

**ANALIZA PARAMETARA TRANSPORTA SIROVE NAFTE PRI
IZOTERMNOM SRUJANJU**
**ANALYSIS OF CRUDE OIL TRANSPORT PARAMETERS IN ISOTHERMAL
FLOW**

Jasna TOLMAČ¹, Slavica PRVULOVIĆ¹, Saša JOVANOVIĆ¹,

Marija NEDIĆ², Aleksandra ALEKSIĆ³, Dragiša TOLMAČ⁴

¹University of Novi Sad, Technical faculty "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Serbia

²PETKUS Engineering d.o.o.

³NIS Gazprom Neft, Novi Sad, Serbia

⁴University of Nikola Tesla, Belgrade, Faculty of Management, Sremski Karlovci, Serbia

UVOD

- U radu su prikazani rezultati eksperimentalnog istraživanja i simulacije parametara transporta sirove nafte cevima.
- Sirove nafte sa sadržajem parafina iznad 15%, su tzv. parafinske nafte. Ovakve nafte imaju visoke temperature tečenja i nepovoljne karakteristike za transport cevima.

- U Srbiji, Vojvodini 70 % proizvedene nafte pripada parafinskom tipu, od čega je preko 25 % nafte sa visokim sadržajem parafina. Nafte sa visokim sadržajem parafina, obično imaju visoku tačku stinjavanja.
- Sadržaj parafina u sirovoj nafti sa naftnih polja u Vojvodini je 7,5 do 26 %, a temperatura stinjavanja nafti kreće se od 18 do 36 °C. Uvozna sirova nafta ima tačku tečenja 8 °C.

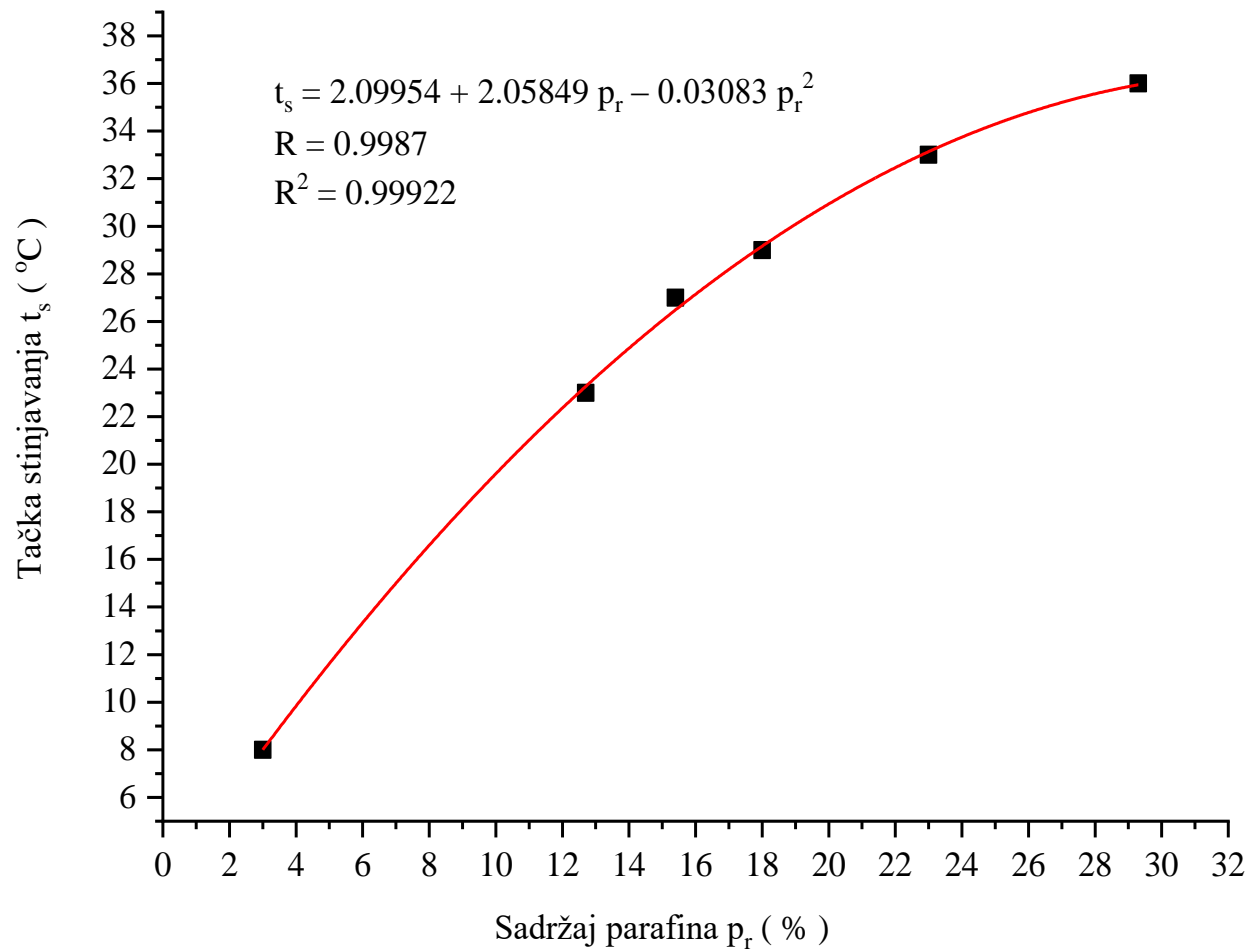
- Homogenizacijom tj. mešanjem domaće i uvozne sirove nafte dobijaju se bolja svojstva za transport cevima i snižava se tačka stinjavanja.
- Kada prilikom cevovodnog transporta parafinske sirove nafte dođe do prekida protoka i hlađenja nafte ispod temperature stinjavanja, dolazi do pojave geliranja celokupne transportovane mase nafte. Iz tih razloga potrebno je projektovati takve uslove rada naftovoda, tako da je temperatura nafte iznad temperature stinjavanja.
- Jedno od uobičajenih rešanja je transport zagrejjane sirove nafte. Fizička svojstva sirove nafte se modifikuju zagrevanjem kako bi se sprečio nastanak voska unutar naftovoda.

