

ELASTOPLASTIČNA ANALIZA PILOTNIH STEN V DVOSLOJNIH IN NAGNJENIH TLEH

THE ELASTOPLASTIC ANALYSIS OF SHEET PILE WALLS IN TWO LAYERED AND INCLINED SUBSOIL

JANKO LOGAR, asist. mag., Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, FAGG

POVZETEK: V diskusijskem prispevku odgovarjamo na vprašanje generalnega poročevalca o možnosti upoštevanja heterogenih temeljnih tal in nagnjenega pobočja v analizi pilotnih sten, predstavljeni v razpravi Logarja in Pulka, 1993.

SUMMARY: The discussion answers the question of the general reporter regarding the possibility of taking into account the heterogeneity of subsoil and the inclination of ground surface in the analysis of sheet pile walls presented by Logar and Pulko, 1993.

UVOD

Generalni poročevalec je v svojem poročilu postavil vprašanje ali je mogoče s postopkom, predstavljenim v članku Elastoplastična analiza pilotnih sten (Logar, Pulko; 1993) in na njem osnovanem računalniškem programu BOJAN, upoštevati heterogenost temeljnih tal in nagnjenost pobočja. Predstavljeni primeri so namreč prikazovali le analize horizontalnih in homogenih tal. Kratek odgovor se glasi: v analizi je mogoče upoštevati večje število različnih materialov, prav tako program omogoča analizo poljubno oblikovanega profila tal, če le znamo določiti začetno napetostno stanje v tleh. V nadaljevanju prispevka te trditve ilustriramo na dveh primerih in pojasnimo račun začetnega napetostnega stanja.

ZAČETNO NAPETOSTNO STANJE

V horizontalno slojevitih ali homogenih tleh je začetno napetostno stanje razmeroma lahko določiti, tudi če želimo upoštevati naraščanje prostorninske teže z globino. Težje je to storiti za nagnjen teren in za nepravilno oblikovano površje tal. Tu si pomagamo z numerično rešitvijo, osnovano na metodi končnih elementov, ki je že vgrajena v program BOJAN. Ta program je namreč pripravljen za analizo vkopov in nasipov s tem, da lahko končne elemente iz mreže odvezemamo ali jih vanjo dodajamo. Slednja možnost omogoča tudi to, da izračunamo začetno napetostno stanje. V začetku analize v

mreži ni nobenega elementa. V prvem obtežnem koraku postavimo v mrežo vse elemente s svojo prostorninsko težo. Obtežbo predstavlja lastna teža. Zaradi nje pride do pomikov vozlišč mreže končnih elementov, ki jih izračunamo iz sistema enačb:

$$[K]\{\Delta U\} = \{\Delta P\} . \quad (1)$$

Tu pomeni:

$[K]$ togostna matriko,
 $\{\Delta U\}$ iskani vektor prirastkov pomikov in
 $\{\Delta P\}$ znani vektor prirastkov obtežbe.

Prirastke obtežbe v splošnem izračunamo po enačbi:

$$\{\Delta P\} = \int_V [N]^T \{\Delta f\} dV + \int_{S_p} [N]^T \{\Delta p\} dS_p . \quad (2)$$

kjer je:

$[N]$ matrika oblikovnih funkcij,
 $\{\Delta f\}$ vektor prirastkov volumske obtežbe in
 $\{\Delta p\}$ vektor prirastkov površinske obtežbe.

V primeru izbranega preprostega trikotnega CST elementa je obtežni vektor zaradi volumskih sil:

$$\begin{Bmatrix} P_{y1} \\ P_{y2} \\ P_{y3} \end{Bmatrix} = \frac{A h \gamma}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} , \quad (3)$$

kjer je γ prostorninska teža zemljine, A površina končnega elementa in h njegova debelina.

Iz izračunanih pomikov $\{\Delta U\}$ določimo deformacije in iz njih preko izbrane konstitucijske zveze še napetosti. To so iskane začetne napetosti v temeljnih tleh. Za nadaljevanje analize imamo dve alternativni. Nadaljujemo lahko iz tako izračunanega stanja (torej imamo poleg začetnih napetosti že tudi začetne pomike mreže končnih elementov) ali pa izračunane napetosti pripišemo nedeformiranemu stanju. V prikazanih izračunih smo uporabili slednjo možnost, ker smo tako vršili tudi analize za horizontalna temeljna tla in so zato tu prikazani rezultati primerljivi z rezultati že prej opravljenih analiz.

