

## ГУБИТАК ДЕЛА НАФТНЕ ФРАКЦИЈЕ ПРИ РЕЧНОМ ТРАНСПОРТУ - ОПИС СЛУЧАЈА

Перуничих М., Шкрбић Биљана, Ђуришић-Младеновић Наташа,  
Миловац Снежана, Иконић Бојана

Технолошки факултет, Универзитет у Новом Саду,  
Булевар цара Лазара 1, 21000 Нови Сад, Република Србија

### *Abstract*

**PERUNIČIĆ, M., Biljana ŠKRBIĆ, Nataša ĐURIŠIĆ-MLADENOVIĆ, Snežana MILOVAC, Bojana IKONIĆ: THE LOSS OF THE CRUDE OIL FRACTION DURING THE TRANSPORTATION BY RIVER – CASE STUDY.** [Faculty of Technology, University of Novi Sad, Bulevar cara Lazara 1, 21000 Novi Sad, Republic of Serbia]

The paper discusses the elements of the dispute arising between a local oil refinery and a transportation company, in relation with the disappearance or loss of a part of the crude oil fraction during the river transportation. Crude oil fraction was a mixture of platformate gasoline and light gasoline, where the proportion of light gasoline was 23.64% by volume. During the transportation, the above mentioned gasoline was stored in the tank for a few months in the summer period, when the loss due to evaporation of gasoline was increased. The work on the basis of available data such as physicochemical characteristics (standard density, vapor pressure, distillation characteristics) and meteorological data provides an explanation of loss occurrence and gives remarks regarding the flaws in the procedure, which led to this phenomenon.

**Key words:** loss of crude oil fraction, crude oil transportation, evaporation.

### **Сажетак**

У раду се разматрају елементи спора, насталог између једне домаће рафинерије нафте и једног транспортера, а у вези са губитком једног дела нафтне фракције при речном транспорту. У питању је била смеша бензина платформата и лаког бензина, где је удео лаког бензина био 23,64 запр. %. У покушају транспорта наведене робе, иста је заправо стајала неколико месеци у летњем периоду 2005. године, а за то време, губитак робе услед испаравања постајао је све већи. У раду су, на бази расположивих података, како физичко-хемијских карактеристика робе, тј. стандардне густине, напона паре и дестилационих карактеристика, тако и метеоролошких података, дата разјашњења настанка губитка и опаске у вези са пропустима у поступању, који су довели до саме појаве губитка робе и поменутог спора.

**Кључне речи:** губитак нафтног производа, транспорт нафтног производа, испаравање нафтног производа.

### **УВОД**

На дан 3. јула 2005. године, из сувоземних резервоара једне домаће рафинерије нафте, утоварена је роба у дванаест комора пловног објекта једног домаћег транспортера, са намером да се изврши транспорт робе реком Дунавом и то до једне друге домаће рафинерије нафте.

У питању је наводно био бензин платформат, као једна од компонената за намешавање моторног бензина, чак је тако и писало у документу једне домаће институције, која је овлашћена за мерења запремине, односно масе робе, као у предметном случају. Међутим, испоставило се ипак да робу није представљао бензин платформат, већ смеша истог и лаког бензина. При томе је удео лаког бензина у смеси износио чак 23,64 запр. %. Укупна запремина утоварене робе, дакле смесе бензина платформата и лаког бензина, износила је 1.557.595 литара. У периоду од 3. јула па до 9. августа 2005. године, тј. за 37 дана, утврђен је мањак робе у износу од 251,701 литар.

При истовару робе, тј. дана 14. септембра 2005. године, утврђен је додатни мањак робе у износу од 29,642 литре.

Наведени додатни мањак се односио дакле за период од 9. августа па до 14. септембра 2005. године, или за 36 дана. Другим речима, на дан истовара робе, утврђена је њена запремина у износу од 1,276,252 литре, тако да је укупни мањак робе, у периоду од уговара па до истовара, износио 281,343 литре. Све наведене запремине су при референтној температури од 15°C.

