

ANALIZA GUBITAKA ISPARAVANJA NAFTNIH DERIVATA NA PRIMERU AUTO PRETAKALIŠTA

U radu su analizirani gubici usled isparavanja naftnih derivata na velikom auto pretakalištu. Za izračunavanje gubitaka korišćene su tri metode: a) metoda za izračunavanje gubitaka Američkog Naftnog Instituta API (American Petroleum Institute), b) metoda iz uputstva Saveza Nemačkih Inženjera VDI (Verein Deutscher Ingenieure) i c) važeći jugoslovenski standard sa obaveznom primenom JUS B.HO. 531. Masa gubitaka usled isparavanja derivata pri pretakanju je funkcija sledećih parametara: načina utovara, fizičko–hemijskih karakteristika derivata koji se pretače i temperature na kojoj se izvodi punjenje. Izračunati su gubici isparavanja prilikom utovara motornih benzina (MB–95, BMB–95, MB–98, MB–86) i dizel goriva (D–2, Euro D–2). Gubici su prikazani na mesečnom i godišnjem nivou za pretpostavljeni obim pretakanja. Zaključuje se da su najveći gubici usled isparavanja derivata u letnjem periodu zbog visokih dnevnih temperatura, kao i u periodima povećane otpreme proizvoda. Upoređivanjem dobijenih rezultata uočava se da su vrednosti gubitaka isparavanja pri utovaru motornih benzina izračunavanjem pomoću tri metode istog reda veličine. Izračunati gubici isparavanja pri pretakanju dizel goriva korišćenjem emisijonog koeficijenta iz JUS B.HO.531. se značajno razlikuju u odnosu na gubitke izračunate na osnovu emisijonih faktora dobijenih drugim dvema metodama.

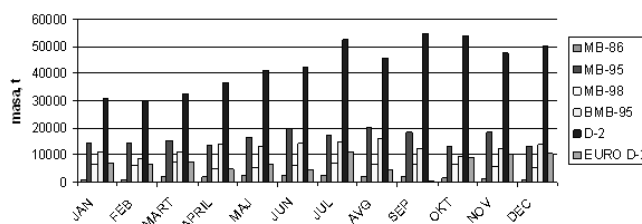
U rafinerijama nafte prilikom pretakanja naftnih derivata dolazi do gubitaka dela proizvoda. Najveći pretovar naftnih derivata odvija se na izlazu iz rafinerijskih postrojenja, gde se naftni derivati otpremaju auto cisternama, železničkim cisternama i plovnim objektima. Pretpostavlja se da gubici koji nastaju isparavanjem derivata u ovim slučajevima imaju maksimalne vrednosti. Opisani problem ima ekonomski aspekt, koji se ogleda u vrednosti izgubljenog dela proizvoda i aspekt vezan za zaštitu životne sredine, budući da isparavanjem derivata različite štetne supstance dospevaju u atmosferu. Postoji veliki broj radova koji opisuje problematiku evaporacionih gubitaka i skladištenja naftnih derivata, npr. [1–4]. U ovom radu su odgovarajućom analizom i proračunima ustanovljeni gubici na primeru hipotetičkog auto pretakališta. Za hipotetičko auto pretakalište izabran je godišnji obim pretakanja, koji odgovara radu rafinerije u Srbiji. Pretpostavka je da pretakanje nije ravnomerno u toku godine i da odgovara potrebama tržišta u Srbiji. Na slici 1 grafički je prikazan obim pretakanja naftnih derivata za hipotetičko pretakalište.

Za procenu gubitaka isparavanjem razmatrani su sledeći naftni derivati:

- motorni benzin oktanskog broja 98 (MB–98),
- motorni benzin oktanskog broja 95 (MB–95),
- motorni benzin oktanskog broja 86 (MB–86),
- bezolovni motorni benzin oktanskog broja 95 (BMB–95),
- dizel gorivo D–2,
- dizel gorivo Euro D–2.