- Nafta u Vojvodini imaju često visok sadržaj čvrstog parafina. Da bi se sprečilo taloženje parafina, nafta se zagreva i smanjuje se viskoznost, pa se tek onda uvodi u cevovod i transportuje. Time se smanjuje pad pritiska usled gubitaka na trenje, kao i snaga pumpe.
- Temperatura nafte na kraju cevovoda treba da bude viša od temperature topljenja parafina.
- Problem nataloženog parafina može se pojaviti nakon startovanja pumpe za transport posle remonta ili kvara, a ovi problemi su posebno izraženi u zimskom periodu.

- Sadržaj parafina u nafti ima dominantan uticaj na svojstva visoko parafinskih nafti, a naročito na temperaturu stinjavanja i na smanjenje protočnih svojstava nafte.
- Kod sadržaja parafina 12,7 – 29,3 %, tačka tečenja je 23 – 36 °C, Tabela 1.

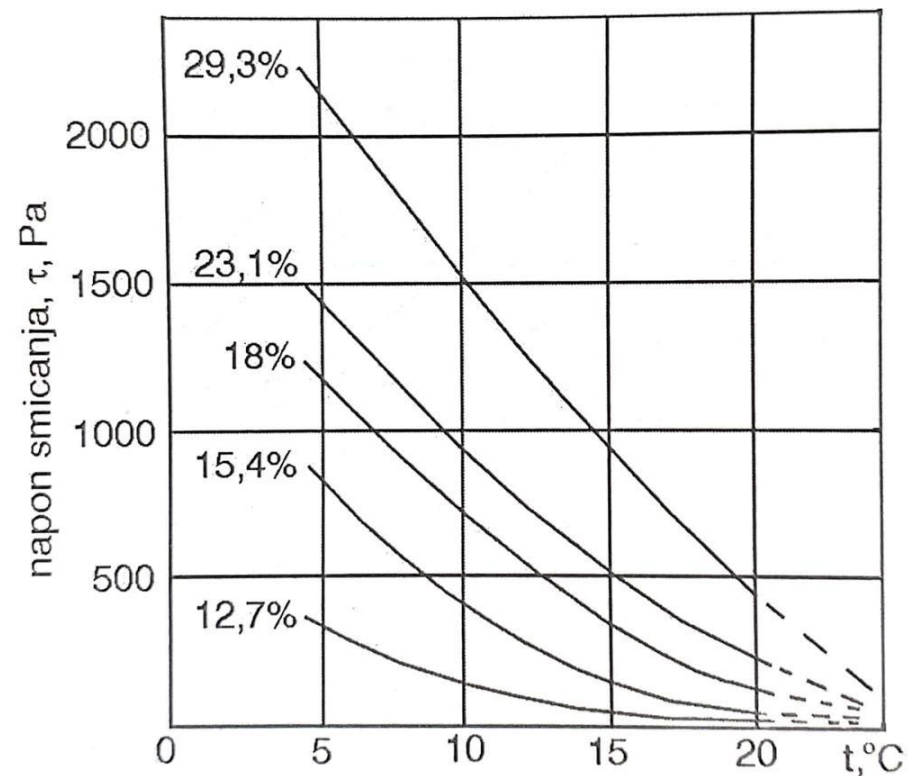
Tabela 1. Tačke stinjavanja nafti sa različitim sadržajem parafina

Sadržaj n-parafina u masenim (%)	Tačka stinjavanja (°C)
12,7	23
15,4	27
18	29
23	33
29,3	36



Slika 1. Zavisnost tačke stinjanja od sadržaja parafina sirove nafte

Na Slici 2 je prikazana zavisnost graničnog naprežanja na smicanje od sadržaja parafina i temperature