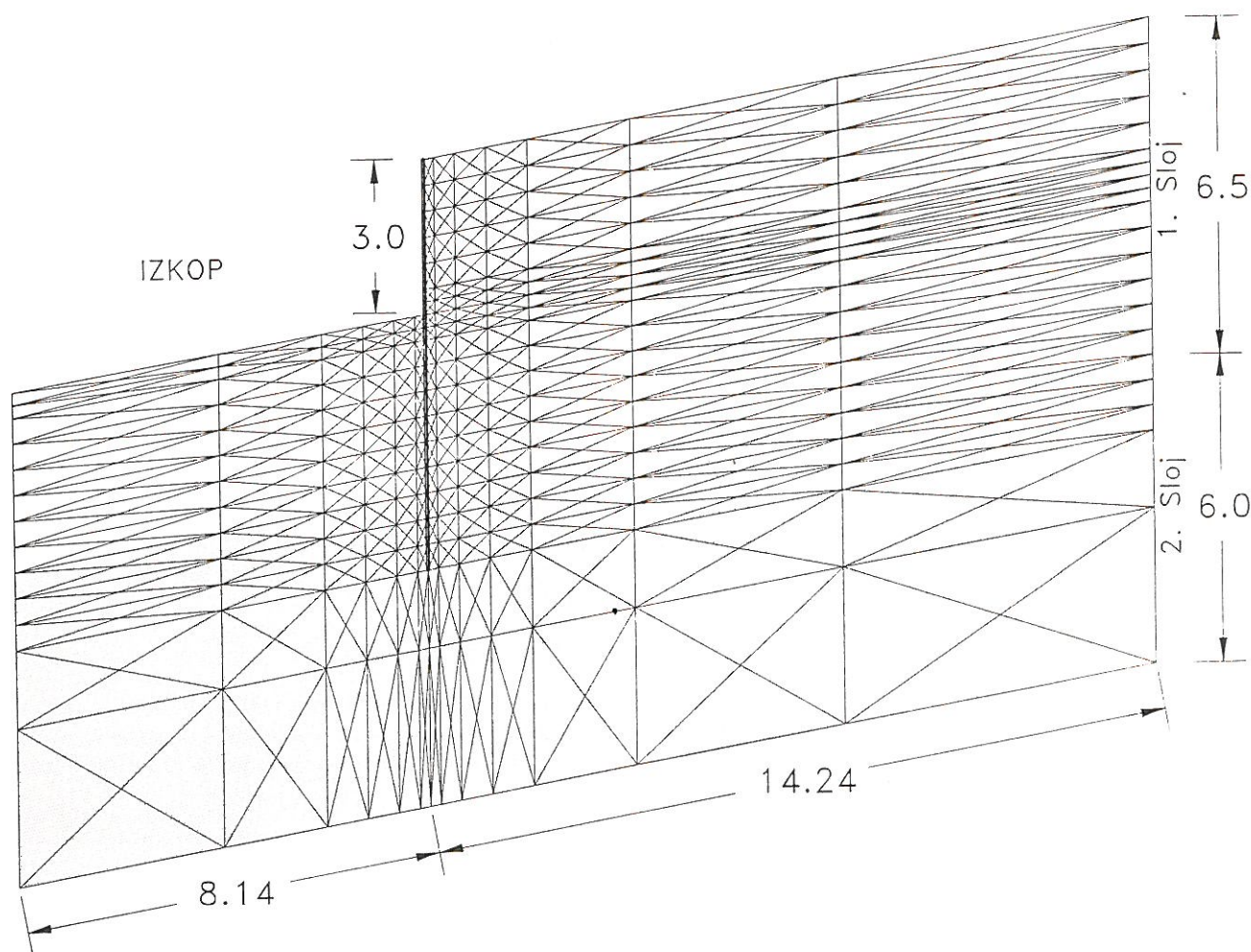
PRIMERI

Analizirali smo 8 m dolgo konzolno pilotno steno v terenu, nagnjenem za 10.5° . Stena je relativno toga, armiranobetonska in varuje trimetrski izkop. Na stiku