Adresa autora: prof. dr M. Jovanović, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd, Srbija
E–mail: mica@tmf.bg.ac.yu
Rad primljen: Jun 21, 2006.
Rad prihvaćen: Oktobar 10, 2006.

OBIM PRETAKANJA



Slika 1. Otprema proizvoda iz rafinerijskog postrojenja preko auto pretakališta po mesecima

Figure 1. Monthly dispatch of products from a refinery by tank trucks

U ovom radu osnovu za proračun emisije predstavlja pretpostavljena vrednost pretovarene mase derivata. Takođe se pretpostavlja da se najviše proizvede dizela D–2, a najmanje derivata Euro D–2.

METODE ZA PRORAČUN GUBITAKA USLED ISPARAVANJA

Za izračunavanje gubitaka usled isparavanja na auto pretakalištu korišćene su tri metode:

- metoda Američkog Naftnog Instituta API (American Petroleum Institute) [5–7],
- metoda Saveza Nemačkih Inženjera VDI (Verein Deutscher Ingenieure), komisije za prevenciju zagađenja vazduha (VDI 3479, jul 1985. godine) [8,9] i
- metoda JUS B.HO. 531 iz 1988. godine, važeći jugoslovenski standard sa obaveznom primenom [10].

Proračuni su izvedeni na osnovu prosečnih mesečnih temperatura za područje grada Pančeva [11], osobina proizvoda na tim temperaturama (napona pare, molarne mase itd.), kao i načina punjenja cisterni. Kvalitet benzina i dizel goriva preuzet je iz jugoslovenskog standarda [12].

PRORAČUN GUBITAKA API METODOM

U daljem tekstu su prikazani rezultati proračuna po API metodi koju je prihvatila Američka agencija za zaštitu životne sredine EPA (Environmental Protection Agency) za motorne benzine (MB-95, BMB-95, MB-98, MB-86) i dizel goriva (D-2, Euro D-2) [5-7].

Motorni benzini

Posmatrana su dva tipa motornih benzina koja se uobičajeno proizvode u rafineriji nafte u toku godine: zimski (1.X-31.III) i letnji (1.IV-30.IX). Zimski benzin ima veći napon pare od letnjeg na istoj temperaturi. Pretpostavljena vrednost napona pare po REID-u za letnji benzin iznosi 60 kPa, a za zimski 70 kPa.

Emisija prilikom pretakanja može se izračunati (greška +30%) iz sledeće jednačine:

$$L_L = 12.46 \text{ SPM/T} \quad (1)$$

gde je:

L_L – emisioni faktor (loading losses), lb/10³ gal,

S – faktor zasićenja u parnom prostoru komore pre punjenja,

M – molarna masa isparenja, lb/lb-mol,

P – napon pare proizvoda na temperaturi utovara, psi,

T – temperatura punjenja, R (°F + 459).

Emisioni faktor se najčešće izražava kao masa emitovane supstance po jedinici mase, zapremine, daljine ili trajanja aktivnosti koja uzrokuje emisiju (npr. kg SO₂ emitovani po toni sagorelog goriva).

Pretpostavljeno je da je temperatura proizvoda pri utovaru u auto cisterne jednaka temperaturi spoljne okoline i da su fizičko-hemijske osobine BMB i MB iste, izuzev sadržaja olova [12].

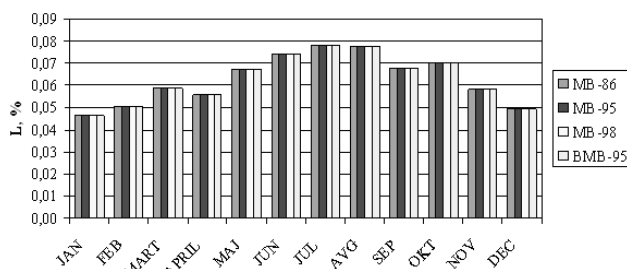
Napon pare proizvoda na temperaturi utovara, kao i molarna masa isparenja određen je iz odgovarajućih tabela i nomograma [13]. Određene vrednosti su identične za sve benzine. Masa pretovarenih derivata pretvorena je u zapreminu korišćenjem vrednosti gustine. Pretpostavljeno je da je vrednost gustine identična za sve benzine. Dobijene vrednosti emisijonog faktora L_L (loading losses) izraženog u lb/gal su na odgovarajući način preračunate u masene procenete, pri čemu su lb pretvorene u t. Na slici 2 prikazana je promena emisijonog faktora, L_L (loading losses), preračunatog na masene procenete, pri pretakanju četiri vrste motornih benzina: MB-86, MB-95, MB-98 i BMB-95 tokom izabrane godine za svaki pojedinačni mesec.