## БИТНА СТАНОВИШТА

Моторни бензин, на пример БМБ 95, настаје намешавањем расположивих компонената, тако да исти задовољи стандардом прописане карактеристике. Међу овим компонентама налазе се и бензин платформат, настао каталитичким реформирањем примарног бензина, као и лаки бензин – газолин, који, пак, настаје било дестилацијом примарног бензина, било при преради природног гаса. Намешавање моторног бензина је типична рафинеријска операција, тако да укрцавање бензина платформата и лаког бензина у исти пловни објекат никако није требало да се врши. Основни разлог за то јесте у томе што је предметни пловни објекат намењен искључиво за транспорт робе, а не за намешавање, као у датом случају.

Моторни бензин, као и бензин платформат, представља нафтну фракцију са могућим распоном температуре кључања од 30 до 200°C [морају се пребацити референце и цитирати као и све остало]. Почетак равнотежног прокључавања бензина, као таквог, по правилу је при температурама преко 50°C. Пошто се температура од 50°C, при пројектовању судова за складиштење и транспорт, отворених према атмосфери, дакле снабдевених тзв. дисајним вентилима, узима као максимална температура за наше климатско подручје, онда је нужно да течност у таквим судовима не прокључава при нижим температурама од наведене. Такву твр дњу подупире добро позната чињеница, из свакодневног живота такође, да се брзина прелаза материје из течности у пару нагло повећава када загревана течност пређе у стање кључања. Уместо температуре равнотежног прокључавања могуће је оријентационо узети, у наведеном смислу, температуру при којој 10 запр. % узорка предестилише у апаратури за стандардну дестилацију [2]. На лаке, тј. специјалне бензине, као производе намењене тржишту, указује стандард ЈУС Б.Х0.500, са различитим распонима температуре кључања, назначених као 35/75; 65/105; 80/120; 35/105; 75/130. Специјални бензин 35/105 одређује стандард ЈУС Б.Х0.267, а специјални бензин 65/105, пак, ЈУС Б.Х0.262. Лаки бензин, као фракција намењена намешавању моторног бензина, није стандардизован, али поседује могући распон температуре кључања од 30 до 70°C [3]. Исти се одликује вредношћу стандардне релативне густине при температури од 15°C, која је приметно мања од 0,7. Будући да се и равнотежно прокључавање лаког бензина дешава при температурама приметно мањим од 50°C, исти не треба да буде складиштен, нити да се транспортује у судовима, који имају дисајне вентиле, што ће рећи директну везу са атмосфером.

Са становишта безбедности и настанка губитка услед испаравања [4], смесу где је 23,64% лаког бензина и 76,36% бензина платформата, треба посматрати као чисти лаки бензин, тако да даље извођење доказа у предметном смислу може да изгледа сувишно. Но, овде се ипак даје даља анализа предметног догађаја.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Из сувоземног резервоара за лаки бензин, у сагласности са одговарајућом баждарном таблицом, искрцана запремина истог, износила је 371,132 литре. Међутим, пошто је током истицања лаког бензина у исти резервоар притицала недефинисана запремина лаког бензина из процеса, онда је констатовани мањак робе био заправо

мањи и то управо за ту недефинисану запремину лаког бензина. Из сувоземног резервоара за бензин платформат, опет у сагласности са одговарајућом баждарном таблицом, искрцана је запремина од 1,198,774 литре. Збир управо наведених запремина јесте 1,569,906 литара, што је за 12,311 литар већа вредност од горе поменутих запремина робе укрцане у пловило, мерене пак према баждарним таблицама за сваку од 12 комора истог. Запремина од 12,311 литар, увећана за недефинисану запремину лаког бензина, који је током искрцаја транспортован из процеса у поменути резервоар, представљала би дакле стварну запремину губитка услед испаравања, при истовару из резервоара и утовару у пловило.

