



**CESTAL, INŽENIRING IN SVETOVANJE, D.O.O.**

Podpeška cesta 209, Vnanje Gorice

1351 Brezovica pri Ljubljani

Mobi: 041 665 271

E-mail: [cestral.doo@gmail.com](mailto:cestral.doo@gmail.com)

**Geološko-geotehnični  
elaborat:**

**za dograditev in nadvišanje visokovodnega  
nasipa desni breg Mure ( Bistrica)**

---

**Naročnik:**

**iS Projekt d.o.o.**  
Pot za Brdom 102  
1000 Ljubljana

**Faza:**

IzN

**Naročilo/pogodba:**

pogodba št.15-S/22 z dne 21.09.2022

---

**Številka poročila:**

P 236/2023-CE

**Datum:**

15.04.2023

---

**Pripravila:**

**Ciril Erbežnik**, univ. dipl. inž. grad.

**Direktor:**

**Gregor Erbežnik**

## VSEBINA

### TEKST

1.	UVOD IN OSNOVNI PODATKI .....	3
2.	TERENSKA RAZISKOVALNA DELA .....	3
2.1	Sondažno vrtanje.....	3
2.1.1	Standardni penetracijski preiskusi	3
2.1.2	Nalivalni preiskusi	5
2.1.3	Presiometerske preiskave	5
2.2	Sondažni razkopi.....	5
2.3	Dinamično sondiranje tal .....	5
3.	LABORATORIJSKE PREISKAVE .....	5
4.	INŽENIRSKO GEOLOŠKE RAZMERE NA OŽJEM OBMOČJU DOGRADITVE IN NADVIŠANJA NASIPA .....	6
4.1	Pregled dosedaj opravljenih raziskav .....	7
4.2	Geomorfološke razmere .....	7
4.3	Pregled inženirsko geoloških in hidrogeoloških razmer v območju trase portipoplavnega nasipa.....	8
5.	SEIZMIČNOST TERENA.....	10
6.	NOSILNOST TEMELJNIH TAL.....	11
6.1	Nadvišanje nasipov .....	11
7.	ZAKLJUČKI .....	12
6.	PONIKALNI PREISKUSI.....	23
7.	PRESIMETERSKE PREISKAVE.....	24
8.	DINAMIČNO SONDIRANJE TAL .....	25

### PRIOLOGE

1. FOTO DOKUMENTACIJA
2. RISBE
3. POPIS VRTIN
4. LABORATORIJSKE PREISKAVE
5. SONDAŽNI RAZKOPI
6. PONIKALNI PREISKUSI
7. PRESIMETERSKE PREISKAVE
8. DINAMIČNO SONDIRANJE TAL

## 1. UVOD IN OSNOVNI PODATKI

Podjetje CESTAL d.o.o. je za naročnika, iS Projekt d.o.o., izdelalo geološko-geotehnični elaborat za dograditev in nadvišanje visokovodnega nasipa na desnem bregu reke Mure (Bistrica) v občini Ljutomer. V projektni nalogi je bil podan okvirni obseg potrebnih terenskih in laboratorijskih preiskav na osnovi katerih se je izdelal program preiskav.

Osnovni namen geomehanskih raziskav je bil ugotoviti sestavo tal, izvesti preiskave in določiti karakteristike zemljin na območju dograditve in nadvišanja visokovodnega nasipa.

## 2. TERENSKA RAZISKOVALNA DELA

Terenska raziskovalna dela so obsegala izvedbo desetih geomehanskih vrtin, dolžine 10 m. V vsaki vrtini sta bila izvedena po dva standardna penetracijska testa. V vrtinah so se izvedli štirje nalivalni preiskusi in štiri presiometrijske preiskave. Na območju obstoječega nasipa in predvidene dograditve je bilo izvedenih 80 sondažnih razkopov do globine cca 2,5 m. Vzduž obstoječega nasipa je bilo izvedenih tudi 20 preiskav dinamičnega sondiranja tal.

### 2.1 Sondažno vrtanje

Raziskovalno vrtanje je izvedlo podjetje Geodrill d.o.o.. Vrtanje je potekalo rotacijsko, na suho in z jedrovanjem. Sondažno vrtanje se je izvedlo med 02.12. in 08.12.2022. Med vrtanjem so bile na posameznih globinah izvedene preiskave SPT, v štirih vrtinah so bili izvedeni nalivalni preiskusi in štiri preiskave s presiometrom. Po končanem vrtanju je bil opravljen popis jeder, napravljena fotodokumentacija, odvzeti vzorci materiala za laboratorijske preiskave in geodetsko posneta ustja vrtin. Vse vrtine so bile izvrtane do globine 10 m.