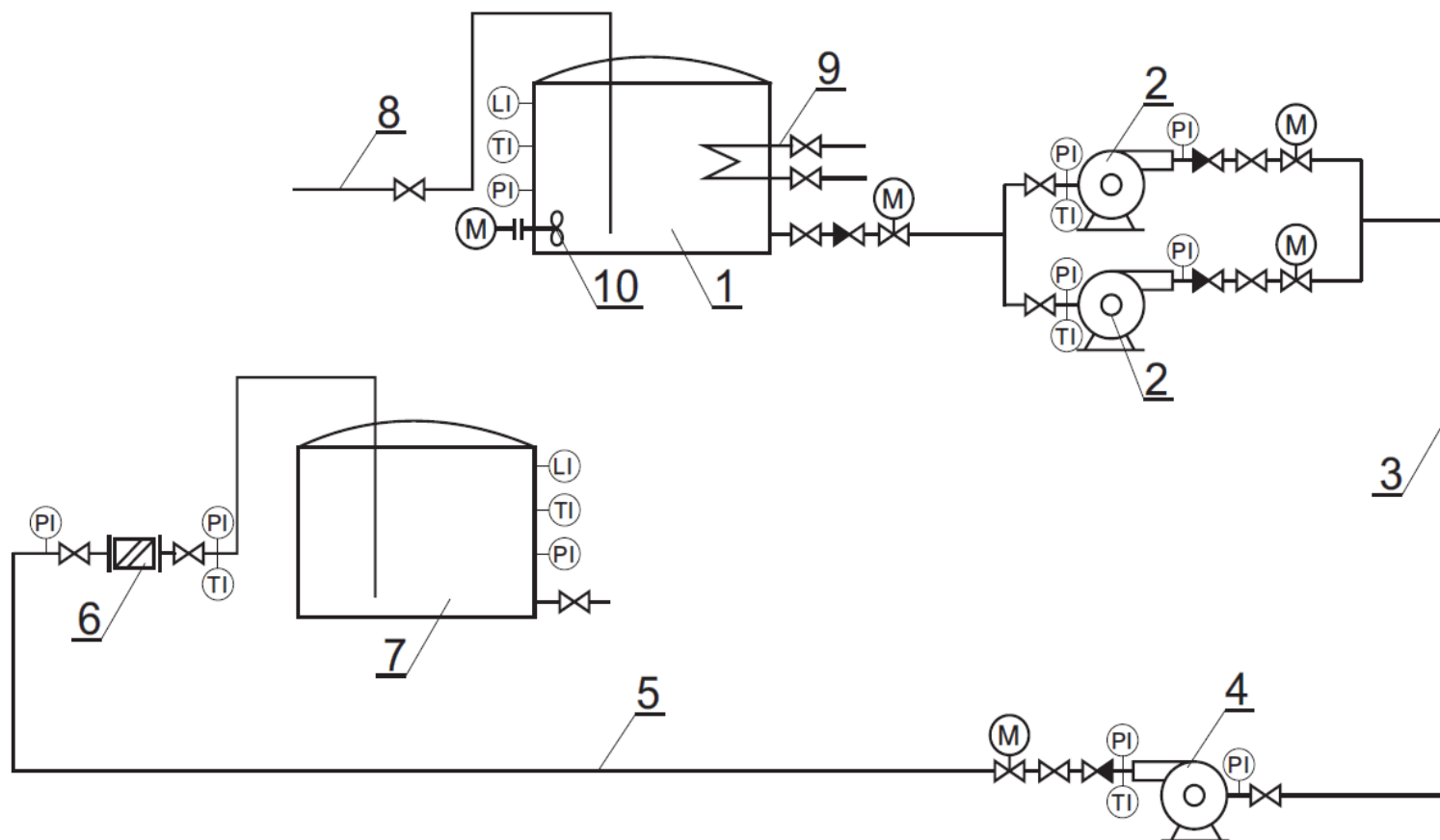


CS Scanned with CamScanner

Slika 2. Zavisnost graničnog naprežanja na smicanje od sadržaja parafina i temperature

MATERIJALI I METODE

Eksperimentalna ispitivanja i merenja izvršena su na realnom postrojenju za skladištenje i transport sirove nafte. Šema eksperimentalnog postrojenja data je na Slici 3.



Slika 3. Šema postrojenja za transport sirove nafte

- 1 - rezervoar
- 2 - centrifugalna pumpa
- 3 - naftovod
- 4 - centrifugalna pumpa
- 5 - magistralni naftovod
- 6 - merač protoka
- 7 - rezervoar
- 8 - dovod sirove nafte
- 9 - grejač
- 10 - mešalica

Tabela 2. Karakteristike transportovane sirove nafte

Svojstvo	Jedinica mere	Vrednost
Gustina na 15 °C	(kg/m ³)	875
Kinematska viskoznost na +20 °C maks.	(m ² /s)	23·10 ⁻⁶
Kinematska viskoznost na +30 °C maks.		18·10 ⁻⁶
Kinematska viskoznost na +40 °C maks.		15·10 ⁻⁶