S obzirom na to da su vrednosti napona pare i molarne mase identične, izračunate vrednosti emisijonih faktora su identične za sve posmatrane benzine. Sa slike 2 se može zaključiti da su najveći emisijoni faktori u letnjim mesecima zbog visokih temperatura.

Maseni gubici pri pretakanju su izračunati po sledećoj formuli:

$$m = L_L * V \quad (2)$$

Emisioni faktor



Slika 2. Promena emisijonog faktora tokom godine (API metoda)
Figure 2. Annual variation of the emission factor (API method)

gde je:

m – maseni gubitak, kg,

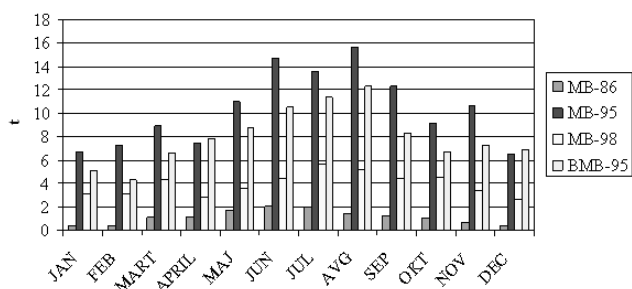
L_L – emisioni faktor, kg/m³,

V – zapremina derivata, m³.

Na slici 3 prikazani su maseni gubici za četiri motorna benzina tokom izabrane godine.

Sa slike 3 se zaključuje da visoki emisijoni faktori uzrokuju velike gubitke. Upoređivanjem slika 1, 2 i 3 uočava se da na povećanje gubitaka dodatno utiče i pretpostavljeni povećani obim proizvodnje u letnjim mesecima. Emisioni faktor dostiže maksimum u letnjim mesecima, pa su zbog toga i gubici u tom periodu najveći.

Gubici pri punjenju

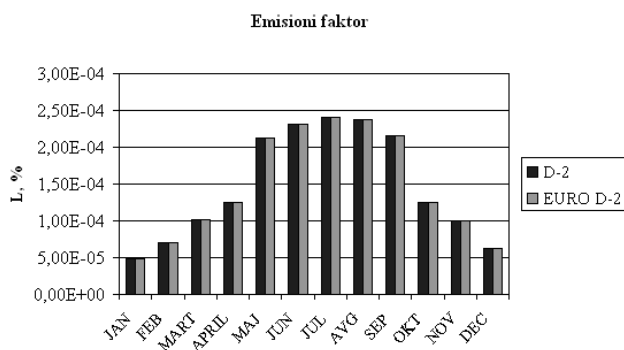


Slika 3. Gubici po mesecima tokom godine (API metoda)
Figure 3. Annual loading losses for a one year period (API method)