#### 2.1.1 Standardni penetracijski preiskusi

S standardnimi penetracijskimi preizkusi ocenjujemo gostotno stanje nevezanih zemljin in enoosne tlačne trdnosti koherentnih zemljin ter ocenimo strižne karakteristike ter module stisljivosti tal. Rezultate podajamo v obliki števila N (N je število udarcev, potrebnih, da se penetracijska igla zabije 30,5 cm globoko, v kolikor se s 60 udarci igla ne zabije 30,5 cm je podana globina ugreza pri 60 udarcih kar imenujemo penetrabilnost).

SPT so se izvajali v glineno meljnih zemljinah v peskih in prodih. Preračunane vrednosti so podane v tabeli št.2, pri tem smo upoštevali koeficient korekcijskega prenosa energije  $k_{60}$ , ki nam ga je podal lastnik vrtalne garniture ( $k_{60} = 0,85$ ).

Pri določitvi karakteristik zemljin smo upoštevali standard SIST EN 1997-1, ki obravnava področje geotehnike. Tu se najprej reducira število udarcev, da se dobi **normirano** število udarcev, potem se na podlagi korelacije med indeksom gostote in normiranega števila udarcev oceni strižni kot zemljine in gostotno stanje za nekoherentne zemljine in enoosno tlačno trdnost za koherentne zemljine. Vrednotenje rezultatov SPT se izvaja s pomočjo tabele 1.

Tabela 1

Št. ud. za 1 čev. = 30,5 cm penetr. N	Nekohezivna zemljina			Kohezivna zemljina			
	Relativna gostota RD [%]	Strižni kot ( $\varphi$ )	Stanje gostote	Odpor proti prodiranju gostote $C_{kd}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	Št. ud. za 1 čev. = 30,5 cm penetr. N	Konsistenca	Enoosna tlačna trdnost [kg/m <sup>2</sup> ]
4	0-20	28	zelo rahlo	> 5	2	Židka do lahkogn.	0,25
4-10	20-40	30	rahlo	5-10	2-4	Lahkogn.	0,25-0,50
10-30	40-60	36	srednje gosto	10-15	4-8	Srednje gnetna	0,50-1,00
30-50	60-80	41	gosto	15-30	8-15	Težko gnetna	1,00-2,00
50	80-100	44	zelo gosto	30-60	15-30	Poltrdna	2,00-4,00
				> 60	30	Trdna	> 4,00

Tabela 2: Vrednotenje rezultatov dinamične standardne penetracije

Vrtina	h (m)	N <sub>mer</sub>	$\gamma$	$\sigma'$	C <sub>N</sub>	$\lambda$	$\kappa$	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	$\varphi$ (°)	Enoosna tlačna trdnost (kN/m <sup>2</sup> )	Konsi- stenca	Gostotno stanje
L1	2	7	16	32	1,29	0,75	0,85	5,8	29			rahlo
L1	7	22	16	91	1,03	0,95	0,85	18,3	35			srednje gosto
L2	4	4	16	64	1,14	0,85	0,85	3,3	27			zelo rahlo
L2	6	19	16	84	1,06	0,95	0,85	16,3	34			srednje gosto
L3	3,5	21	16	53	1,19	0,75	0,85	15,9	34			srednje gosto
L3	7	15	16	88	1,04	0,95	0,85	12,6	31			srednje gosto
L4	4	20	16	64	1,14	0,85	0,85	16,5	34			srednje gosto
L4	7	14	16	94	1,02	0,95	0,85	11,5	31			srednje gosto
L5	3	10	18	54	1,18	0,75	0,85	7,5	29			rahlo
L5	7	23	16	94	1,02	0,95	0,85	18,9	35			srednje gosto
L6	4	24	16	64	1,14	0,85	0,85	19,8	35			srednje gosto
L6	8	22	16	104	0,99	0,95	0,85	17,6	34			srednje gosto
L7	3	47	16	52	1,19	0,75	0,85	35,6	41			gosto
L7	7	21	16	112	0,96	0,95	0,85	16,3	34			srednje gosto
L8	4,5	18	16	72	1,10	0,85	0,85	14,3	33			srednje gosto
L8	8	15	16	107	0,98	0,95	0,85	11,9	31			srednje gosto
L9	3	26	16	52	1,19	0,75	0,85	19,7	35			srednje gosto
L9	8	13	16	112	0,96	0,95	0,85	10,1	30			srednje gosto
L10	4	20	16	68	1,12	0,85	0,85	16,2	34			srednje gosto
L10	6,2	10	16	107	0,98	0,95	0,85	7,9	29			rahlo

### 2.1.2 Nalivalni preiskusi

Na obravnavanem odseku so bili izvedeni trije nalivalni preiskusi in sicer v vrtinah L2(V5), L4(V7) in L7(V10). Testi so bili izvedena na globini 3 m, v pesku in produ. Izračunane vrednosti koeficientov prepustnosti se gibajo med  $k = 7 \cdot 10^{-5}$  m/s v produ do  $2,46 \cdot 10^{-6}$  m/s v pesku.

