



ZENON SZYCIO

Politechnika Białostocka
z.szycio@pb.edu.pl



KATARZYNA DOŁŻYK

Politechnika Białostocka
k.dolzyk@pb.edu.pl

Wpływ infiltracji wody na stateczność nasypów zbudowanych z gruntów mało spoistych

Grunty o małej spoistości: piaski gliniaste, pyły piaszczyste i pyły charakteryzują się małymi wartościami wskaźnika plastyczności $I_p < 10\%$ [1]. Zatem mały wzrost wilgotności gruntu wywołuje duże zwiększenie stopnia plastyczności (I_L). Wzrost stopnia plastyczności powoduje nawet pięciokrotne zmniejszenie kohezji i ponad dwukrotne zmniejszenie kąta tarcia wewnętrznego [1]. Grunty mało spoiste mają stosunkowo duży współczynnik filtracji, zatem woda

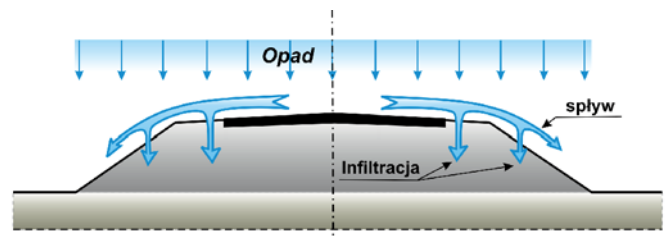
może infiltrować w te grunty. Z drugiej strony wiemy, że grunty mało spoiste bardzo dobrze się zagęszczają. Dobrze zagęszczone grunty mało spoiste o małej wilgotności (małym stopniu plastyczności) są bardzo dobrym, lub dobrym, materiałem do budowy nasypów [1]. Projektanci dróg decydując się na wbudowywanie tych gruntów w nasyp powinni zabezpieczyć je przed wzrostem wilgotności.

Wilgotność gruntu w nasypie może wzrosnąć w wyniku podniesienia się poziomu wód gruntowych, podtopienia nasypu wodami z rowu czy otaczającego terenu lub też infiltracji wód opadowych przez pobocza drogi i skarpy nasypu. Zagadnienia wzrostu zawilgocenia nasypu wywołane podniesieniem poziomu wody gruntowej i podtopieniem są z reguły dobrze znane projektantom dróg, zaś zdaniem autorów, zagadnienie infiltracji wody opadowej w korpus nasypu jest niedoceniane.

Przy modernizacji dróg zachodzi często konieczność zwiększenia promieni łuków pionowych. Przy zwiększaniu promienia wklęsłych łuków pionowych konieczne jest podwyższenie istniejącego nasypu drogowego. Z reguły podwyższenia nasypu wykonywane są z gruntów niespoistych, umożliwiających infiltrację znacznych ilości wód opadowych w nasyp. Jeżeli istniejący nasyp zbudowany jest z gruntów o małej spoistości może to skutkować utratą jego stateczności. Utrata stateczności nasypu na drodze krajowej nr 63 przy granicy miasta Łomży dobrze ilustruje wskazane powyżej problemy.

Infiltracja

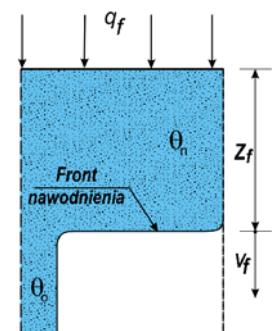
Wody opadowe spływające z nawierzchni oraz bezpośrednio opadające na pobocze drogi i skarpy nasypu częściowo infiltrują, a częściowo spływają po powierzchni skarpy do podnóża nasypu (rys. 1).



Rys. 1. Schemat infiltracji wody w nasyp

W zależności od intensywności opadu, czasu trwania opadu, rodzaju i stanu gruntów pobocza oraz skarpy, poziomowi utrzymania poboczy i umocnienia ich powierzchni, znacząco zmieniają się proporcje ilości wody infiltrującej w nasyp i spływającej po skarpie. Wody spływające po poboczu i skarpie mogą powodować erozję, zaś wody infiltrujące w nasyp powodują wzrost wilgotności gruntów w nasypie. Wody płynące w gruncie mogą unosić drobne cząsteczki gruntu (*sufozja*) oraz wywoływać siłę ciśnienia spływowego [2, 3, 4].