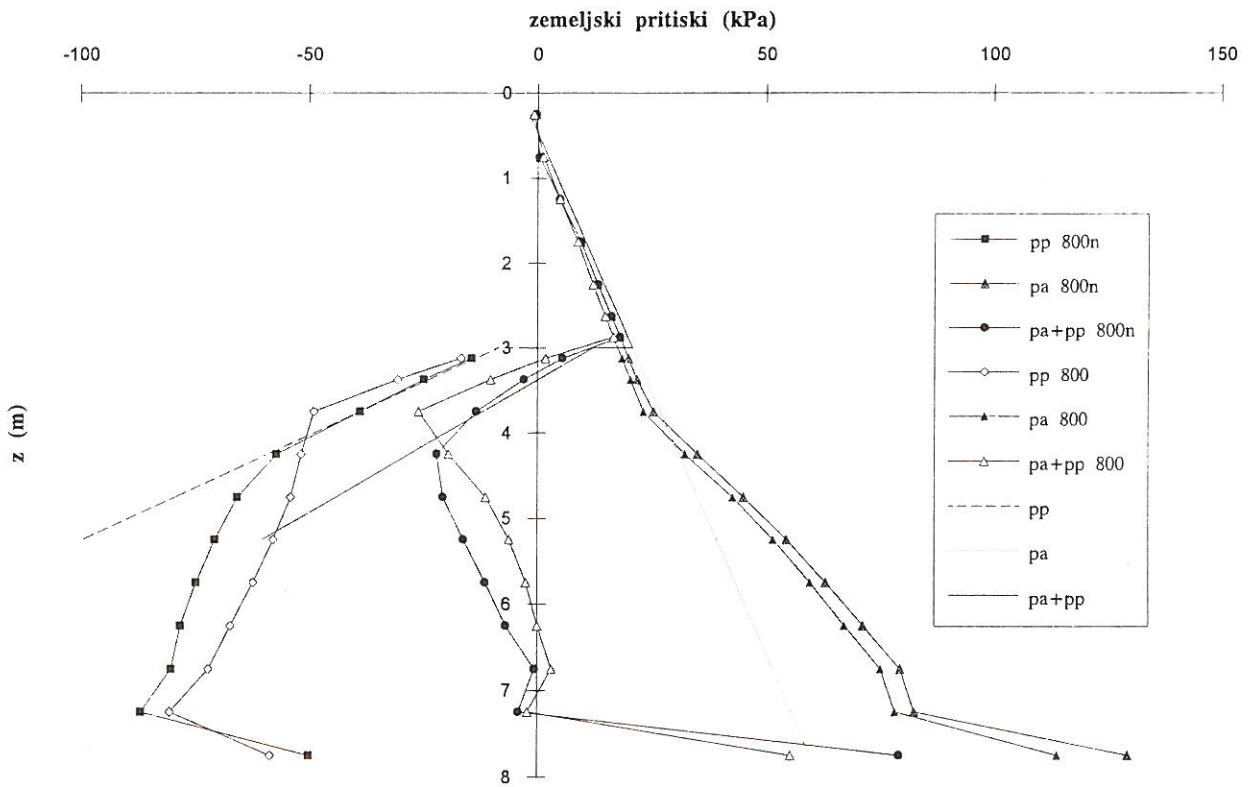
med zemljino in steno nismo upoštevali trenja. Prvi primer prikazuje analizo v homogenem materialu, drugi

