oko 20%. Proces je bezbedan i nema opasnosti od paljenja i eksplozije smeše vazduha i EtO iako je na ulazu u skruher koncentracija EtO znatno iznad donje eksplozivne granice.

## Zahvalnica

Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke Srbije kroz projekat 172022.

## LITERATURA

- [1] J.E. Burgess, S.A. Parson, R.M. Stuetz, Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: A review, *Biotecnol. Adv.* **19** (2001) 35–63.
- [2] C. Easter, C. Quigley, P. Burrowes, J. Witherspoon, D. Appgar, Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and waste water treatment systems, *Chem. Eng. J.* **113** (2005) 93–104.
- [3] F.E. Hancock, F. King, W.R. Flavell, M.S. Islam, Catalytically enhanced absorption of sulphur species from odorous air streams: A new technology foe odour abatement, *Catal. Today* **40** (1998) 289–296.
- [4] J. Carratala-Abril, M.A. Lillo-Rodenas, A. Linares-Solana, D. Cazorla-Amoros, Activated carbons for removal of low concentration gaseous toluene at the semipilot scale, *Ind. Eng. Chem. Res.* **48** (2009) 289–296.
- [5] J.G. Henry, G.W. Heinke, *Environmental Science and Engineering*, Prentice Hall, Engewood Cliffs, New Jersey, 1989, p. 728.
- [6] M. Koutinas, J. Martin, L.G. Peeva, A. Mantalaris, A.G. Livingston, An oil absorber–bioscrubber system to stabilize biotreatment of pollutants present in waste gas. Fluctuating loads of 1,2-dichloroethane, *Environ. Sci. Technol.* **40** (2006) 595–602.
- [7] G.R. Parmar, N.N. Rao, Emerging control technologies for volatile organic compounds, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **39** (2009) 41–78.

- [8] ECE VOC Task Force – Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) from Stationary Sources and Possibilities of their Control, Final Report No 91-010, University of Karlsruhe FRG, 1990.
- [9] Z.Lj. Arsenijević, B.V. Grbić, N.D. Radić, Ž.B. Grbavčić, Catalytic incineration of ethylene oxide in the packed bed reactor, *Chem. Eng. J.* **116** (2006) 173–178.
- [10] Z.Lj. Arsenijević, B.V. Grbić, Ž.B. Grbavčić, N.D. Radić, A.V. Terlecki-Baričević, Ethylene oxide removal in combined sorbent/catalyst system, *Chem. Eng. Sci.* **54** (1999) 1519–1524.
- [11] H.J. Greene, (Akron University, Akron, Ohio), U.S. Patent 5,414,201, 1995.
- [12] F.J. Pollara, L.W. Liddle, L.W., U.S. Patent 4,612,026, 1986.
- [13] J.C. Schumacher, J.C. McMnamin, L.B. Anderson, H.R. Cowles, S.M. Lord, (Custom Engineered Materials Inc., Oceanside, California), U.S. Patent 4,966,611, 1990.
- [14] H. Wenzler, (Benedikt-kreutz-rehabilitationszentrum, Fur Herz- und Kreislaufkranke Bad, Krozingen, DE), U.S. Patent 5,741,470, 1998.
- [15] J.R. Kastner, K.C. Das, Wet scrubber analysis of volatile organic compounds removal in the rendering industry. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **52** (2002) 459–469.
- [16] R.A. Ayres, L.W. Ayres, *Industrial Ecology: Towards Closing the Materials Cycle*, Edward Elgar Pub., Cheltenham, UK, 1996.

## SUMMARY

### REMOVAL OF ETHYLENE OXIDE FROM WASTE GASES BY ABSORPTION

Zorana Lj. Arsenijević<sup>1</sup>, Željko B. Grbavčić<sup>2</sup>, Boško V. Grbić<sup>1</sup>, Nenad D. Radić<sup>1</sup>, Radmila V. Garić-Grulović<sup>1</sup>, Mihal M. Đuriš<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ICTM – Department for Catalysis and Chemical Engineering, Belgrade, Serbia*

<sup>2</sup>*Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia*

(Scientific paper)

Ethylene oxide (EtO) is an organic compound, which is used as a starting material in the production of polymers and as sterilizing agent for thermolabile materials. Although ethylene oxide is not common as an organic pollutant, its removal from numerous emission sources (*e.g.*, ethylene oxide production plants or food and pharmaceutical sterilizing units) is of crucial importance because of its mutagenic, teratogenic and cancerogenic effects on human health. The objective of this paper is the experimental investigation of ethylene oxide (EtO) absorption in diluted aqueous solution of sulfuric acid in order to evaluate the applicability of this procedure as well as to obtain project parameters for industrial plant realization. It was found that absorption is suitable as the first step in the purification treatment of high EtO concentrations in the emission gases. According to the literature data, the basic parameter that defines the scrubber efficiency is the contact time, *i.e.* the ratio of packing height in the scrubber to the velocity of the gas mixture. To investigate the characteristics of wet treatment in a broad range of contact time, parts of the experimental studies were conducted in a system with two and with three scrubbers in series. The obtained experimental results show that the high degree of EtO removal can be achieved (>98%) when the contact time is sufficiently long (about 25 s). The process is effective until the concentration of formed glycol in the solution reaches a value of about 20%. The process is safe and there is no danger of ignition and explosion of air and EtO mixture, although at the entrance to the scrubber EtO concentrations are significantly above the lower explosive limit.

**Keywords:** Ethylene oxide • Absorption • Wet scrubber