Kinematska viskoznost na +50 °C maks.		11·10 ⁻⁶
Tačka tečenja	(°C)	maks. + 8 °C
Uvozna nafta		
Domaća nafta		maks. +26 °C
Napon pare fluida – pritisak pare po Reidu maks.	(bar)	0,5
Sadržaj vode i taloga maks.	(vol. %)	1
Sadržaj sumpora maks.	(mas. %)	2,8

Tabela 3. Karakteristike naftovoda (3) spoljašnjeg prečnika 323,9 mm (12") i rezervoara 1

Centrifugalna pumpa 2		Naftovod $D_{ca} = 323,9$ mm (12")		Rezervoar 1	
$Q = 350$ m ³ /h	Protok	$D_{ci} = 301,7$ mm	Unutrašnji prečnik naftovoda	40 m	Prečnik
$H = 75$ m	Napor pumpe	$\delta_c = 11,1$ mm	Debljina zida cevi	12,7 m	Visina
$N = 132$ kW	Snaga pumpe	$l = 1550$ m	Dužina naftovoda	15000 m ³	Zapremina
$\eta_p = 0,70$	Stepen korisnosti pumpe	$s = 100$ mm	Debljina izolacije	$s = 100$ mm	Debljina izolacije
$NPSH = 25$ kPa	Neto pozitivna usisna visina				
$n = 2950$ min ⁻¹	Broj obrtaja				