Измерена вредност овог губитка, тј. 12,311 литар, чини 0,790 запр. % од запремина робе укрцане у пловило. Колики је стварни губитак, при наведеној операцији, није могуће утврдити, јер доток лаког бензина из процеса у резервоар, одакле је истовремено исти и искрцаван, није мерен.

Стандард ЈУС Б.Х0.530 одређује губитак услед испаравања при складиштењу и промету, што укључује и губитак при утовару и истовару. Постоје констатације о томе да поменути стандард у неким ситуацијама предвиђа знатно мање губитке у односу на реалне, а у другим, пак, знатно веће губитке од истих [Perunicic и Škrbic, 1995; Перуничичић, 1992; Перуничичић, 1992]. Али, ако се погледа Табела 4, у наведеном стандарду, примећује се да за специјалне бензине са крајем дестилације до 150°C, какав је сасвим сигурно лаки бензин, не постоје коефицијенти за губитке уговара, претовара и истовара и то за речна пловила. То, другим речима, једноставно значи да речно пловило не може ни бити намењено за транспорт и утовар у исто лаког бензина. Горе дати податак о констатованом губитку робе, током искрцаја из резервоара и укрцаја у пловило, стога није ни могуће упоредити са стандардом ЈУС Б.Х0.530.

У Табели 1 дају се вредности напона паре и густина тзв. скрозираних узорака робе из пловила, како је документовано из саме Рафинерије.

**Табела 1.** Вредности густине на 15°C и напона пара скрозираних узорака из пловила

датум	03.07.2005.	04.07.2005.	09.08.2005.	15.08.2005.	16.08.2005.
густина, kg/m <sup>3</sup>	751 (733,7)	-	736,8	740,1	-
напон паре, kPa	-	77	75	-	69,9

Скрозирани узорак представља средњу вредност од укупно 24 одговарајућих вредности измерених величина, за узорке са врха и дна, за сваку од 12 комора пловила, како следи и преко вредности из Табеле 3. Једина аргументација из Рафинерије да је било незаконитог искрцаја робе из пловила, баш са дна комора, а не да сав губитак потиче од испаравања, своди се на опадање вредности густине од 3. јула па до 9. августа 2005. године. Међутим, овде показујемо да вредност густине скрозираног узорка од 3. јула 2005. године, тј. 751 kg/m<sup>3</sup>, није тачно одређена.

Према подацима из саме Рафинерије, на дан 3. јула 2005. године вредност густине бензина платформата била је 761,2 kg/m<sup>3</sup>, а вредност густине лаког бензина, пак, 645 kg/m<sup>3</sup>. Обе вредности густине односе се на температуру од 15°C. Примењујући правило адитивности, густина хомогене смесе бензина платформата и лаког бензина била би:

$$0,2364 \times 645 + (1 - 0,2364) \times 761,2 = 733,7 \text{ kg/m}^3$$

што доказује да вредност 751 kg/m<sup>3</sup> из Табеле 1, није тачна. Неведена вредност је очигледно била у функцији тога да потврди покушај да се сва укрцана роба декларише као бензин платформат.

Сменом тачне вредности у Табелу 1, вредност у загради, очигледно је да је током времена вредност густине робе у пловилу стално расла, док је вредност напона паре

стално опадала, што заједно потврђује чињеницу да је, током стајања робе у пловилу, дошло до губитка робе услед испаравања.

У Табели 2 дате су дестилационе карактеристике скрозираниог збирног узорка робе из пловила, као и узорка робе са врха коморе 11 пловила, на дан 15. августа 2005. године.