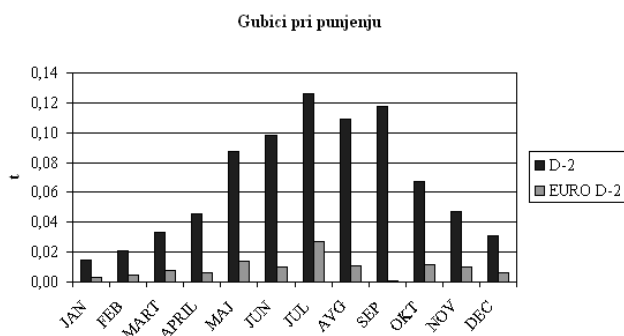
Dizel goriva

Za proračun gubitaka isparavanja pri pretakanju dizel goriva koristi se ista jednačina kao i za motorne benzine, dok su osobine dizel goriva preuzete iz [13]. Dizel goriva se karakterišu niskim vrednostima napona para, znatno nižim od napona para motornih benzina [14]. Na slici 4 prikazana je promena emisijonog faktora preračunatog na masene procenete pri pretakanju dve vrste dizel goriva: D-2 i Euro D-2 tokom pretpostavljene godine za svaki pojedinačni mesec.

Kod pretakanja dizela u autocisterne karakteristično je to da su vrednosti emisijonih faktora niske, zato što dizel goriva sadrže ugljovodonike male isparljivosti ($T_k = 170 - 350$ °C). Emisioni faktor ima minimum u zimskim mesecima, a maksimum u letnjim mesecima. Pretpostavka je da navedene vrste dizel goriva imaju isti kvalitet, što uslovljava iste vrednosti emisijonih faktora za



Slika 4. Promena emisionog faktora tokom godine (API metoda)
Figure 4. Annual variation of the emission factor (API method)



Slika 5. Gubici po mesecima tokom godine (API metoda)
Figure 5. Annual loading losses for a one year period (API method)

pojedinačne mesece. Na slici 5 prikazane su izračunate vrednosti masenih gubitaka pri pretakanju dizel goriva D-2 i Euro D-2 u autocisterne za izabrani godišnji period po pojedinim mesecima. Pretpostavka je da se najviše goriva D-2 proizvede i otpremi u periodu poljoprivrednih radova. Ovaj podatak je preuzet iz dugogodišnje prakse poslovanja rafinerija. U tom periodu su gubici pri pretakanju ove vrste goriva u autocisterne veći nego u zimskom periodu.

Zbog slabe isparljivosti derivata vrednosti masenih gubitaka su niske. Kao i kod pretakanja motornih benzina i svih drugih derivata, vrednost gubitaka zavisi i od mase utovarenog goriva.

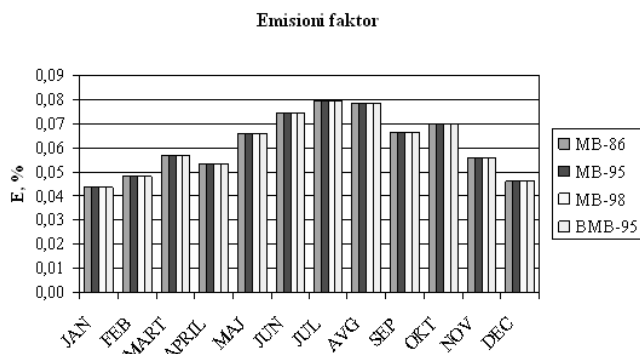
PRORAČUN GUBITAKA PO VDI UPUTSTVU

U daljem tekstu prikazani su rezultati proračuna po VDI uputstvu koje je izdao Savez Nemačkih Inženjera, VDI (Verein Deutscher Ingenieure), komisije za prevenciju zagađenja vazduha (Commission on Air Pollution Prevention), sa šifrom VDI 3479, jul 1985. Proračun je izveden za motorne benzine (MB-95, BMB-95, MB-98, MB-86) i dizel goriva (D-2, Euro D-2) [8,9].

Motorni benzini

Emisija prilikom pretakanja derivata se može izračunati iz sledeće empirijske jednačine:

$$E = 0.45 Pt (fc + Vb (1-fc)/(1-Pt)) \quad (3)$$



Slika 6. Promena emisionog faktora tokom godine (VDI metoda)
Figure 6. Annual variation of the emission factor (VDI method)

gde je:

E – emisioni faktor, tj. ispareni deo proizvoda ili odnos između zapremine emitovanih ugljovodonika i zapremine utovarenog proizvoda, vol %