Tabela 4. Karakteristike magistralnog naftovoda (5) spoljašnjeg prečnika 457 mm (18")

Centrifugalna pumpa 4		Naftovod $D_{ca} = 457$ mm (18")	
$Q = 900$ m ³ /h	Protok	$D_{ci} = 428,4$ mm	Unutrašnji prečnik naftovoda
$H = 335$ m	Napor pumpe	$\delta_c = 14,3$ mm	Debljina zida cevi
$N = 1000$ kW	Snaga pumpe	$l = 91000$ m	Dužina naftovoda
$\eta_p = 0,70$	Stepen korisnosti pumpe	$s = 100$ mm	Debljina izolacije
NPSH = 300 kPa	Neto pozitivna usisna visina		
$n = 2960$ min ⁻¹	Broj obrtaja		

Šema zagrevanja naftovoda (3), $D_n = 323,9$ mm pomoću dva cevovoda $D_p = 25$ mm

- Pad pritiska pri izotermnom strujanju određen je pomoću formule:

$$\Delta p = 0,241 \frac{\rho v^{0,25} q^{1,75} l}{D_{ci}^{4,75}}$$

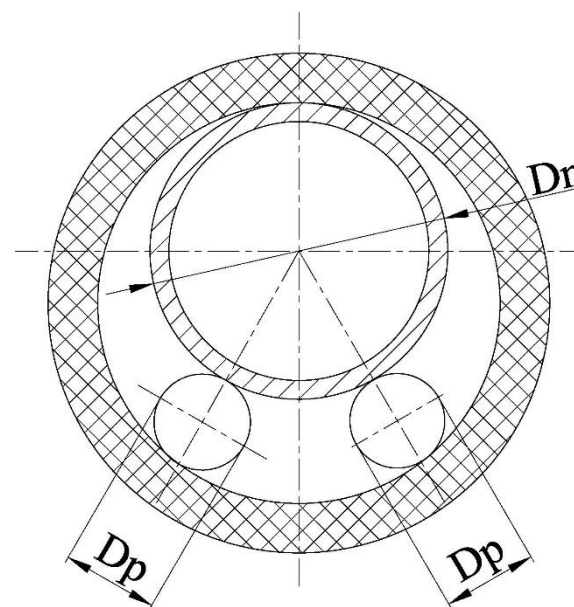
ρ – gustina (kg/m^3)

v – viskoznost (m^2/s)

q – zapreminski protok (m^3/s)

l – dužina naftovoda (m)

D_{ci} – unutrašnji prečnik naftovoda (m)