**Табела 2.** Дестилационе карактеристике назначених узорака из пловила на дан 15. августа 2005. год.

дестилација	скрозирани збирни узорак	узорак са врха коморе 11
дестилација, почетак	34,5°C	28°C
дестилација, 10 запр. %	48°C	35°C
дестилација, 20 запр. %	56°C	38°C
дестилација, 30 запр. %	65°C	40°C
дестилација, 40 запр. %	75°C	43°C
дестилација, 50 запр. %	88°C	46°C
дестилација, 60 запр. %	104°C	51°C
дестилација, 70 запр. %	121°C	56°C
дестилација, 80 запр. %	140,5°C	66°C
дестилација, 90 запр. %	160°C	96°C
дестилација, 95 запр. %	175°C	136°C
дестилација, крај, 99 запр. %	197°C	177°C

Равнотежно прокључавање узорака, са дестилационим карактеристикама на дан 15. августа, одређено од стране Рафинерије, јесте 46°C, за скрозирани збирни узорак, односно 30,6°C, за узорак са врха коморе 11 пловила. Али, за испаравање из пловила битне су карактеристике робе при врху комора. Са тог становишта роба на врху коморе 11, чак 43 дана после укрцаја, могла је лако да буде у подручју кључања, јер није тешко претпоставити да максималне дневне температуре у летњем периоду могу да буду веће од 30,6°C.

Узорак робе, са врха коморе 11 пловила, представља очигледно смесу лаког бензина и бензина платформата, где је више лаког бензина. То доказује чињеницу да без обзира на то што су наведене нафтне фракције потпуно мешљиве, у одсуству механичког мешања, које наравно да не може бити предвиђено у пловилу, мешање дифузијом представља спору операцију.

У Табели 3 дате су вредности температуре и густине узорака са врха и дна комора пловила на дан 16. августа 2005. године.

Имајући у виду наведене вредности у табели 3 лако се закључује да је, при врху комора 7, 8, 9, 10, 11 и 12, била смеша лаког бензина и мањег удела бензина платформата. Исто тако, у коморама 2, 3, 4 и 5 при врху су биле смесе са приближно једнаким уделима лаког бензина и бензина платформата, док су у коморама 1 и 6 при врху биле смесе бензина платформата и лаког бензина, са већим уделом бензина платформата, али са уделом лаког бензина већим од наведене вредности за сво пловило 23,64 запр. %.

Наведена ситуација је последица природног одсуства механичког мешања смесе у коморама пловила, тако да је уследило интензивно испаравање, чак и уз појаву кључања са врха већине комора пловила.

У Табели 4 дате су вредности максималне дневне температуре, одговарајућег подручја, где се налазило пловило, на основу метеоролошких података, за период од 3. јула до 9. септембра 2005. године, када је настао предметни губитак робе.

**Табела 3.** Вредности температуре и густине у коморама пловила на дан 16. августа 2005. год.

комора	температура, °C	густина, kg/m <sup>3</sup>	густина на 15°C, kg/m <sup>3</sup>
1 врх	23,00	721	728,2
дно	23,25	752	759,3
2 врх	22,75	693,5	700,6
дно	23,00	750,5	757,5
3 врх	22,00	697	703,4

дно	23,00	754	761
4 врх	22,50	701	707,9
дно	23,50	753	760,5
5 врх	22,75	686	693,2
дно	23,00	753	760
6 врх	22,25	714	720,6
дно	23,50	752,5	760
7 врх	22,00	676	682,5
дно	23,00	753	760
8 врх	22,50	675	682
дно	23,00	753,5	760,5
9 врх	22,50	662	669,1
дно	23,00	753	760
10 врх	22,00	662	668,6
дно	23,00	754	762
11 врх	22,50	660	667,1
дно	22,00	749	755,2
12 врх	22,00	666,5	673,1
дно	22,75	752	758,8
скрозирани збирни	23,00	733	740,1

Из Табеле 4 се могу уочити дани, назначени болдом, када је температура парног простора, као и течности при врху коморе 11 пловила, превазилазила температуру почетка кључања присутне смесе лаког бензина и бензина платформата, одређене од стране Рафинерије у износу од 30,6°C. Таквих дана је у јулу 2005. године било седам, у августу један, а у септембру ни један, што следи уобичајено стање лети.

