

ANALIZA NAPONSKOG STANJA PODZEMNOG CEVOVODA**STRESS ANALYSIS OF UNDERGROUND PIPELINE**Igor Milinski, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

Kratak sadržaj – U radu se iznose rešenja preopterećenja podzemnog naftovoda nominalnog prečnika 2 1/2". Za analizu naponskog stanja se koristi program CAESAR II. Analiza je izvršena u skladu sa standardom ASME B31.4

Ključne reči: Podzemni cevovod, Naftovod, CAESAR II.

Abstract – This paper provides solutions to overstressing of an underground pipeline 2 1/2" in diameter. CAESAR II software is used for stress analysis. The analysis is done in accordance to ASME B31.4 standard.

Keywords: Undergorund pipeline, Oil pipeline, CAESAR II.

1. UVOD

Podzemni cevovodi predstavljaju arterije i vene u sistemu eksploatacije nafte. Transport nafte podzemnim cevovodima predstavlja najbezbedniji, najefikasniji i najekonomičniji metod transporta. Na projektovanje podzemnih cevovoda u praksi se obraća manje pažnje u odnosu na nadzemne cevovode. Ovo je pogrešno jer podzemni cevovodi nose sa sobom znatno veće rizike u pogledu bezbednosti postrojenja i zaštite životne sredine. Curenja, iako se mnogo teže otkrivaju, nisu ništa manje opasna nego kod nadzemnih cevovoda. Osim toga, sanacija na podzemnim cevovodima je dug i skup proces.

Do havarija na podzemnim cevovodima može doći i zbog neadekvatnog projektovanja cevovoda usled odsustva analize naponskog stanja. Analiza naponskog stanja (stress analiza) podrazumeva numeričko računanje i analizu sila i napona koji se javljaju na cevovodu usled dejstva težine cevovoda, pritiska fluida, temperature i spoljnih faktora. Analizom naponskog stanja identifikuju se problematične tačke na cevovodu i pruža se uvid u mogućnosti rešavanja istih.

2. ZADATAK RADA

Zadatak diplomskog–master rada, iz kojeg ovaj rad proističe, je analiza naponskog stanja podzemnog naftovoda prečnika 2 1/2" dužine 1218m, u skladu sa standardom ASME B31.4. Ukoliko se ustanovi da naftovod ne zadovoljava zahteve standarda, radom je potrebno predložiti rešenje problema. Naftovod je projektovan u okviru projekta „URP Povezivanje grma bušotina Ve-243. Ve-247“.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Momčilo Spasojević, vanr. prof.

3. ULAZNI PODACI

Naftovod je dimenzija 2 1/2" sch 40 (Ø73.0 x 5,2 mm). Ukupna dužina podzemnog dela iznosi 1218 m. Promene pravca na naftovodu izvedene su cevnim lukovima radijusa skretanja 320 mm. Materijal izrade naftovoda je ASTM A106 Gr.B. Karakteristike materijala date su u tabeli 1.

Tabela 1. *Karakteristike materijala*

Zatezna čvrstoća	415 Mpa
Napon tečenja	240 Mpa

Radni pritisak naftovoda iznosi 80 bar, a radna temperatura 40°C. Instalaciona temperatura je data u opsegu 5-21°C. Gustina radnog fluida (nafte) iznosi 900 kg/m³. Karakteristike zemljišta date su u tabeli 2.

Tabela 2. *Karakteristike zemljišta*

Koeficijent trenja	0,5
Gustina zemljišta	1810 kg/m ³
Prosečna dubina ukopavanja do vrha cevi	1000 mm
Ugao trenja zemljišta	27°

Razmatrani slučajevi opterećenja uzeti su prema preporukama iz standarda ASME B31.4. Usvojeni su sledeći slučajevi opterećenja:

L1 = W+T1+P1 (OPE) – Radno stanje

L2 = W+P1 (SUS) – Noseće stanje

L3 = L1-L2 (EXP) – Ekspanzija

4. REZULTATI PRORAČUNA

Proračun je izvršen za dve ekstremne vrednosti instalacione temperature, 5° C i 21° C. Rezultati proračuna pokazali su da je u oba slučaja naftovod preopterećen. Na pojedinim tačkama naftovoda javljaju se naponi skoro duplo veći od dozvoljenih. Očekivano, pri instalacionoj temperaturi od 21° C naponi su znatno manji nego pri 5° C ali je naftovod i dalje preopterećen. Rezultati proračuna prikazani su u tabelama 3 i 4.

Tabela 3. *Rezultati proračuna (5°C)*

Slučaj opterećenja	Maksimalni Napon [Mpa]	Dozvoljeni napon [Mpa]	Odnos [%]
L1	353,3	217,2	162,7
L2	260,7	217,2	120,0
L3	319,2	173,7	183,7

Tabela 4. *Rezultati proračuna (21°C)*

Slučaj opterećenja	Maksimalni Napon [Mpa]	Dozvoljeni napon [Mpa]	Odnos [%]
L1	208,4	217,2	96,0
L2	143,6	217,2	66,1
L3	174,4	173,7	100,4

Naftovod u izvedbi predloženoj projektom ne zadovoljava zahteve standarda ASME B31.4.