$l = 1550$ m

$p = 12$ bar , $t = 200$ °C

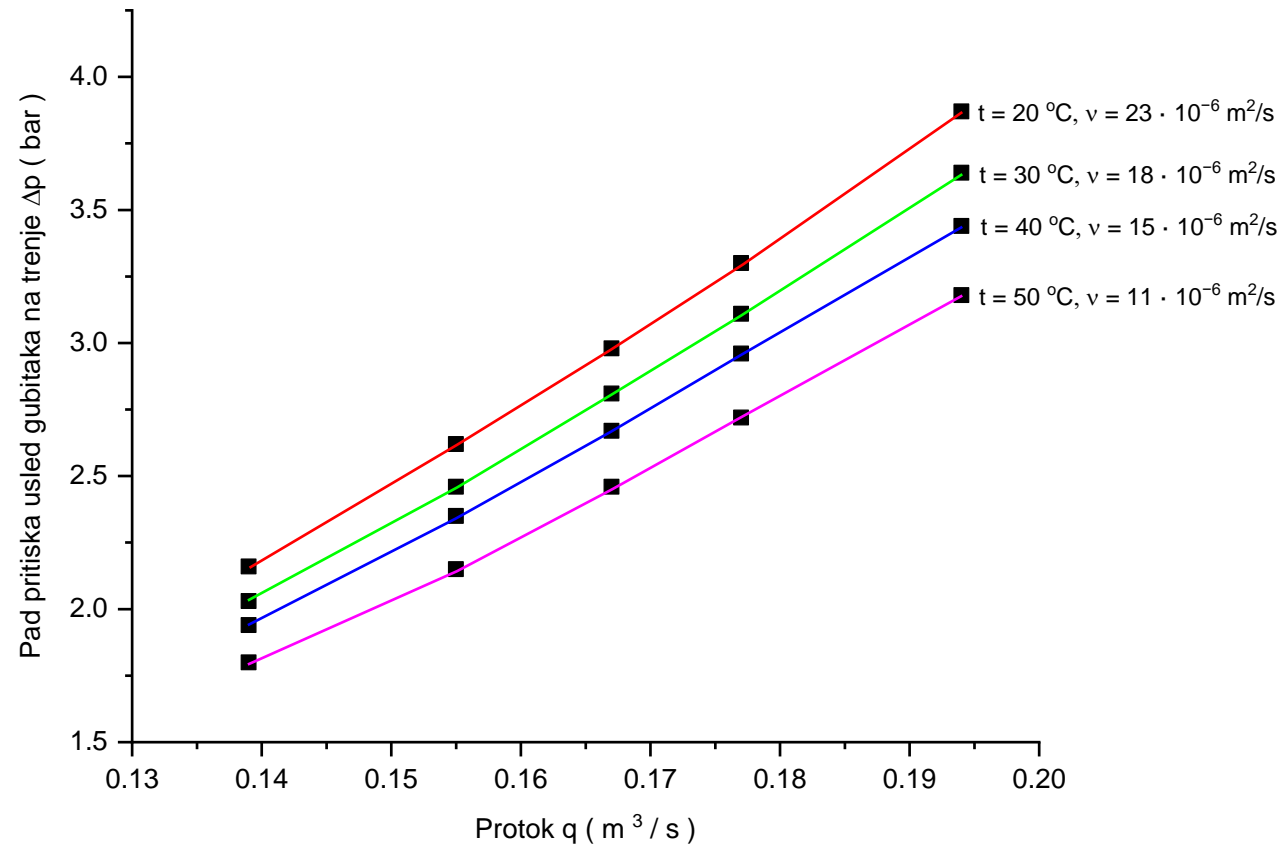
Slika 4. Šema zagrevanja naftovoda (3)

REZULTATI I DISKUSIJA

Tabela 5. Troškovi grejanja sirove nafte

Minimalni troškovi grejanja sirove nafte	
Polazna temperature zagrevanja	$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Tačka tečenja	$8 \text{ }^\circ\text{C}$
Sadržaj parafina	3 %
Znatno veći troškovi grejanja sirove nafte	
Polazna temperature zagrevanja	$t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
Tačka tečenja	$26 \text{ }^\circ\text{C}$
Sadržaj parafina	15,3 %

Na Slici 5, dati su rezultati istraživanja, koji prikazuju zavisnost promene pada pritiska i protoka za naftovod (3).