Schematycznie prędkość ruchu frontu nawodnienia pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat nawodnienia gruntu

Prędkość ruchu frontu nawodnienia [5] może być wyrażona wzorem:

$$v_f = \frac{k_n \left(1 + \frac{h_g + h_k}{Z_f} \right) - v_o}{\theta_n - \theta_o} \quad (1)$$

w którym:

Z_f – położenie frontu nawodnienia,

h_g – grubość warstwy wody na powierzchni gruntu,

h_k – wysokość ssania (wysokość wzrostu kapilarnego),

θ_0 – początkowa wilgotność,
 θ_n – wilgotność nasycenia,
 v_0 – początkowa prędkość infiltracji (przy małych wartościach θ_0 można przyjmować $v_0 = 0$),
 k_n – współczynnik infiltracji. Z badań wynika, że $k_n \approx 0,5k$ [5], w którym k jest współczynnikiem filtracji.

Ilość wody infiltrującej przez jednostkową powierzchnię:

$$q_f = v_f \cdot n \cdot A \quad (2)$$

w którym:

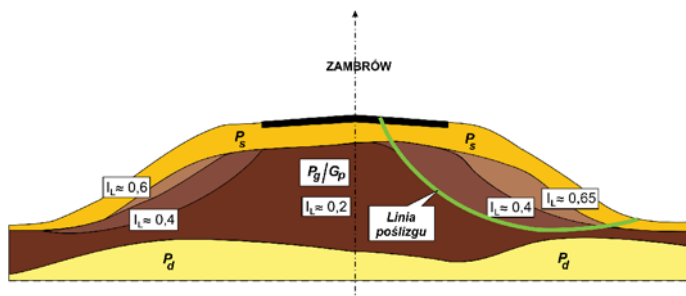
N – porowatość gruntu,

a – rzut jednostkowej powierzchni gruntu na płaszczyznę poziomą.

Jeżeli intensywność zasilania $q > q_f$ to w strefie nawodnienia pory gruntu są w całości wypełnione wodą. W przypadku $q < q_f$ w strefie nawodnienia grunt jest nienasycony [5]. Całkowita ilość wody infiltrującej w nasyp jest proporcjonalna do czasu i powierzchni infiltracji. W gruntach niespoistych współczynnik filtracji k jest duży i ilości wody infiltrujące w korpus nasypu są znaczne. Woda infiltrująca w nasyp znacząco zmienia właściwości gruntów spoistych i w wielu przypadkach może prowadzić do utraty ich stateczności [3, 4].

Nasyp na drodze krajowej nr 63 przy granicy miasta Łomża

Na drodze krajowej nr 63 Łomża – Zambrów, przy granicy miasta Łomża, stary nasyp drogowy o wysokości około 2,5÷3 m został podwyższony o około 1÷1,5 m (rys. 3).



Rys. 3. Schematyczny przekrój nasypu

Korpus nasypu drogowego wykonany był z gruntów o małej i średniej spoistości (piasków gliniastych i glin piaszczystych) przewarstwionych cienkimi, nieciągłymi warstwami piasków. Zatem grunty te stosunkowo łatwo chłoną wodę. W korpusie nasypu tworzyły się „kieszonki”, w których czasowo gromadziła się woda opadowa. W 2011 r. prawa strona nasypu na odcinku kilkudziesięciu metrów utraciła stateczność. Ruch do chwili naprawy odbywał się wahadłowo, tylko po lewej stronie jezdni. Strefa deformacji sięgała około 1 m od osi jezdni (rys. 3). Badanie geotechniczne wykazało, że stopień plastyczności piasków gliniastych w strefie zawilgocenia starego nasypu wynosi $I_L \approx 0,65$, lub w strefie deformacji $I_L \approx 0,40$, zaś w środkowej części $I_L \approx 0,20$. W wyniku wzrostu wilgotności spowodowanej wodą infiltrującą znacznie obniżyły się parametry wytrzymałościowe gruntów spoistych i nasyp utracił stateczność.