Pt – napon pare proizvoda na temperaturi utovara, bar,

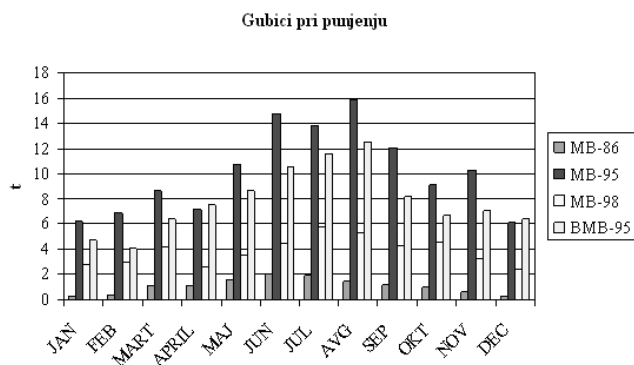
fc – stepen zasićenja u parnom prostoru komore pre punjenja,

Vb – parametar raspršivanja (deo zapremine komore koja je zasićena za vreme punjenja; izabrana je vrednost $Vb=0.105$).

Na slici 6 prikazana je promena emisionog faktora E, izraženog u zapreminskim procentima pri pretakanju navedene četiri vrste motornih benzina za pretpostavljeni vremenski period. Za izračunavanje emisionih faktora po ovom uputstvu korišćeni su isti ulazni podaci i pretpostavke, kao i za prethodnu metodu (EPA).

Po VDI metodi se zaključuje da su najveći emisioni faktori u letnjim mesecima zbog visokih temperatura. Na slici 7 prikazane su izračunate vrednosti masenih gubitaka pri pretovaru u funkciji pretpostavljenog vremenskog perioda.

Sa slike 7 se može uočiti da su najveće vrednosti gubitaka u letnjim mesecima, što je posledica vrednosti emisionih faktora u ovom periodu. Većim gubicima dodatno je doprinela i pretpostavljena povećana proizvodnja u letnjim mesecima.

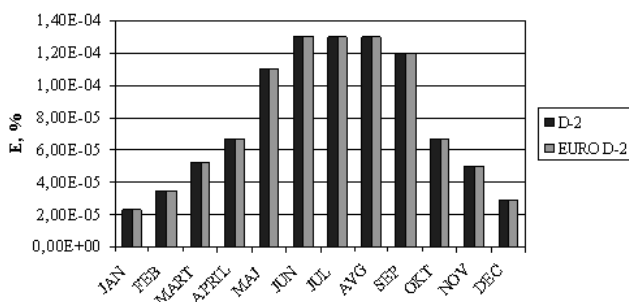


Slika 7. Gubici po mesecima tokom godine (VDI metoda)
Figure 7. Annual loading losses for a one year period (VDI method)

Dizel goriva

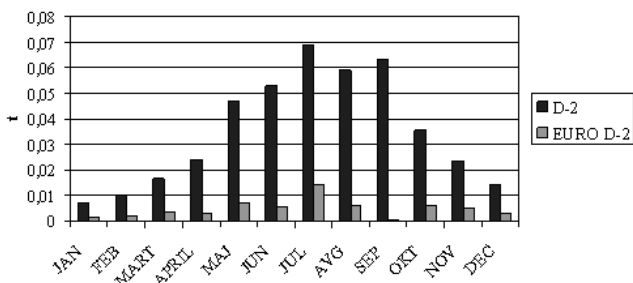
Za izračunavanje emisionih faktora prilikom pretakanja dizel goriva korišćena je ista jednačina kao i za motorne benzine, za odgovarajuće osobine dizela [13]. Dizel goriva se karakterišu niskim vrednostima napona para, znatno nižim od napona para motornih benzina [14]. Na slikama 8 i 9 prikazana je promena emisionog faktora i masa gubitaka pri pretakanju dizel goriva u autocisterne tokom pretpostavljene godine za svaki pojedinačni mesec. Pretpostavka je da se najviše dizela proizvede i otpremi u periodu poljoprivrednih radova, pa su tada i gubici veći nego u zimskom periodu.