Preglednica 1. Materialni podatki za računske analize

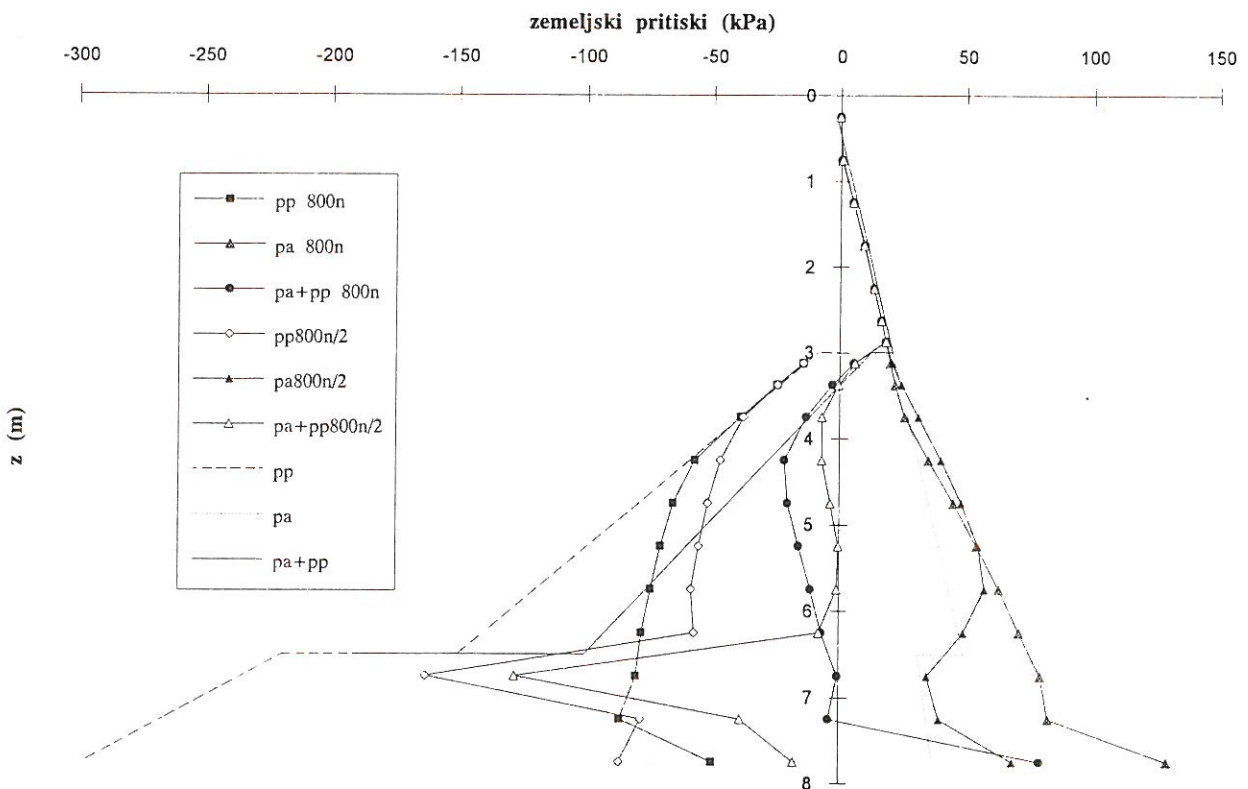
Zemljina		1. sloj	2. sloj
strižni kot	φ ($^\circ$)	28	40
kohezija	c (kPa)	3	0
kompresijski modul	K (kPa)	16666.7	166667
strižni modul	G (kPa)	3571.4	35714
Pilotna stena			
površina prereza	A (m^2)	0.5	
vztrajnostni moment	I (m^4)	0.01042	
elastični modul	E_b (GPa)	31.5	
Kontaktnelementi			
normalna togost	K_n (kPa)	10^6	
tangentna togost	K_t (kPa)	3500	
strižni kot na kontaktu	φ' ($^\circ$)	0	
adhezijska sila	F_{ca} (kN)	0	



Slika 1. Nedeformirana mreža končnih elementov za analizo konzolne pilotne stene v nagnjenem pobočju.



Slika 2. Diagram zemeljskih pritiskov za primera K800 in K800n v primerjavi s teoretično linijo za nagnjeno zaledje.



Slika 3. Diagram zemeljskih pritiskov za primera K800n in K800n/2 v primerjavi s teoretično linijo za dvoslojno nagnjeno zaledje.

pa v dvoslojnih tleh. V primeru dvoslojnih temeljnih tal je spodnji (drugi) sloj precej manj deformabilen, prav tako je njegova strižna odpornost znatno večja. Karakteristike obeh slojev tal (v primeru homogenih tal smo uporabili karakteristike 1. sloja), pilotne stene in kontaktnih elementov med steno in zemljino podajamo v preglednici 1.

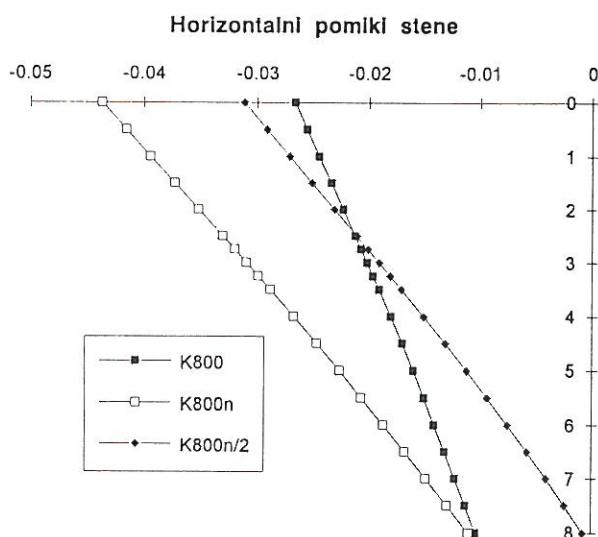
Prikazujemo rezultate treh računskih primerov:

K800 račun s horizontalnim površjem tal (glej Pulko, Logar; 1993),

K800n račun s homogenim slojem tal, površje je pod kotom 10.5° ,

K800n/2 račun z dvema slojema tal, površje je pod kotom 10.5° .