Поред тога у Табели 4 се уочавају дани, назначени италиком, када је температура парног простора и течности при врху коморе 11 пловила опет превазилазила температуру почетка кључања присутне смесе лаког бензина и бензина платформата, ако се узме у обзир пораст максималне дневне температуре унутар затворених посуда, какво је и предметно пловило, услед акумулације топлоте у материјалу пловила [8]. У овом смислу, да би се добила максимална температура, унутар било којег средства за складиштење и транспорт, потребно је увећати одговарајућу максималну дневну температуру, из метеоролошких података, за 5°C, што се у нашем случају односи на максималну температуру парног простора и течности при врху коморе.

Збирно посматрано, смеша бензина платформата и лаког бензина у појединим коморама пловила, могла је да кључа 12 дана у јулу, 7 дана у августу и 3 дана у септембру.

**Табела 4.** Максималне дневне температуре подручја где се налазило пловило

јул 2005.	$t_{max}$ , °C	август 2005.	$t_{max}$ , °C	септембар 2005.	$t_{max}$ , °C
		01.	29,0	01.	28,2
		02.	<b>30,6</b>	02.	26,8
	22,9	03.	30,4	03.	25,2
	26,0	04.	23,4	04.	24,6
	26,3	05.	21,4	05.	25,1
	21,9	06.	23,4	06.	24,9
	25,3	07.	21,9	07.	26,7
	26,8	08.	20,2	08.	28,3
	24,9	09.	22,5	09.	29,2
	23,2	10.	26,8		
	24,2	11.	25,2		
	21,5	12.	25,1		
	23,5	13.	26,4		

14.	24,9	14.	26,4		
15.	27,4	15.	23,8		
16.	29,0	16.	18,5		
17.	29,2	17.	22,0		
18.	<b>32,2</b>	18.	23,6		
19.	30,5	19.	25,5		
20.	25,7	20.	26,7		
21.	26,4	21.	24,2		
22.	25,6	22.	24,1		
23.	20,9	23.	22,0		
24.	24,9	24.	21,9		
25.	27,5	25.	25,6		
26.	<b>31,6</b>	26.	27,0		
27.	<b>31,9</b>	27.	26,6		
28.	<b>32,8</b>	28.	26,0		
29.	<b>31,8</b>	29.	27,0		
30.	<b>32,2</b>	30.	27,6		
31.	<b>34,4</b>	31.	28,2		

Појава кључања у средствима за транспорт, отвореним према атмосфери преко дисајних вентила, какво је предметно пловило, сасвим сигурно да указује на недозвољени укрцај робе са неодговарајућим карактеристикама за примену истог.

Такво поступање је и довело до енормног губитка услед испаравања, уз знатно угрожавање безбедносне ситуације, тако да је права срећа што исти догађај није био праћен експлозијом и пожаром пловила.

Свака комора пловила је снабдевена са дисајним вентилом НО 125, који пропушта пару у околни ваздух при надпритиску од 25 mbar, а омогућује улаз околном ваздуху у парни простор при потпритиску од 20 mbar. Према извору (Е н т у с , 1982) максималан проток паре кроз дисајни вентил НО 50, дакле са више него двоструко мањим пречником од предметних, јесте  $18 \text{ kg/m}^3$ , док је за дисајни вентил НО 100, исти једнак чак  $35 \text{ kg/m}^3$ . Стога је могуће проценити да је просечан проток паре кроз вентил НО 125 могао да буде  $10 \text{ m}^3/\text{час}$ . Орјентациони губитак робе из пловила тада је могао да буде:

$$10 \times 0,55 \times 3,1 \times 12 \times 12 \times 73 = 179.230 \text{ kg},$$

где су вредности: 0,55 - процењени удео пара угљоводоника у парном простору у смеси са ваздухом;  $3,1 \text{ kg/m}^3$  - густина пара угљоводоника, на основу вредности молекулске масе, одређене по формули (2.3) из референце [10]; 12 - број дисајних вентила; 12 - број часова, током дана, када дисајни вентили пропуштају пару из комора; 73 - број дана стајања робе у пловилу.