Emisioni faktor



Slika 8. Promena emisionog faktora tokom godine (VDI metoda)
Figure 8. Annual variation of the emission factor (VDI method)

Gubici pri punjenju



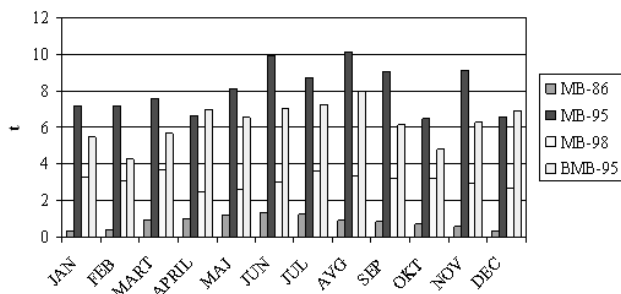
Slika 9. Gubici po mesecima tokom godine (VDI metoda)
Figure 9. Annual loading losses for a one year period (VDI method)

Zbog slabe isparljivosti vrednosti emisionog faktora i gubici su mali. Emisioni faktor ima minimum u zimskim mesecima, a maksimum u letnjim mesecima. Gubici zavise i od mase utovarenog goriva.

PRORAČUN GUBITAKA PREMA STANDARDU JUS B. HO. 531

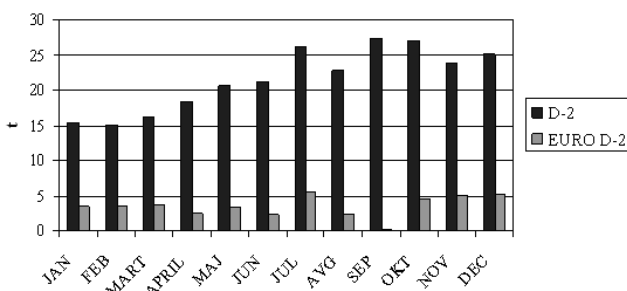
JUS B.HO.531 je standard sa obaveznom primenom od 03.09.1988. Ovim standardom su utvrđeni najveći dopušteni gubici usled isparavanja za motorne benzine (MB-95, BMB-95, MB-98, MB-86) i dizel goriva (D-2, Euro D-2), pri rukovanju proizvodima u najnepovoljnijim uslovima rada i stanja opreme. Najveći dopušteni gubici usled isparavanja prilikom utovara računaju

Gubici izračunati po JUS standardu



Slika 10. Gubici pri pretakanju motornih benzina (JUS metoda)
Figure 10. Loading losses occurring during the filling of a tank truck (JUS method)

Gubici izračunati po JUS standardu



Slika 11. Gubici pri pretakanju dizel goriva (JUS metoda)
Figure 11. Loading losses occurring during the filling of a tank truck (JUS method)

se tako što se utovarena masa množi sa empirijski utvrđenim koeficijentima za svaki poseban slučaj i za svaku grupu proizvoda. Za izračunavanje gubitaka uzet je koeficijent emisije 0.05%. On je po JUS B.HO.531 isti za motorne benzine i dizel goriva. Naš standard ne uzima u obzir razliku između zimskog i letnjeg benzina. U daljem tekstu prikazani su rezultati proračuna po ovom standardu.

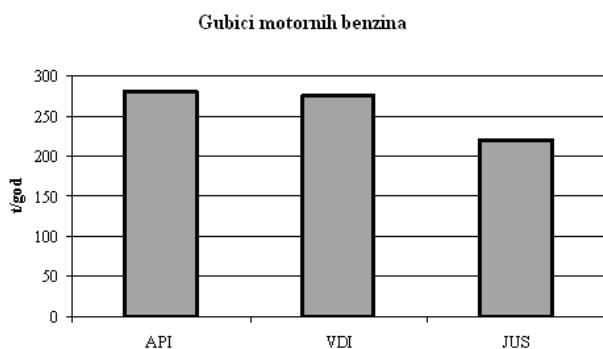
Na slikama 10 i 11 prikazani su maseni gubici pri pretakanju motornih benzina i dizel goriva u autocisterne za pretpostavljenu godinu po mesecima.