### 2.1.3 Presiometriške preiskave

Presiometriški preiskavi sta bili izvedeni v vrtinah L1(V3), L2(V5), L4(V7) in L7(V10) na globini 2 m do 3 m. Rezultati meritev kažejo, da je zemljina (peščen melj), na lokaciji vrtnice v rahlem konsistenčnem stanju, medtem ko je prod v vrtni v srednje gostem stanju.

## 2.2 Sondažni razkopi

Sondažni razkopi so se izvajali vzdolž celotnega odseka protipoplavnega nasipa. Lokacije sondažnih razkopov so prikazane na pregledni situaciji (priloga 1).

S sondiranjem je ugotovljeno, da je obstoječi protipoplavni nasip zgrajen iz meljno peščenih zemljin, mestoma se pojavljajo tanjše plasti bolj glinenega materiala. Na območju sondiranja raščenih tal je ugotovljena debelina preperinskega pokrova koherentnih zemljin, nad prodnatim materialom, dokaj tanka.

## 2.3 Dinamično sondiranje tal


Izvedeno je bilo šest preiskav. Na osnovi pridobljenih rezultatov je ugotovljeno, da so obstoječi nasipi, zgrajeni iz meljnih zemljin v rahlem do zelo rahlem stanju, v primeru večje prisotnosti gline pa je le ta v srednje gnetnem konsistenčnem stanju. Raščeni prodi so pretežno rahli do srednje gosti.


## 3. LABORATORIJSKE PREISKAVE

Za potrebe projektiranja in določitev karakteristik zemljin je bilo preiskanih 7 vzorcev in sicer 4 vzorci produ in glineno meljnega peska, na katerih je bila opravljena preiskava zrnivosti za izračun vodoprepustnosti in 3 preiskave zemljine na katerih so bile opravljene preiskave naravne vlage, prostorninske teže, določene konsistenčne meje, izvedene trdnostne karakteristike zemljine, določen modul stisljivosti in količnik vodoprepustnosti. Vse preiskave so bile opravljene v laboratoriju IRGO d.o.o..

Rezultati so podani v prilogi poročila.

Zbirna tabela laboratorijskih preiskav

 GEOMEHANSKI LABORATORIJ				PREGLEDNICA PARAMETROV ZEMLJIN Lokacija: LJUTOMER Datum raziskav: December, 2022 - Januar, 2023													
Vzorec					Naravna vlaga  w	Prost. teža  γ	Gostota		Konsistenčni mej		Indeks plast.  I <sub>p</sub>	Indeks kons.  I <sub>c</sub>	Zrnavost			Trdnost zemljine	
Zap. št.	Oznaka vzorca	Oznaka vrtnice	Interval globine	Opis vzorca USCS			Naravna  ρ	Suha  ρ <sub>d</sub>	Plast.  w <sub>p</sub>	Židk.  w <sub>L</sub>			Melj. glina < 0,063 mm	Pesek > 0,063 mm < 2,0 mm	Prod. gruč >2,0mm	Direktni strig	
																Vrhunska stržna trdnost	Intakten
			(m)		(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(Mg/m <sup>3</sup> )	(Mg/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	-	(%)	(%)	(%)	q' (kPa)	c' (kPa)
1	L22_54_1	V-1	2,2-2,5	CH, mastna glina	35,1	18,35	1,87	1,38	24	59	35	0,69	86,57	13,24	0,19	15,5	10
2	L22_54_2	V-1	5,5-6,0	GW-GM, dobro graduiran prod z meljem in peskom									5,44	25,42	69,14		
3	L22_54_3	V-3	2,0-2,3	CH, mastna glina	65,5	15,73	1,60	0,97	36	83	46	0,37				18,5	12
4	L22_54_4	V-4	1,5-2,0	GP-GM, slabo graduiran prod z meljem in peskom									6,63	27,53	65,84		
5	L22_54_5	V-7	2,1-2,5	GP-GM, slabo graduiran prod z meljem in peskom									11,32	31,53	57,15		
6	L22_54_6	V-8	3,3-3,5	CH, mastna glina	44,8	15,11	1,74	1,21	31	72	41	0,67				18,5	6
7	L22_54_7	V-10	2,5-3,0	CL, peščena pusta glina									53,65	37,87	8,48		



IRGO Consulting  
d.o.o.