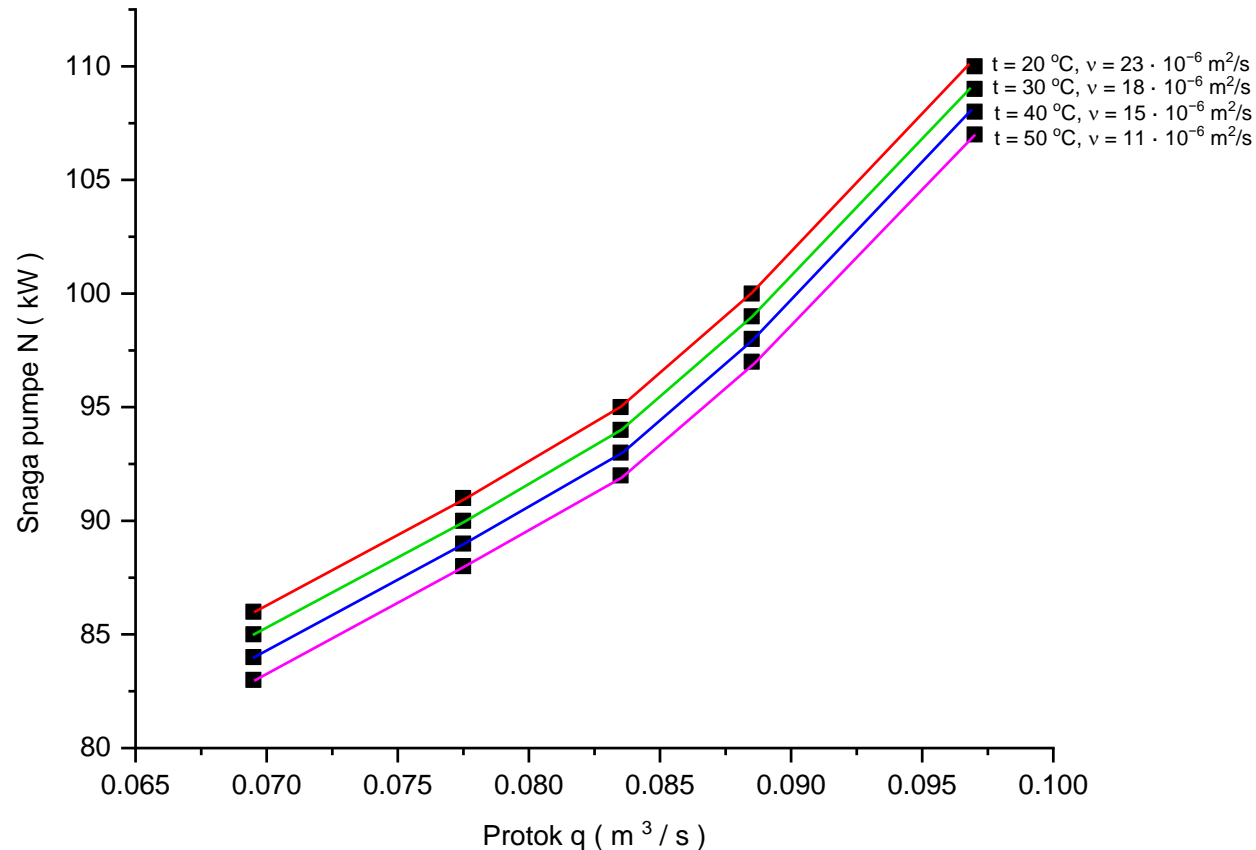


Na osnovu rezultata istraživanja za naftovod (3), prečnika $D_{ca} = 323,9$ mm, dužine $l = 1550$ m, dobijen je pad pritiska $\Delta p = 3,87$ bar, kada je temperatura nafte $20^\circ C$, pri maksimalnom protoku.

Sa smanjenjem temperature za $\Delta t = 10^\circ C$ i porastom viskoznosti primetno je povećanje pada pritiska za 3 – 4 % i za toliko je potrebna i veća snaga pumpe.