Под претпоставком да је густина робе, која фигурише као губитак, била једнака  $0,650 \text{ kg/l}$ , укупан утврђени губитак, изражен масом, јесте:

$$281.343 \times 0,650 = 182.873 \text{ kg},$$

што указује на блискост са претходно процењеном вредношћу.

Коначно, укупни мањак робе, у периоду од уговара па до истовара, у наведеном износу од 281,343 литре, ипак је приметно мање од констатоване искрцане запремине лаког бензина, тј. од вредности 371,132 литре, што је пак и био првенствени извор губитка робе.

Чињеница да је у периоду од 3. јула па до 9. августа 2005. године, тј. за 37 дана, утврђен мањак робе у износу од 251,701 литар, а у периоду од 9. августа па до 14. септембра 2005. године, или за 36 дана, исти утврђен у износу од 29,642 литре, јасна је сама по себи, ако се узме у обзир то да су максималне дневне температуре у првом периоду ипак биле веће него у другом, као и то да је у првом периоду већ дошло до

испаривања, чак и кључањем, већине присутних лако испарљивих компонената смесе у пловилу.

## ЗАКЉУЧАК

Предметни губитак робе, при покушају њеног транспорта пловилом, изазван је недозвољеним поступањем да се уз бензин платформат у исто пловило укрцава и лаки бензин, тако да је смесу наведених компонената одликовао удео лаког бензина од 23,64 запр. %. У појединим коморама пловила, у неким од посматраних дана стајања робе у пловилу, долазило је и до кључања одговарајуће смесе, што је и изазвало толики мањак робе. Други узрок за појаву губитка од 281,343 литре робе, јесте баш у томе што је иста стајала у пловилу од 3. јула 2005. године, наредних 73 дана.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1.Предојевић, З., С. Соколовић (2005): Карактеристике течних горива, Универзитет у Новом Саду, Технолошки факултет, Нови Сад, стр. 9.
- 2.Бурић, Ђ.: Приватно саопштење.
- 3.Предојевић, З., С. Соколовић, стр. 15
- 4.Перуничкић, М., Скотович, М. (1990): Складиштење нафте и течних нафтних производа са становишта безбедности и губитка испаривањем, Горива и мазива, **29** 129 (реферисано на XXIII симпозијуму ЈУГОМА '89, Пула, 1989)
- 5.Perunicic, M., B. Škrbic (1995): Suggestion for Evaporation Loss and Storage Standards for Crude Oil and Derivatives Handling, Chemical Industry, **49** 556. Chemical Abstract, **124** (1995) 180832h (реферисано на HELECO '93, Атина, 1993).
- 6.Перуничкић, М. (1992): Проблеми стандардизације допуштених евапорационих губитака при складиштењу нафте и производа од нафте, Техника, **47** 158.
- 7.Перуничкић, М. (1992): Четири случаја губитка бензина из резервоара за складиштење повезана са погрешном проценом на бази важећег стандарда, Зборник радова Технолошког факултета у Новом Саду, **23** 131.
- 8.Szilas, A.P. (1975): Production and Transport of Oil and Gas - Development in Petroleum Science, Elsevier Sci. Publ. Comp., New York, p. 441.
- 9.Ентус, Н.Р. (1982): Техническое обслуживание и ремонт резервуаров, Москва, Химия, стр. 50.
- 10.Перуничкић, М. (1985): Технологија прераде нафте, Технолошки факултет, Нови Сад, стр. 20.

Примљено: 11.10.2010.

Одобрено: 21.07.2011.