GEOMEHANSKI LABORATORIJ

PREGLEDNICA PARAMETROV ZEMLJIN

Lokacija: LJUTOMER

Datum raziskav: December, 2022 - Januar, 2023

Vzorec					Vlaga  w	Gostota  ρ	Deformabilnost in vodoprepustnost zemljine							
Zap. št.	Oznaka vzorca	Oznaka vrtnice	Interval globine	Opis vzorca USCS			Modul stisljivosti Eoed (kPa)				Vodoprepustnost Spremenljiv hidravlični padec k <sub>v0</sub> (cm/s)			
							Obremenilne stopnje σ (kPa)				Obremenilne stopnje σ (kPa)			
							50	100	200	400	50	100	200	400
-	-	-	(m)	-	(%)	(Mg/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)
1	L22_54_1	V-1	2,2-2,5	CH, mastna glina	35,1	1,78	2000	2174	3226	4878	1,86E-08	1,59E-08	7,06E-09	9,31E-10
2	L22_54_3	V-3	2,0-2,3	CH, mastna glina	56,4	1,60	538	1351	2174	3226	2,41E-08	2,12E-08	1,24E-08	5,72E-09
3	L22_54_6	V-8	3,3-3,5	CH, mastna glina	42,1	1,73	1563	2273	3571	5000	8,36E-08	5,85E-08	4,22E-08	3,21E-08

### Komentar rezultatov laboratorijskih preiskav

Pri vrtnanju so bili ugotovljeni trije karakteristični tipi zemljin: glineno meljne zemljine z manjšim deležem peska, pesek s primesmi melja in peščen prod.

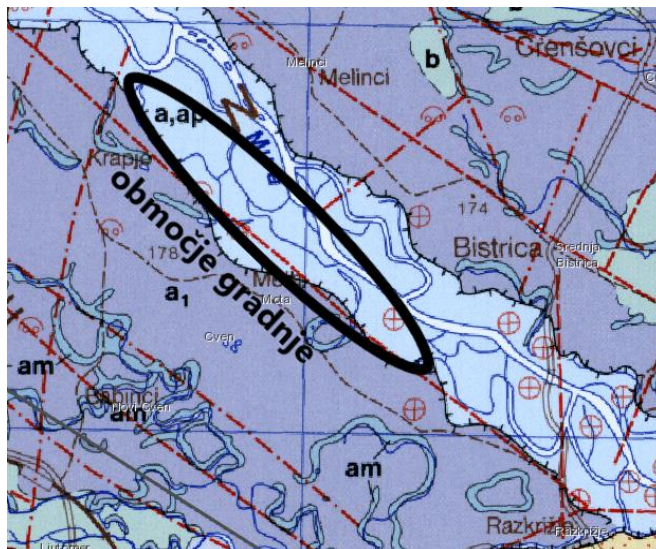
Na glinenih zemljinah so bile izvedene preiskave strižnih karakteristik, stisljivosti in določen koeficient vodoprepustnosti. Ugotovljeno je, da so glineno meljne zemljine, ob ustrezni zgoščenosti, slabo prepustne, medtem ko je peščeno prodni material zelo dobro prepusten. Izračunana prepustnost na osnovi sejalne analize je  $k = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  oziroma  $7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  (V4) in  $6,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  oziroma  $7,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  (R2).

## 4. INŽENIRSKO GEOLOŠKE RAZMERE NA OŽJEM OBMOČJU DOGRADITVE IN NADVIŠANJA NASIPA

V decembru 2022 smo, vzhodno od Veržeja in severovzhodno od naselja Krapje in Mota do občinske meje z občino Razkrižje, inženirsko geološko kartirali teren v območju trase obstoječega protipoplavnega nasipa reke Mure, za potrebe rekonstrukcije nasipa. Nasip ščiti desni breg reke Mure in omenjena naselja pred poplavno vodo. V območju predvidene rekonstrukcije nasipa je bilo skartirano ožje območje trase. Uporabili smo tudi podatke 10 geomehanskih vrtin izvrtanih za potrebe preiskav tal nasipa. Na osnovi terenskih preiskav in pregleda dokumentacije dosedanjih geoloških preiskav obdelanega ozemlja podajamo poročilo o geoloških in inženirsko geoloških razmerah na trasi protipoplavnega nasipa s



priloženo inženirsko geološko karto območja. Kartiranje je bilo izvedeno na topografskih podlagah merila 1:5000.



Slika 1: Geološka karta za obravnavano območje

#### 4.1 Pregled dosedaj opravljenih raziskav

Teren v območju predvidene trase rekonstrukcije protipoplavnega nasipa je bil geološko preiskan v okviru izdelave osnovne geološke karte SFRJ (v nadaljnjem besedilu OGK), za list Čakovec (izdelane v letu 1998). Rezultati preiskav so podani na geološki karti M 1:100:000 in v tolmaču h geološki karti.

Ugotovitve teh preiskav smo upoštevali tudi pri izdelavi predmetnega poročila.

#### 4.2 Geomorfološke razmere

Območje, po katerem je speljana trasa protipoplavnega nasipa med Krapjem, Moto, do meje z občino Razkrižje, pripada Murski ravnini, prekriti s kvartarnimi naplavinami. Teren rahlo pada od Krapja proti Razkrižju. Nasip se na območju Krapja nahaja na n.m.v. 180 m, na meji z občino Razkrižje pa na n.m.v. 172,5 m. Speljan je 0,6 km do 1,4 km jugozahodno od obstoječe struge reke Mure.