Budući da je koeficijent emisije prema standardu jednak za sve derivate, tj. i za motorne benzine i za dizel goriva, tokom godine masa gubitaka je direktno proporcionalna masi derivata koja se pretovari, odnosno pretpostavljenoj mesečnoj proizvodnji.

PRORAČUN GUBITAKA NA NIVOU PRETPOSTAVLJENE GODINE

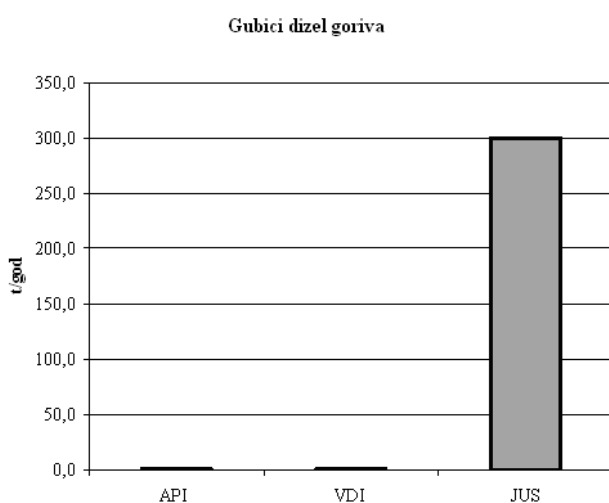
Na slikama 12 i 13 prikazani su ukupni godišnji gubici za sve motorne benzine i dizel goriva, izračunatih pomoću tri predložene metode.

Izračunati gubici za motorne benzine pokazuju da nema većih odstupanja u rezultatima proračuna ovih metoda, pošto su gubici računati na godišnjem nivou. Kod dizel goriva gubici izračunati po API i VDI metodi su mali, ali izračunavanjem prema našem standardu dobija



Slika 12. Gubici usled isparavanja motornih benzina izračunatih različitim metodama

Figure 12. Loading losses of gasoline calculated using different methods



Slika 13. Gubici usled isparavanja dizel goriva izračunatih različitim metodama

Figure 13. Loading losses of diesel fuel calculated using different methods

ju se visoke vrednosti, koje odgovaraju nivou gubitaka motornih benzina. Takav rezultat se može objasniti pretpostavkom da se prilikom sastavljanja jugoslovenskog standarda nije naglasila bitna razlika između osobina dizel goriva i motornih benzina. Poznato je da benzini sadrže ugljovodonike koji ključaju između 30 i 200 °C i lakše isparavaju, dok dizel goriva sadrže ugljovodonike male isparljivosti ($T_k = 170-350$ °C). Zaključuje se da koeficijenti emisije za motorne benzine i dizel goriva ne mogu biti isti.

ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih metoda, kao i poznatih i pretpostavljenih vrednosti potrebnih podataka, analizirani su maseni gubici usled isparavanja motornih benzina (MB-86, MB-95, BMB-95 i MB-98) i dizel goriva (D-2 i EURO D-2) prilikom utovara u autocisterne na velikom autopretakalištu. Gubici usled isparavanja izračunati su na osnovu karakteristika derivata preuzetih iz literature.