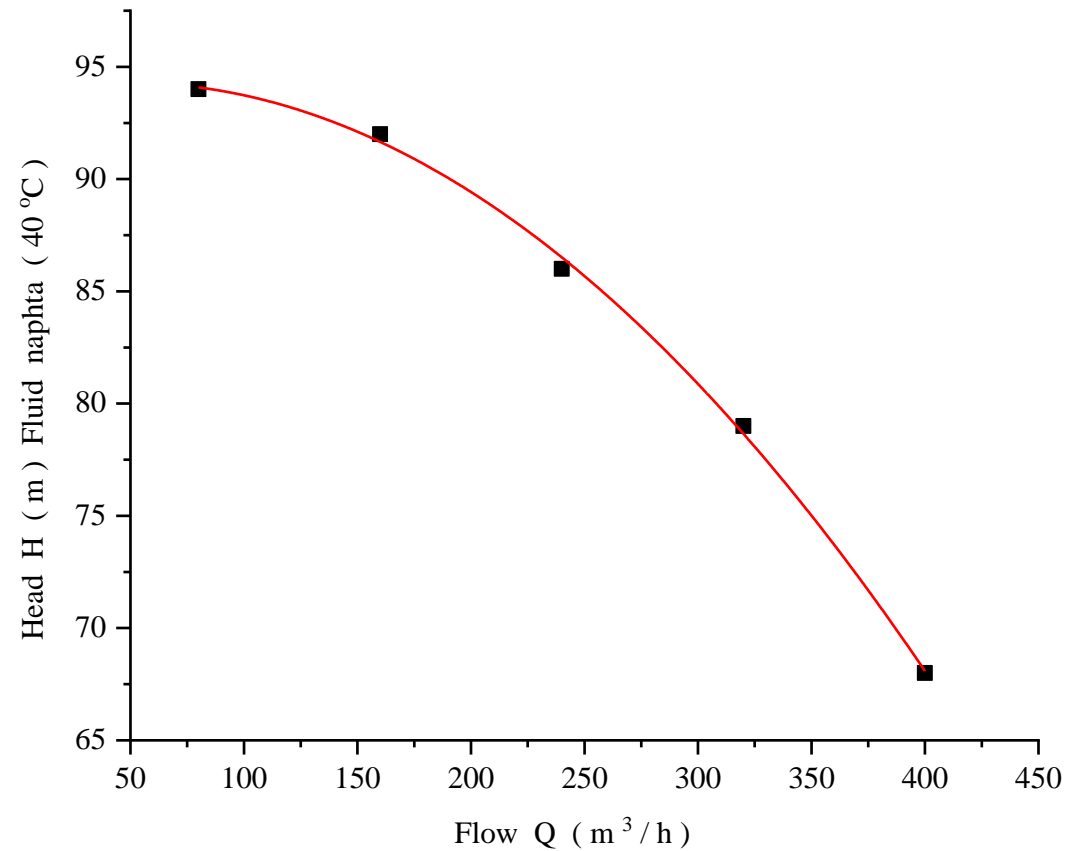
Slika 5. Pad pritiska usled trenja u zavisnosti od veličine protoka

Na Slici 6, dati su rezultati istraživanja, koji prikazuju zavisnost promene snage pumpe i protoka, za opseg temperature zagrejjane nafte 20 – 50 °C.



Za radni režim protoka 0,075 – 0,092 m³/s, (275 – 330 m³/h), po pumpi (2), snaga pumpe se kreće u opsegu 85 – 100 kW. Stepen korisnog dejstva pumpe iznosi oko 0,70, Slike 6 i 7.

Slika 6. Zavisnost promene snage pumpe i protoka



Slika 7. Karakteristika pumpe (2), operativni opseg protoka 275 – 330 m³/h, snaga 85 – 100 kW, stepen korisnog dejstva pumpe iznosi oko 0,7

ZAKLJUČAK

- Pri transportu parafinske nafte veće viskoznosti, potrebno je savladati veći pad pritiska tako da je potrebna veća snaga pumpe.
- Brzina hlađenja pri transportu nafte iznosi $(0,52 - 0,55) \text{ }^\circ\text{C/h}$. Pri transportu domaće parafinske nafte, vreme zastoja nebi trebalo da bude duže od 24 h, jer bi usled stajanja i hlađenja došlo do pojave čvrstih čestica parafina, a potom i do geliranja nafte u cevovodu.
- Sa uvoznom naftom nije takav problem, s obzirom na to da je tačka tečenja ove nafte $8 \text{ }^\circ\text{C}$. U svakom slučaju neophodno je da poslednji planirani transport u nizu bude sa uvoznom naftom, koja bi istisnula domaću naftu iz cevovoda.

- Svako naftno polje daje naftu određenih karakteristika, gustine i viskoznosti. U prirodi je teško naći dve nafte istog sastava. Na osnovu toga za svaki tip sirove nafte utvrđuju se protočna svojstva i iznalaze odgovarajuća rešenja za transport.
- Rezultati istraživanja za magistralni naftovod (5) dužine 91000 m i prečnika $D_{ca} = 457$ mm, publikovani su u časopisu Hemijska Industrija, Vol. 74, No. 2 (2020), pp. 79-90, ISSN 2217-7426.