Poplavni teren med strugo reke in protipoplavnim nasipom, predstavlja z gozdom zaraščeno ozemlje z redkimi posameznimi, nad okoliški teren dvignjenimi travnatimi jasami. Prepredajo ga številni mrtvi rokavi-mrtvice. Nasip sledi nizkim terasam reke Mure ter globljim in izrazitejšim mrtvicam na terenu. Posamezne mrtvice so bile ob pregledu napolnjene s stoječo vodo, večina pa je bila trenutno suhih.

Teren ob nasipu na strani naselja Krapje, Mota je bil pred izgradnjo nasipa tudi poplavno območje. Tudi na tem delu ozemlja smo opazili več mrtvic, ki pa nastopajo kot plitvi jarki med njivami. Teren ob nasipu, je na strani naselja, kultiviran. Prevladujejo z njivami obdelana kmetijska zemljišča.

Celotno preiskano ozemlje pripada območju Murske ravnine, katere tla, po podatkih OGK, gradijo rečni sedimenti pretežno holocenske starosti. Na pliocenski plasteh je na Murski ravnini odložena 10 do 20 m debela plast peščenega proda in peska, ki ga v tolmaču k OGK

opisujejo kot **murski prod** (**oznaka a<sub>1</sub>** na geol. karti Čakovec M 1:100.000). Murski silikatni peščeni prod sestavljajo prodniki kvarcita, kremena, metamorfnih in vulkanskih kamenin pomešani z do 30% kremenovega peska. V pesku se podrejeno, poleg kremena, pojavljajo tudi drobcji drugih kamnin.

Na murskemrodu (**a<sub>1</sub>**), na preiskanem območju, po podatkih OGK leži rumenkasto rjavkasta meljasta peščena glina in peščen melj (**oznaka g** na geol. karti) ter kremenov pesek. V sestavi meljasto glinaste in peščene zemljine prevladuje kremen, prisotne so še sljude, glinenci in v manjšem odstotku tudi druge metamorfne kamnine. Mrtvi rokavi-mrtvice so zapolnjeni z meljasto glinastim materialom in organsko glino (**oznaka am** po OGK). Na poplavnem območju ob reki Muri, med nasipom in strugo reke se odlaga peščeno prodnati in peščeno meljasti aluvialni material, ki ponekod prehaja v organsko glino (**oznaka a,ap** po OGK).

### 4.3 Pregled inženirsko geoloških in hidrogeoloških razmer v območju trase portipoplavnega nasipa

#### Inženirsko geološka zgradba

Od občinske meje z občino **Razkrižje do km 5,600 jugovzhodno od vasi Mota**, trasa protipoplavnega nasipa poteka po rumenkasto rjavi peščeni meljasti glini in peščenem glinastem melju (**gm**) z redkimi pojavi rumenkasto rjavega kremenovega meljastega peska (**mp**). Pasovi kremenovega meljastega peska so med glinasto meljasto zemljino široki največ do 100 m. V pretežnem delu odseka nasip sledi strugam mrtvic (**m**). Na delu med km 2,400 do km 3,500 nasip poteka po nizki, okoli 1 m visoki murski terasi. Od km 3,500 do km 5,600 poteka globoka struga mrtvice z bajerji stoječe vode in zamočvirjenimi tlemi na nezavodnjenih odsekih.

Pod površjem je glinasto in peščeno meljasta plast (**gm**) debela največ 2,0 m in pretežno leži na silikatnem peščenem murskemrodu (**prd**). Z vrtinama L1, na 2,45 km trase in L8 na km 4,400 smo ugotovili pod 1,5 m debelim nasipom melja, od 1,3 m do 2,0 m debelo plast zaglinjenega peščenega melja in meljaste gline (**gm**). V L1 se v podlagi glinasto meljaste plasti (**gm**) nahaja še 1 m debela plast kremenovega meljastega peska (**mp**) ter pod njo, pod globino 3,8 m silikatni murski prod (**prd**). V vrtini L8 se murski prod nahaja pod globino 3,6 m.

Odseke z meljastim peskom smo v tem delu trase registrirali med km 2,4 in km 2,5, v območju vrtine LV1, in km 3,55 in km 3,65. Ocenjujemo, da se peščena glina in peščen melj (**gm**) v nahajata v težkognetnem do poltrdnem konsistentem stanju. Za kremenov pesek (**mp**) pa predvidevamo, da je v rahlem do srednje gostem gostotnem stanju ter sipek in nekonsolidiran. Silikatni prekonsolidiran murski prod (**prd**) je pod cono preperevanja v gostem gostotnem stanju.

