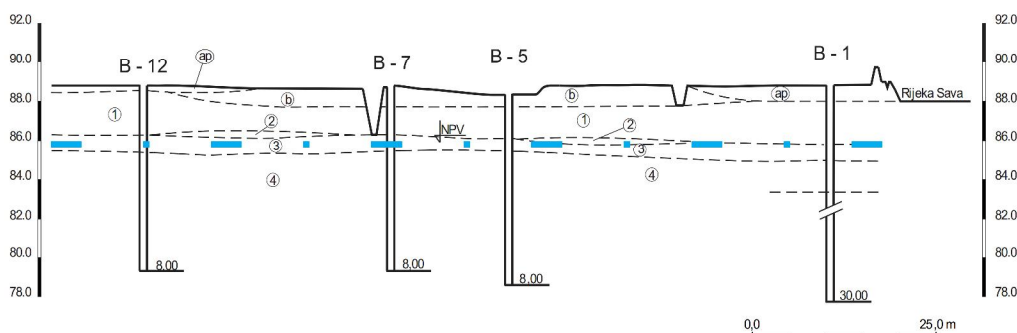


U geološkoj građi terena, do dubine istraživanja, zastupljeni su kvartarni sedimenti pleistocenske (Q_1) i holocenske (Q_2) starosti. Pleistocenske starosti su sedimenti prve riječne terase (t_1) rijeke Save. Holocenskim tvorevinama pripadaju sedimenti poplavnih područja (ap) i barski sedimenti (b) [1], slika 1.



Slika 1. Geološki profil terena
ap. aluvijalno plavni sedimenti, b. barski sedimenti,
1. glinoviti sedimenti, muljeviti sedimenti, 3. pijesak, 4. šljunak

Hidrogeološke karakteristike terena duž trase produktovoda i šire okoline, odraz su njegove geološke građe, odnosno zavisne su o vodno – fizičkim karakteristikama pojedinih litoloških članova koji učestvuju u njegovoj građi. Izdvajaju se: Slabo vodopropusne do vodonepropusne stijene predstavljene glinama i prašinstim sedimentima koji se prostiru od površine terena do dubine od 3,0 – 5,0 m. Prema hidrogeološkoj funkciji, predstavljaju povlatni hidrogeološki izolator. Dobro vodopropusne stijene prostiru se u podini glina i prašinstih sedimenata. To su pijesci i šljunci. Prema hidrogeološkoj funkciji, čine kolektor podzemnih voda. Izdan podzemnih voda formirana je u šljunkovito – pjeskovitim stijenama intergranularne poroznosti sa veoma visokim vrijednostima koeficijenta filtracije koje su u granicama po USBR: $k = 1,89 \times 10^0 - 4,50 \times 10^{-3}$ cm/s.

3. GEOTEHNIČKE KARAKTERISTIKE TERENA

Za definisanje geotehničkih karakteristika terena urađeno je 12 istražnih bušotina, od kojih 11 bušotina dubine oko 6,0 m, a 1 bušotina na obali rijeke Save dubine 30,0 m. U bušotinama su urađeni opiti SPT-a i uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja, tabela 1. Obim istraživanja je zadovoljavajući da se izdvoje geološke sredine i definišu njihove geomehaničke karakteristike. Korišteni su rezultati istraživanja za bušotine koje se nalaze na trasi naftovoda, dok je bušotina na obali rijeke Save vezana za drugi projekat. Laboratorijska ispitivanja uzoraka tla obuhvatila su određivanje fizičko-mehaničkih karakteristika tla. Urađena su u laboratoriji za mehaniku tla Tehničkog instituta iz Bijeljine, u skladu sa važećim propisima i standardima za laboratorijsko određivanje fizičko-mehaničkih svojstava uzoraka tla, JUS U.B1., odnosno ASTM standardima. ASTM standard je ekvivalentan BS standardu – BS 1377 – 2 iz 1990. godine. U litološkom pogledu, od površine terena prema dubini prostiru se aluvijalni i barski sedimenti, koji su u površinskom i pripovršinskom dijelu trase, maksimalno do dubine

2,0 m [2]. U početnom dijelu trase prisutni su glinovito prašinsto pjeskoviti sedimenti (OH) grupe, slabovodopropusni do vodonepropusni. U ostalom dijelu trase prostire se glina prašinsto pjeskovita, muljevita, (OH) grupe, moćnosti od 3,0 – 5,0 m, visoko plastična. Osnovni parametri dobijeni laboratorijskim opitima su:

- zapreminska težina $\gamma = 17,0 - 17,37 \text{ kN/m}^3$
- prirodna vlažnost $w = 40,72 - 44,23 \%$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 13 - 14^\circ$
- kohezija $c = 10 - 15 \text{ kN/m}^2$
- koeficijent vodopropusnosti $k = 2,93 - 4,42 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ (opter. 100 – 200 kPa)
- modul stišljivosti $M_s = 2300 - 3929 \text{ kN/m}^2$ (opter. 100 – 200 kPa)

Tabela 1. Pregled izvršenih istražnih radova na dionici naftovoda

Broj bušotine	Dubina (m)	Uzorci		SPT	Nivo podz. vode (m)	Napomena
		Neporem.	Poremeć.			
B – 1	30,00	1	11	13	5,20	Na obali r. Save
B – 2	5,00	1	2	3	2,80	Na trasi
B – 3	5,00	2	-	4	1,27	Na trasi
B – 4	5,00	3	-	3	2,70	Na trasi
B – 5	8,00	2	2	4	2,86	Na trasi
B – 6	8,00	1	3	4	3,20	Na trasi
B – 7	8,00	2	2	4	4,47	Na trasi
B – 8	8,00	2	2	4	3,37	Na trasi
B – 9	5,00	1	2	3	2,08	Na trasi
B – 10	8,00	1	3	4	1,30	Na trasi
B – 11	5,00	2	-	4	1,95	Na trasi
B – 12	8,00	-	4	4	1,80	Na trasi

Neposredno ispod ovog sloja prostire se glina (CL – CH) i (CL – CI) grupe. To je prašinsto pjeskovita glina, od niske do visoke plastičnosti, tvrda, žute do smeđe boje vodonepropusna. Parametri dobiveni laboratorijskim opitima su sljedeći:

- zapreminska težina $\gamma = 18,5 - 19,00 \text{ kN/m}^3$
- prirodna vlažnost $w = 22,32 - 25,38 \%$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 16 - 17^\circ$
- kohezija $c = 16 - 17 \text{ kN/m}^2$
- koeficijent vodopropusnosti $k = 1,54 - 4,61 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ (opter. 100 – 200 kPa)
- modul stišljivosti $M_s = 4500 - 5000 \text{ kN/m}^2$ (opter. 100 – 200 kPa)

Niži sloj je sloj prašine (MH) grupe i prašine muljevite (MI – MH). Ne prostire se kontinuirano duž trase. Na početnom dijelu trase sloj je u površinskom dijelu terena, a dalje postepeno ide do dubine oko 5,0 m. Može se reći da je duž trase sočivastog karaktera, ali posmatrano šire njegovo rasprostranjenje nije zanemarujuće. Moćnosti je do 1,0 m. Prašine je pjeskovita, visoko plastična, tvrda, žute do sive boje, a prašina muljevita je takođe pjeskovita, srednje do visoke plastičnosti, meka, sive boje. Parametri za ove sedimente su sljedeći:

- zapreminska težina $\gamma = 19,33 - 19,71 \text{ kN/m}^3$
- prirodna vlažnost $w = 27,19 - 32,69 \%$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 14 - 23,5^\circ$

- kohezija $c = 10 - 12 \text{ kN/m}^2$
- koeficijent vodopropusnosti $k = 5,20 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ (po USBR)
- koeficijent vodopropusnosti $k = 2,33 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ (opterećenje 100 – 200 kPa)
- modul stišljivosti $M_s = 4073 - 6410 \text{ kN/m}^2$ (opter. 100 – 200 kPa)

Pijesak prašinst (SW – SM) grupe registrovan je u većem dijelu trase, u terasnim sedimentima na dubini od 3,5 – 7,0 m. Moćnosti je uglavnom od 1,0 – 2,0 m, dobrih filtracionih karakteristika, zavodnjen, rastresit do srednje zbijen. Laboratorijski parametri se kreću u granicama:

- zapreminska težina $\gamma = 18,16 - 18,99 \text{ kN/m}^3$
- prirodna vlažnost $w = 2,95 - 3,67 \%$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 29 - 36^0$ (računato iz SPT)
- kohezija $c = 5 - 7 \text{ kN/m}^2$
- koeficijent vodopropusnosti $k = 1,08 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ (po USBR)
- modul stišljivosti $M_s = 10000 \text{ kN/m}^2$ (opterećenja 100 – 200 kPa)

Šljunak pjeskovit (GW) grupe predstavlja podinu navedenim sedimentima. Nije konstatovan na svim bušotinama i pojavljuje se na različitim dubinama. Na bušotini B – 1, koja je na obali rijeke Save, pojavljuje se na dubini 16,7 m. Neujednačene je granulacije, srednje do dobro zbijen, vodonosan, dobrih filtracionih karakteristika. Osnovni parametri su sljedeći:

- zapreminska težina $\gamma = 18,58 - 21,87 \text{ kN/m}^3$
- prirodna vlažnost $w = 2,95 - 17,92 \%$
- ugao unutrašnjeg trenja $\varphi = 35 - 39^0$ (računato iz SPT)
- kohezija $c = 0 \text{ kN/m}^2$
- koeficijent vodopropusnosti $k = 1,35 \times 10^0 - 6,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ (po USBR)
- modul stišljivosti $M_s = 37250 - 47300 \text{ kN/m}^2$ (računato iz SPT)

Analiza geotehničkih uslova za trasu naftovoda izvršena je na osnovu rezultata geotehničkih istražnih radova. Trasa naftovoda položiće se na tlo izgrađeno glinom. Iskop rova ostvariće se u glini. Prema građevinskim normama GN 200, teren trase naftovoda kao radna sredina, pripada II – III kategoriji iskopa. Osnovna seizmičnost terena utvrđena je na osnovu Seizmološke karte SFRJ iz 1987. godine. Maksimalni intenzitet očekivanih zemljotresa je $I = 6^0$ MSK – 64 i vjerovatnosti pojave 63% za povratni period od 50 godina, a za povratne periode od 100 i 200 godina, maksimalni intenzitet očekivanih zemljotresa je $I = 7^0$ MSK – 64 i vjerovatnosti pojave od 63%. Za povratni period od 500 godina maksimalni intenzitet očekivanih zemljotresa je $I = 8^0$ MSK – 64 uz vjerovatnost pojave od 63%. Uticaj geomehaničkih uslova terena na seizmički stepen, određen je primjenom metode S.V. Medvedeva[3]. Relativni priraštaj seizmičkog intenziteta za uticaj kvaliteta tla, koji uzima u obzir karakteristike stijena određuje se preko formule:

$$n_1 = \alpha e^{-0,04h^2} \quad n_1 = 0,75 \times 2,95 = 2,2125$$

gdje je:

- n_1 – priraštaj stepena intenziteta seizmičnosti
- h – dubina do nivoa podzemne vode 5,2 m
- α – koeficijent koji zavisi od sastava stijena koje se nalaze ispod nivoa podzemne vode, za glinovito-pjeskovita tla $\alpha = 1$, a za šljunkovite stijene $\alpha = 0,5$. Usvojeno 0,75.

Dobivena vrijednost za priraštaj stepena seizmičnosti u zavisnosti od vrste stijena i prisustva podzemnih voda, odgovara VII grupi – tla zasićena vodom (pijesak, prašina pjeskovita), gdje prirast stepena seizmičnosti $2,0 - 2,4^0$.

4. GEOTEHNIČKI USLOVI ISKOPA ZATRPAVANJA ROVA

Dionica naftovoda je dužine 6,7 km, a iskop rova za polaganje naftovodnih cijevi je do dubine 1,8 m. Radovi će se izvoditi i završiti uglavnom u glinovitim i djelimično pjeskovitim sedimentima. Nivo podzemne vode je od 3,0 – 5,0 m, mada je u pojedinim dijelovima tokom godine, nivo bliže površini terena. Ppriliv vode kroz sloj potopljene gline je zanemarljiv, dok je iz sloja šljunka i pijeska vrlo veliki. Iskopom kroz sloj pijeska treba očekivati hidraulički slom i pojavu tečnog pijeska. U odnosu na utvrđene nivoje podzemne vode, realno je očekivati da će najvećom dužinom cijev biti položena u zonu oscilacije nivoa podzemne vode. Stabilnost kosine u glinama može se održati u nagibima 1,5 : 1 ukoliko je nivo podzemne vode u podtlu cijevi, odnosno da se iskopi najvećim dijelom rade iznad nivoa[4].

Analizom stabilnosti iskopa rova za dati nagib po metodi Bishop-a dobivena je vrijednost faktora sigurnosti $F_s = 1,368$. Ukoliko se radovi iskopa rova budu izvodili u vrijeme kada nivo podzemne vode zahvati zonu rova, uslovi iskopa će se znatno mijenjati. Preporuka je da se iskop rova na cijeloj trasi izvodi u sušnom periodu. Prije iskopa rova u dijelu poljoprivrednog zemljišta potrebno je pažljivo ukloniti i izvan radnog pojasa deponovati humusni sloj, kako ne bi došlo do oštećenja njegove strukture usljed rada građevinskih mašina. U sloju održavati vlažnost da se zadrže prirodne karakteristike, te isti vratiti na trasu rova, nakon njegovog zatrpavanja.