Pretpostavljeno je da su temperature proizvoda pri utovaru u auto cisterne jednake temperaturi okoline. Može se zaključiti da su najveći gubici usled isparavanja derivata u letnjem periodu zbog visokih dnevnih temperatura, kao i u periodima pretpostavljene povećane otpreme proizvoda, zbog većih potreba tržišta (npr. usled povećanog obima poljoprivrednih radova). Emisioni faktor zavisi od osobina derivata na određenoj temperaturi, ali i od obima pretakanja derivata. Vrednosti gubitaka isparavanjem pri utovaru motornih benzina u autocisterne izračunatih korišćenjem tri metode su istog reda veličine. U slučaju dizel goriva, na osnovu izračunatih emisionih faktora po API i VDI metodi dobija se da su gubici usled isparavanja zanemarljivi, manji od 1 t/god. Međutim, koristeći u proračunu emisioni koeficijent iz standarda JUS B.HO.531, masa gubitaka dizel goriva iznosi 300 t/god. Prema ovom standardu, koeficijent emisije za izračunavanje dopuštenih gubitaka pri utovaru dizel goriva jednak je koeficijentu emisije za izračunavanje gubitaka pri utovaru motornih benzina. Poznajući osobine dizel goriva i motornih benzina može se sa sigurnošću tvrditi da se gubici usled isparavanja ovih derivata značajno razlikuju, tako da se pri izračunavanju gubitaka ne mogu koristiti identični emisioni koeficijenti. U tom smislu bilo bi poželjno korigovati postojeći emisioni koeficijent iz pomenutog standarda.

LITERATURA

- [1] M. Peruničić, Tehnika, **47** (3-4) (1992) 158-160
- [2] M. Peruničić, M. Skotovič, Hemijska industrija, **42**(3) (1988) 114-117
- [3] M. Peruničić, M. Skotovič, Nafta, **39** (10) (1988) 583-588
- [4] M. Peruničić, N. Tubić, Hemijska industrija, **49**(10) (1995) 428-430
- [5] Emission Factor Documentation for AP-42, Section 5.2, Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, 1997.
- [6] <http://www.epa.gov/otaq/transp/traqmodl.htm>
- [7] <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
- [8] Guideline VDI 347, Verein Deutscher Ingenieure Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, 1985.
- [9] J. Vuković, Analiza evaporacionih gubitaka pri manipulaciji i skladištenju sirove nafte i benzina, Pripravnički rad, NIS - RNP, Pančevo, 1997.
- [10] Standard sa obaveznom primenom, JUS B.HO.531, 1988.
- [11] Klimatološka podloga lokacije "Petrohemija" u Pančevu, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd, 2004.
- [12] S. Bogojević, P.J. Pavlović, Hemijska industrija, **55**(2) (2001) 79-89
- [13] Emission Factor Documentation for AP-42, Section 7.1, Organic Liquid Storage Tanks, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, 1997.
- [14] W.O. von Berghoff, Erdölverarbeitung und petrochemie tafeln und tabellen, Leipzig, 1968.

SUMMARY

THE ANALYSIS OF LOADING LOSSES FROM TANK TRUCKS

(Professional paper)

Ana P. Jovanović, Mirko Z. Stijepović, Mića B. Jovanović
Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

The quantity of loading losses, which are the primary source of evaporative emissions from tank cars and trucks was analyzed in this paper. Loading losses occur as organic vapors in "empty" cargo tanks are displaced to the atmosphere by the liquid being loaded into the tanks. Emissions from loading petroleum liquid were estimated using three methods: the API (American Petroleum Institute) method, the VDI (Verein Deutscher Ingenieure – Association of German Engineers) method and the Yugoslav Standard JUS B.HO.531 method. The mass of evaporative losses from loading operations is a function of the following parameters: the method of loading the cargo, the physical and chemical characteristics of the cargo and the ambient temperature during loading. Evaporation losses from the loading of motor gasoline (MB-95, BMB-95, MB-98 and MB-86) and diesel fuels (D-2, Euro D-2) were calculated. Losses on a monthly and annual basis were presented for an assumed amount of loaded cargo. It was estimated that the highest loading losses occur in the summer period because of high ambient daily temperatures and in the period of higher transporting levels. It should be pointed out that the loading losses of diesel fuel calculated using an empirical coefficient according to JUS B.HO.531 are significantly higher in comparison with the loading losses calculated using emission factors from the EPA and the VDI method. The gasoline loading losses calculated using emission factors derived from the three methods are similar.

Key words: Evaporative losses • Loading operations • Petroleum products • Emission factor •

Ključne reči: Gubici • Pretakanje • Naftni derivati • Emisioni faktor •