**Severno od vasi Mota, od km 5,6 pa do meje predvidene sanacije protipoplavnega nasipa na km 10,816** smo v podlagi nasipa v glavnem kartirali odseke z rumenkasto rjavim kremenovim meljastim peskom (**mp**) in s silikatnim murskim prodom (**prd**). Med kremenovim peskom in murskim prodom smo opazili tudi krajše odseke z glinastim meljem in meljasto glino (**gm**). Tudi tu ob severovzhodni strani nasipa poteka več daljših strug mrtvic (**m**).

Peščeno podlago z meljastim peskom (**mp**) smo kartirali **med km 4,950 in km 5,600**. Sledi odsek z murskim prodom (**prd**), **med km 5,600 in km 6,100**, kjer smo z vrtino L2 (na km 5,750) pod 2,4 m visokim nasipom peščenega melja, na celotni izvrtani dolžini registrirali



silikatni, peščeni murski prod. V zgornjem delu plasti murskega proda je drobn meljasto peščeni prod s prehodi v bolj peščene odseke z drobnimi prodniki (**prd**). Drobn prod in meljasti kremenov pesek z drobnimi prodniki sledimo do globine 6,2 m. Pod peščenim in drobnim murskim prodoma se nahaja debeli silikatni peščeni murski prod (**prd**).

Ob severovzhodni strani nasipa se nahaja globoka struga mrtvice (**m**) do km 5,600 trase nasipa. Krajši odsek plitve in suhe mrtvice smo opazili še v območju od km 5,850 do km 5,980. V strugi se pojavljajo krajši bajerji stoječe vode in zamočvirjena nepoplavljena tla.

Na območju **med km 6,100 in km 6,440**, smo opazili pas glinastega melja in meljaste gline (**gm**) v trasi nasipa. Sledi **med km 6,440 in km 7,000** odsek s kremenovim peskom (**mp**) v podlagi nasipa. V tem delu trase nasipu na severni strani sledi struga mrtvice (**m**). Z vrtino L3 na km 6,820 smo ugotovili pod 1,4 m debelim nasipom melja, 1,6 m debelo plast sive gline (**gm**), v podlagi katere leži (pod globino 3,0 m), debeli, silikatni, peščeni murski prod (**prd**).

Predvidevamo, da je območje s sivo meljasto glino (**gm**) med km 6,750 in 6,830 omejeno na ozko, zasuto strugo nekdanje mrtvice reke Mure, kjer so se odlagali sedimenti barja. Tako kremenov pesek (**mp**) kot glinasto meljasta plast (**gm**) ležita bodisi direktno na silikatnem peščenem murskemrodu (**prd**) bodisi glinasto peščen melj (**gm**) leži na kremenovem pesku (**mp**).

**Severozahodno od vasi Mota, od km 7,000 do območja opuščene gramoznice, do km 7,900**, se v tleh pod nasipom nahaja odsek s silikatnim peščenim murskim prodom (**prd**). Z vrtino L4 je bil na km 7,000 pod 1,3 m visokim nasipom ugotovljen do globine 2,6 m odsek z drobnim silikatnim peščenim murskim prodom, ki v nekaterih delih prehaja v meljasti kremenov pesek z drobnim prodom (**prd**). V vrtini L5, vrtani na prehodu v odsek s kremenovim peskom, v km 7,950, se je pod nasipom, na globini 1,2 m do 2,0 m nahajala plast glinastega melja (**gm**), globlje, do 4,7 m pa zameljen kremenov pesek z drobnim prodom, pod globino 4,7 m se je nahajal silikatni peščen murski prod (**prd**).

**Med opuščeno gramoznico in Spodnjim Krapjem, med km 7,900 in km 8,850** smo kartirali odsek s kremenovim meljastim peskom (**mp**). Ob nasipu med km 7,900 in km 8,200 na severni strni poteka suha struga mrtvice (**m**). Plast kremenovega peska je odložena na murskemrodu. Predvidevamo, da kremenov pesek predstavlja ostanek odloženih rečnih sedimentov na murskemrodu (**prd**) nekdanje struge reke Mure ali ob poplavnih nanosov. Debelina plasti kremenovega peska verjetno ne presega 2,0 m. Glede na podatke vrtine L5 se med kremenovim peskom verjetno pojavljajo tudi krajši odseki z glinastim meljem (**gm**), v podlagi katerega leži kremenov meljasti pesk.

**Severno od Spodnjega Krapja** se bo sanacija protipoplavnega nasipa zaključila na približno na 10,816 km trase. V tem delu nasip poteka pretežno po prekonsolidiranem, silikatnem, peščenem murskemrodu (**prd**). Na območju med km 10,000 in km 10,100 je na murskemrodu odložena tanjša plast zaglinjenega peščenega melja (**gm**), med km 10,350 do konca obravnavanega odseka pa plast kremenovega meljastega peska (**mp**). Obe plasti predstavljata erozijski ostanek poplavnega zasipa, kjer so peščeno plast odložile tekoče, meljasto plast pa stoječe murske vode. Z vrtinami L6 v km 8,900, L7 v km 9,100, L9 v km 9,550 in L10 v km 110,150 je bilo ugotovljeno, pod okoli 2 m debelim nasipom zaglinjenega melja, nad nivojem podtalnice (NPV), zameljen močno peščen, droben do srednji, silikatni murski prod, ki z globino prehaja v debel murski prod (**prd**). Struga mrtvice (**m**) sledi nasipu med km 9,100 in km 9,950. Krajši odsek plitve, suhe mrtvice smo opazili še med km 10,500 in km 10,816.