Chcąc zabezpieczyć dosyć wysoką skarpe nasypu przed erozją, wzdłuż krawędzi jezdni zaprojektowano ściek, przez ułożenie przy krawędzi nawierzchni krawężnika, prowadzącego wody spływające z jezdni do przepustu usytuowanego w najniższym punkcie dolinki (fot. 1).

Woda spływająca nieszczelnym ściekiem wzdłuż jezdni infiltrowała w nasyp.



Fot. 1. Widok fragmentu drogi krajowej nr 63 przyległego do odcinka, na którym wystąpiło osuwisko nasypu (z nawierzchnią jezdni) (fot. Z. Szypcio, K. Dołżyk)

Na odcinku drogi długości około 70 m nasyp uległ awarii (fot. 2).

Analizując stateczność odcinka po awarii nasypu, przy wykorzystaniu programu komputerowego GEO 5 [6] wykazano, że można zapewnić stateczność zmniejszając nachylenie



Fot. 2. Odcinek drogi krajowej nr 63, na którym wystąpiło osuwisko nasypu (z nawierzchnią jezdni) (fot. Z. Szypcio, K. Dołżyk)



Fot. 3. Odcinek drogi krajowej nr 63 po wykonaniu prac zabezpieczających skarpę przed erozją (fot. Z. Szypcio, K. Dołyżk)

skarpy do 1:3. Infiltrację wód opadowych przez pobocze zablokowano uszczelniając je kostką betonową i korytkami ściekowymi ułożonymi na podsypce cementowo-piaskowej. Wody opadowe z jezdni i pobocza sprowadzono do podnóża skarpy ściekami skarpowymi, zabezpieczając skarpę przed erozją (fot. 3).

Przedstawiony przykład utraty stateczności nasypu wywołanej wodą infiltrującą w nasyp pokazuje, jak ważnym zagadnieniem jest ochrona nasypu wykonanego z gruntów spoistych przed wzrostem ich wilgotności. Wymaga się, aby w strefie przemarzania nasyp był wykonany z gruntów niespoistych, które zapewniają dobre warunki posadowienia konstrukcji nawierzchni, ale często zapomina się, że umożliwiają infiltrację wód opadowych w nasyp. Jeżeli dolne war-

stwy nasypu wykonane są z gruntów spoistych, a w szczególności gruntów o małej spoistości, może to prowadzić do utraty stateczności nasypu.

Podsumowanie

Grunty spoiste, a grunty mało spoiste w szczególności, powinny być wbudowywane w nasyp ze szczególną starannością. W korpusie nasypu nie powinny tworzyć się „kieszonki” magazynujące wodę. Woda zmagazynowana czasowo w nasypie znacznie zmniejsza parametry wytrzymałościowe gruntów spoistych, co może być w konsekwencji przyczyną utraty jego stateczności.

Aby zmniejszyć ilości wód infiltrujących w nasyp konieczne jest odpowiednie zabezpieczenie powierzchni nasypu i zapewnienie kontrolowanego spływu wód powierzchniowych z nawierzchni, poboczy i skarpy.

Zdaniem autorów zagadnienie infiltracji wód opadowych w nasyp nie jest dostatecznie doceniane przez projektantów i służby utrzymania dróg.

Bibliografia

- [1] Z. Witun, *Zarys geotechniki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2003
- [2] D.H. Cornforth, *Landslides in practice*, John Wiley & Sons, USA, 2005
- [3] Y.K. Kim, S.R. Lee, *Field Infiltration Characteristics of Natural Rainfall in Compacted Roadside Slopes*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, January 2010
- [4] P. Lumb, *Slope failures in Hong Kong*, Quarterly Journal of Engineering Geology, 1975
- [5] K.W. Książczyński, *Tłokowy model filtracji w strefie niepełnego nasycenia*, Politechnika Krakowska, Kraków 2007
- [6] GEO 5, Geotechnical Software Suite, 2009 ■