Nedeformirano mrežo končnih elementov za primera K800n in K800n/2 prikazuje slika 1. Iz rezultatov analiz smo izbrali primerjave zemeljskih pritiskov, horizontalnih pomikov pilotne stene in upogibnih momentov. Slika 2 prikazuje zemeljske pritiske za primera K800 in K800n v primerjavi s teoretično linijo za zaledje pod kotom $\beta = 10.5^\circ$ (vpliv nagnjenosti terena na razpored zemeljskih pritiskov). Slika 3 podaja primerjavo med zemeljskimi pritiski za enoslojna in dvoslojna nagnjena tla (primera K800n in K800n/2) v primerjavi s teoretično linijo za dvoslojna tla. Na sliki 4 so horizontalni pomiki pilotne stene za vse 3 navedene računske primere, na sliki 5 pa ustrezni upogibni momenti.

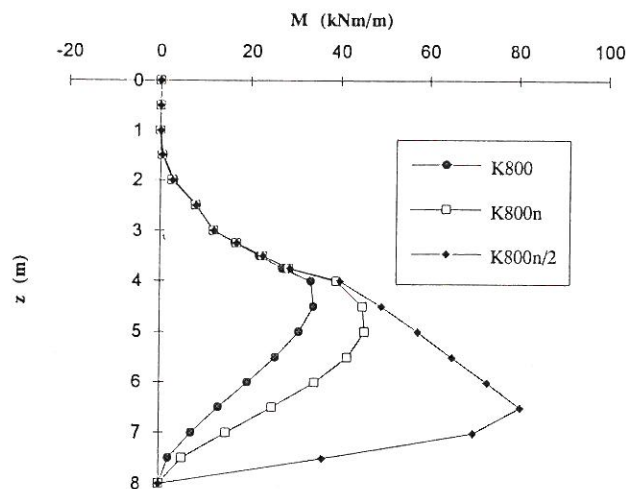


Slika 4. Horizontalni pomiki pilotne stene za primere K800, K800n in K800n/2

Iz prikazanih rezultatov lahko vidimo, da pripravljeni numerični postopek uspešno rešuje tudi probleme v nehomogenem in nagnjenem profilu temeljnih tal. Pre-

miki pilotne stene so v nagnjenem pobočju nekoliko večji, prav tako tudi upogibni momenti. Slednji so bistveno večji, če je stena v dnu vpeta v izrazito malo deformabilen material.

Upogibni momenti v pilotni steni



Slika 5. Upogibni momenti v pilotni steni za primere K800, K800n in K800n/2

ZAKLJUČEK

V diskusijskem prispevku smo pokazali, da program BOJAN za elastooplastično analizo izkopov, nasipov in podpornih konstrukcij nudi tudi možnost analize izkopov in pilotnih sten v nagnjenih ter dvoslojnih tleh. Na dveh dodatno pripravljenih in analiziranih primerih smo prikazali vpliv nagnjenosti terena na razpored zemeljskih pritiskov, deformacije pilotne stene in na upogibne momente v njej ter dodatno vpliv vpetja dna pilotne stene v izrazito boljši material.

LITERATURA

- Logar, J., Pulko, B. (1993). Elastooplastična analiza pilotnih sten, Zbornik 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 1. knjiga, Bled, 115-124.
- Majes, B. (1993). Generalno poročilo o opornih zidovih in konstrukcijah iz armirane zemljine, Zbornik 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 2. knjiga, Bled.
- Pulko, B. (1993). Elastooplastična analiza pilotnih sten, Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
- Pulko, B., Logar, J. (1993). Primerjava rezultatov računskih analiz konzolnih in sidranih pilotnih sten, Zbornik 1. posvetovanja slovenskih geoteknikov, 1. knjiga, Bled, 125-134.