**Hidrogeološke razmere.** Silikatni peščeni murski prod (**prd**) je zelo prepustna zemljina ( $k=10^{-3}-10^{-5}$  m/s), kremenov pesek (**mp**) ( $k=10^{-5}-10^{-7}$  m/s) je srednje prepusten, malo prepustna ( $k=10^{-7}-10^{-9}$  m/s) pa je glinasto meljasta plast (**gm**). Na več mestih smo v mrtvicah opazili stoječo vodo, kar kaže na komuniciranje gladine v mrtvicah z nivojem gladine reke Mure. V pretežnem delu preiskanega ozemlja pa so bile struge mrtvic suhe. Zamočvirjen teren je opaziti v strugah mrtvic, med stoječo vodo bajerjev.

Nivo podtalnice na trasi protipoplavnega nasipa je ugotovljen na globini od 3,0 m do 5,0 m, pod koto terena.

**Stabilnostne razmere.** Protipoplavni nasip se gradi na ravninskem terenu, zato ne pričakujemo labilnih con, ki bi ogrožale rekonstrukcijo nasipa. Potrebno bo paziti na izvedbo nasipa na robovih 1 m do 2 m visokih murskih teras in globokih mrtvic, posebno v območju, kjer brežino terase ali globoke struge mrtvice gradi nekonsolidiran kremenov pesek ali glinasto peščeni melj. Rob nasipa je potrebno ustrezno odmakniti od roba terase ali struge mrtvice. Potrebno bo tudi paziti na živalski habitat. V območju km 5,100 smo opazili jarke in luknje v brežini obstoječega nasipa in globlje mrtvice, ki so jih izkopale bodisi vidre, bobri ali pižmovke.

## 5. SEIZMIČNOST TERENA

Skladno s SIST EN 1998-1: 2004 Evrokod 8: 'Projektiranje potresno odpornih konstrukcij - del 1: Splošna pravila, potresni vplivi in vplivi na stavbe', na osnovi geološke karte in ocenjujemo, da se tla uvrščajo v razred C. To pomeni, da so v tleh odloženi globoki sedimenti srednje gostih do gostih nevezljivih zemljin. Hitrostjo strižnega valovanja je med 180 m/s in 360 m/s.

Pospešek tal je določen za povratno dobo 475 let, ki ustreza 90 % verjetnosti, da vrednost ne bo presežena v 50 letih, kar je predvidena življenjska doba navadnih objektov. Povratna doba je povprečen čas med prekoračitvami vrednosti pospeška tal na dani lokaciji. Vrednost pospeška tal velja za tla tipa A oz. trdna tla. Po EC8 je tip tal A skala ali druga geološka formacija, v kateri je hitrost strižnega valovanja vsaj 800 m/s in na kateri je največ 5 m slabšega površinskega materiala. Za druge tipe tal je treba pospešek tal pomnožiti z ustreznim koeficientom tal S. Obravnavano področje spada v območje z vrednostjo končnega projektnega pospeška tal  $a_g = 0,10g \times 1,15 = 0,115g$ .



Slika 2: Karta projektnih pospeškov tal za obravnavano območje

## 6. NOSILNOST TEMELJNIH TAL

Zemeljska pregrada bo temeljena na plasti meljno peščene zemljine do puste glin, katere strižne karakteristike so na podlagi laboratorijskih analiz ocenjene z minimalnim doseženim strižnim kotom  $\varphi = 24^\circ$  in kohezijo  $c = 0$ , prostorninska teža znaša  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ . Na osnovi privzetih karakteristik izračun nosilnosti tal ( $R_d$ ) pokaže sledeče:

$$R_d / A = (\gamma/2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot b_q \cdot i_q) / \gamma_{R,V}$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi = 7,64$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi/2) = 9,58$$

$$q = \gamma \cdot d = 17 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m} = 8,5 \text{ kN/m}^2$$

oblika temelja

$$s_\gamma = 1 - 0,3 B/L = 0,97$$

$$s_q = 1 + B/L \sin \varphi = 1,041$$

nagib obtežbe

$$i_\gamma = i_q = 1$$

nagib temeljev

$$b_\gamma = b_q = 1$$

$$R_d / A = (63 \text{ kN/m}^2 + 84,77 \text{ kN/m}^2) / 1,4 = 105,5 \text{ kN/m}^2$$

Izračun nosilnosti kaže, da nadvišanje nasipa na obravnavani lokaciji, z vidika nosilnosti tal, ni problematično.