Materijal iz iskopa može se odlagati dužinom rova ali tako da težina iskopanog materijala ne naruši stabilnost kosina rova. Odlaganje materijala iz iskopa potrebno je izvesti na udaljenosti minimalno od 1,5 m od ivice rova. Zatrpavanje rova potrebno je izvršiti nakon geodetskog snimanja položaja cijevi. Cijev je neophodno zaštititi sitnozrnim nevezanim materijalom do visine 10,0 cm iznad tjemena cijevi. Potrebno je izvršiti zbijanje materijala da se dužinom cijevi ne bi formirali nekontrolisani pravci procjednih voda. Ostatak rova treba zatrpati materijalom iz iskopa uz uslov zbijanja i kontrole zbijenosti po slojevima.

Zbijenost će se definisati u odnosu na postojeće stanje korištenja zemljišta te na postojeće i planirane objekte sa kojima se podzemno ukršta. Za poljoprivredno zemljište potrebno je obezbijediti zbijenost do nivoa samoniklog tla, što je oko 80 do 85% standardnog Proctor-a.

Za zone saobraćajnica vrijednosti se određuju po standardnom Proctor-u, zavisno od kategorije saobraćajnice. U pojasu poljoprivrednih površina nakon zatrpavanja rova i postavljanja humusnog pokrivača, potrebno je ukoliko dozvoljava konfiguracija terena osigurati ravnomjerne pofužne nagibe površinskog dijela rova da bi se spriječilo skupljanje površinske vode i zabarenje terena. Na terenu ne postoje prirodna ograničenja za izgradnju naftovoda, ali postoje ranije stvoreni uslovi koji predstavljaju vještačka ograničenja.

To su uglavnom magistralni i regionalni linijski objekti podzemnog i nadzemnog tipa, zatim lokalni putevi, kanalizacija i slični objekti. Ograničenja na ovakvim dionicama prevazilaze se tehnologijom građenja što iziskuje povećane troškove u toku građenja.

5. ZAKLJUČAK

Za potrebe rekonstrukcije dionice naftovoda u cilju dopune njegove namjene u transportu naftnih derivata u postojećem koridoru od Terminala Bosanski Brod do granice na rijeci Savi, izvedena su geotehnička istraživanja terena.

U litološkom profilu izdvojeni su glinoviti sedimenti, muljeviti sedimenti, pijesak, i šljunak pjeskovit, za koje su određene fizičko-mehaničke karakteristike.

Izvođenje radova najvećim dijelom će biti u glinama ili glinovito pjeskovitim sedimentima u dijelovima trase gdje zaliježu bliže površini terena. Stabilnost kosine u glinama može se održati u nagibima 1,5 : 1 ukoliko je nivo podzemne vode u podtlu cijevi, odnosno da se iskopi najvećim dijelom rade iznad nivoa. Po metodi Bishop-a za dati nagib, vrijednost faktora sigurnosti $F_s = 1,368$.

Tokom zatrpavanja rova kontrolisati zbijenost materijala, nakon čega će se na poljoprivrednim površinama kroz koje prolazi naftovod revitalizovati humusni sloj i sve vratiti u približno prvobitno prirodno stanje terena.

LITERATURA

- [1] Laušević, M., Jovanović, Č., Mojičević, M.: Osnovna geološka karta SFRJ, list Dobož, R 1:100000 i Tumač OGK, Savezni Geološki Zavod, Beograd, **1980**.
- [2] Elaborat o geotehničkim istraživanjima za rekonstrukciju dionice naftovoda s dopunom namjene transportom naftnih derivata u postojećem koridoru od Terminala Bosanski Brod do granice na rijeci Savi, Tehnički institut, Bijeljina, **2010**.
- [3] Đurić, N.: Osnove geologije i inženjerske geologije, Građevinski fakultet, Subotica, **2009**.
- [4] Đukić, D.: Geotehničke klasifikacije za površinske radove u rudarstvu i građevinarstvu, Rudarski institut, Tuzla, **2004**.

GEOTECHNICAL INVESTIGATION TO SHARE OIL PIPELINE FROM BROD TERMINAL TO THE EXTENT OF THE SAVA RIVER

Summary: Activating oil refinery in Brod, opens space for its connections with the Slavonki Brod regional oil pipeline in Croatia. For this purpose it is necessary to reconstruct the existing oil pipeline, to supplement use in transporting petroleum products. For this purpose, certain geotechnical field research and defined the conditions of excavation and backfilling the trench.

Key words: Oil pipeline, geotechnical investigations, geotechnical conditions, trench excavation