5. ANALIZA REZULTATA

Rezultati pokazuju da je cevovod Ve-247 u izvedbi predloženoj projektom izložen prevelikim naponima.

Razlog za ovakve rezultate je pre svega vrlo nepovoljna konfiguracija trase cevovoda. Na relativno maloj dužini cevovod često menja pravac i uslov aktivne dužine nije ispunjen. Posledica je ta da je veliki deo cevovoda u slobodnom stanju i da su prisutna pomeranja i veliki naponi u lukovima.

Drugi razlog koji bi mogli izdvojiti jeste relativno mali radijus skretanja lukova koji su korišteni na cevovodu. Za cevovod ovih dimenzija korišćenje lukova većeg radijusa skretanja ne bi puno povećalo ukupnu investiciju a doprinelo bi povoljnijem naponskom stanju.

Treba naglasiti i da geomehantički podaci o zemljištu nisu dobijeni ispitivanjem, već da su dostavljeni ulazni podaci pretpostavljeni od strane investitora. Ugao trenja zemljišta od 27° je veoma nepovoljan i znatno je uticao na velike napone dobijene proračunom.

6. METODE POBOLJŠANJA NAPONSKOG STANJA

Dugogodišnjom praksom projektovanja podzemnih cevovoda došlo se do nekih zaključaka o ponašanju podzemnih cevovoda. Po pravilu, problem preopterećenja se kod cevovoda koji menjaju pravac skoro uvek javlja na tačkama skretanja cevovoda, sa najvećom koncentracijom na mestima spoja kolena (luka) i prave cevi. Jasno je da pri ekspanziji slobodnog dela cevovoda zemlja vrši kontra opterećenje na cevovod i time izaziva velike napone koji ne bi bili prisutni da cev može slobodno da ekspandira.

Takođe treba naglasiti da će opterećenje bitno zavisiti od razlike instalisane i radne temperature. Tako na primer za cevovod sa razlikom temperature do 15° stepeni opterećenje na kolenima će biti sasvim zadovoljavajuće, dok za razliku od 50° stepeni u kolenima se mogu javiti naponi i nekoliko puta veći od dozvoljenih, za istu konfiguraciju cevovoda.

Imajući sve ovo u vidu razvijeno je više metoda za poboljšanje naponskog stanja cevovoda:

- Smanjivanje razlike temperatura
- Kompenzacioni jastuci
- Postavljanje anker blokova
- Korišćenje lukova većeg radijusa skretanja

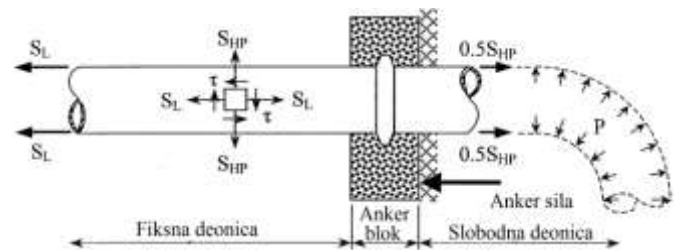
Smanjivanjem razlike radne i instalacione temperature smanjuje se efekat termičke ekspanzije, a time i naponi koji se javljaju u cevovodu. Jasno je da treba težiti što višoj instalacionoj temperaturi, odnosno težiti tome da se cevovod ugrađuje u letnjem periodu.

Kompenzacioni jastuci (slika 1.) su najviše našli primenu kod vrelovoda u grejnoj tehnici, dok se u naftnoj industriji manje koriste. Postavljanjem obloge od mekanog materijala oko cevovoda smanjuje se otpor zemlje ekspanziji cevovoda.



Slika 1. Kompenzacioni jastuci

Anker blokovima (slika 2.) stvaraju se fiksne tačke na cevovodu i smanjuje dužina usled koje dolazi do termičke ekspanzije. Praksa je da se blokovi ugrađuju ispred i iza skretanja na rastojanju od 6-10 prečnika cevovoda.



Povećanjem radijusa skretanja luka, smanjuje se vrednost faktora intenzifikacije napona (SIF) a time i koncentracija napona u tački skretanja. Dovoljnim povećanjem radijusa SIF dostiže vrednost približno $SIF = 1$, tako da u luku vlada napon skoro kao u pravoj cevi.

7. PREDLOŽENA REŠENJA

U cilju rešavanja problema preopterećenja razmatrana su dva rešenja.

Prvo rešenje predviđa postavljanje anker blokova u blizini kolena kako bi se umanjio efekat termičke ekspanzije i snizili naponi u cevovodu. Anker blokovi se postavljaju pre i posle svakog cevnog luka, na udaljenosti od oko 350 mm od luka. Za ovo rešenje naftovod bi zahtevao dodatnih 12 anker blokova. Rezultati proračuna dati su u tabeli 5.