### 6.1 Nadvišanje nasipov

Najprimernejši način nadgradnje je, da se obstoječi nasip razgrne do potrebne širine in na to nadgrajuje do potrebne višine. Za protipoplavni nasip naj se uporabi glineno meljni material. Peski niso primerni. Vgrajevanje naj se izvaja v plasteh in utrjuje z valjarjem z bodicami (jež). Na nasipnih plasteh naj bo dosežena zgoščenost 95 % po standardnem proctorjevem postopku. Brežine nasipa naj se oblikujejo v naklonu 1: 2,5 ( $21,8^\circ$ ). V kroni naj bo nasip širok minimalno 2,5 m.

Ocenjujem, da je vgradnja glinenega jedra na vodni strani nasipa nesmiselna, ker je prepustnost peščenega murskega proda, po celotni globini takšna, da v primeru poplavljanja glineno jedro nebi imelo nikakršnega učinka za podaljšano zadrževanje vode na vodni strani.

## 7. ZAKLJUČKI

Glede na ugotovljeno geološko zgradbo širše okolice Murske ravnine na OGK, listu Čakovec, kartirane peščenomeljaste gline in glinaste peščene melje (**gm**) ter kremenove meljaste peske (**mp**) na trasi poplavnega nasipa uvrščamo med poplavne fluviatilno limnične sedimente (**oznaka g** na OGK) odložene na murskemrodu. V območju mrtvic in rokavov Mure pa glinaste, meljaste in peščene sedimente s primesjo organskega materiala na zamočvirjenih delih, uvrščamo med povodenjski facies-aluvij po OGK (**oznaka a,ap**). Rjavkasto sivi, silikatni peščeni prod-murski prod (**prd**, na OGK **oznaka a<sub>1</sub>**) v podlagi fluviatilno limničnih in aluvialnih-povodenjskih sedimentov uvrščamo med pleistocenski-holocenski fluvio-glacialni sediment.

Obstoječi nasip poteka po plasti peščeno meljaste gline in peščeno glinastega melja (**gm**).

Glina in melj imata lahko težkognetno in poltrdno, ali celo trdno konsistenco. Za kremenov meljasti pesek(**mp**) ocenjujemo, da je v rahlem do srednje gostem gostotnem stanju ter sipek in nekonsolidiran. Murski prod (**prd**) je v zgornjih plasteh v srednje gostem stanju, globlje pa v rahlem .

Potrebno bo paziti na izvedbo nasipa na robovih 1 m do 2 m visokih murskih teras in globokih mrtvic, posebno v območju, kjer brežino terase ali globoke struge mrtvice gradi nekonsolidiran kremenov pesek ali glinasto peščeni melj. Rob nasipa bo potrebno ustrezno odmakniti od roba terase ali struge mrtvice. Potrebno bo tudi paziti na živalski habitat. V območju km 5,100 smo opazili jarke in luknje v brežini obstoječega nasipa in globlje mrtvice, ki so jih izkopale bodisi vidre, bobri ali pižmovke.

Podtalnica se nahaja od 3 m do 5 m pod nivojem obstoječega terena. Stabilnostnih problemov na ravninskem terenu ne pričakujemo. **Na območjih s kremenovim peskom v temeljnih tleh, ki ima rahlo do srednje gosto gostotno stanje, bo potrebno paziti na robne pogoje izvedbe nasipa. Na teh odsekih naj se na zunanjih robovih nasipa izvede zamenjava peska z glinenim materialom v širini 2,5 m in globini 0,5 m. S tem bo izboljšana stabilnost nasipa in zmanjšana prepustnost.**

Nasipi naj se oblikujejo v naklonu 1:2,5.

Obdelal:

Ciril Erbežnik, univ.dipl.inž.grad.

# **PRILOGE**

## **1.FOTODOKUMENTACIJA**





Slika 1: Vrtina V1



Slika 2: Vrtina V2





Slika 3: Vrtina V3



Slika 4: Vrtina V4





Slika 4: Vrtina V5



Slika 4: Vrtina V6





Slika 4: Vrtina V7



Slika 4: Vrtina V8





Slika 4: Vrtina V9



Slika 4: Vrtina V10



## **2.RISBE**

1. SITUACIJA – INŽENIRSKO GEOLOŠKA KARTA M = 1:5000 (2 lista)

### **3. POPIS VRTIN**



## **4.LABORATORIJSKE PREISKAVE (IRGO d.o.o., geomehanski laboratorij)**

## 5. SONDAŽNI RAZKOPI

## **6.PONIKALNI PREISKUSI**

## **7.PRESIMETERSKE PREISKAVE**

## **8.DINAMIČNO SONDIRANJE TAL**