Tabela 5. Rezultati proračuna (Anker blokovi)

Slučaj opterećenja	Maksimalni Napon [Mpa]	Dozvoljeni napon [Mpa]	Odnos [%]
L1	112,3	217,2	51,7
L2	22,2	217,2	17,1
L3	78,2	173,7	45,0

Iz rezultata se zaključuje da rešenje sa anker blokovima zadovoljava sve zahteve standarda ASME B31.4 i da naftovod nije preopterećen. Vrednosti sila koje deluju na anker blokove u ovom slučaju prikazane su u tabeli 6.

Tabela 6. Sile i momenti na anker blokovima

Anker blok	F _{AX} N	F _{LAT} N	F _{VERT} N	M _{B1} Nm	M _{B2} Nm	M _T Nm
1	85600	0	0	0	0	0
2	83200	1900	0	0	560	0
3	83200	1900	0	0	560	0
4	83300	1900	0	0	570	0
5	83300	1900	0	0	560	0
6	83300	1800	0	0	550	0
7	83300	1800	0	0	550	0
8	83200	1900	0	0	560	0
9	83200	1900	0	0	560	0
10	76300	3800	0	0	980	0
11	76300	3800	0	0	980	0
12	76200	3800	0	0	990	0
13	76200	3800	0	0	980	0
14	86600	0	0	0	0	0

Na prikazanu silu potrebno je dodati silu pritiska koja iznosi oko 24700 N.

Drugo rešenje predviđa korišćenje lukova većeg radijusa skretanja sa ciljem da se smanji lokalna koncentracija napona na mestima promene pravca naftovoda. Odabrani su lukovi radijusa skretanja 1500 mm umesto postojećih 320 mm. Rezultati proračuna dati su u tabeli 7.

Tabela 7. Rezultati proračuna (lukovi 1500 mm)

Slučaj opterećenja	Maksimalni Napon [Mpa]	Dozvoljeni napon [Mpa]	Odnos [%]
L1	119,3	181,0	56,7
L2	52,6	173,7	30,3
L3	82,5	217,2	37,9

Rezultati pokazuju da naftovod u ovakvoj izvedbi zadovoljava zahteve standarda ASME B31.4 i nije preopterećen. U ovom slučaju na naftovodu imamo samo dva anker bloka, na početku i kraju linije. Sile koje deluju na anker blokove date su u tabeli 8.

Tabela 8. Sile i momenti na anker blokovima

Anker blok	F _{AX} N	F _{LAT} N	F _{VERT} N	M _{B1} Nm	M _{B2} Nm	M _T Nm
1	85600	0	0	0	0	0
2	86600	0	0	0	0	0

Na prikazanu silu potrebno je dodati silu pritiska koja iznosi oko 24700 N.

8. ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni proračunom pokazali su da cevovod Ve-247 u izvedbi predloženoj projektom nezadovoljava zahteve standarda ASME B31.4 i da je izložen preopterećenju. Preopterećenje se manifestuje velikim koncentracijama napona na mestima promene pravca naftovoda. Predložena su dva moguća rešenja problema preopterećenja naftovoda.

Prvo rešenje podrazumevalo je ugradnju anker blokova na mestima skretanja naftovoda. Ovo rešenje zahtevalo bi ugradnju dodatnih 12 anker blokova, na koje bi delovala sila od približno 100 kN po anker bloku. Ovo predstavlja značajan investicioni trošak i zahteva obimne dodatne građevinske radove. Izvedba sa anker blokovima iako rešava problem preopterećenja nije ekonomski isplativa.

Drugo rešenje podrazumevalo je korišćenje lukova radijusa skretanja 1500 mm. Zahtevi standard ASME B31.4 zadovoljeni su i u ovom slučaju. Sa ekonomskog aspekta izrada i ugradnja navedenih lukova ne predstavlja veliki investicioni trošak.

Imajući sve ovo u vidu jasno je da je izvedba sa lukovima većih radijusa skretanja bolje rešenje sa tehno-ekonomskog aspekta.

9. LITERATURA

- [1] ASME B31.4 – Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids, American Society of Mechanical Engineers, 2002
- [2] ASTM A106 – Standard specification for seamless carbon steel pipe for high-temperature service, American Society for Testing and Materials, 2000
- [3] NTC NIS – NAFTAGAS D.O.O : Uprošćeni rudarski projekat povezivanja grma bušotina Ve-243 i Ve-247, Novi Sad, 2016.
- [4] Liang-Chaun Peng: Pipe stress Engineering, ASME PRESS, 2009.
- [5] E.W. McAllister: Pipeline rules of thumb, handbook, Gulf publishing, 2002

Kratka biografija:



Igor Milinski rođen je u Novom Sadu 1989. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Energetika i šrpesna tehnika, odbranio je 2018.god.