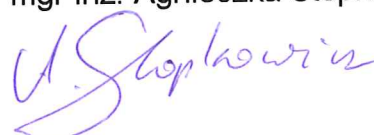


**ANALIZA STATECZNOŚCI OSUWISKA W CIĄGU DROGI
NR W CIĄGU DROGI NR 881, SOKOŁÓW MAŁOPOLSKI –
ŻURAWICA W MIEJSCOWOŚCI PANTALOWICE
W KM 45+200 – 45+350**

Autor opracowania:
mgr inż. Agnieszka Stopkowicz



Kraków, 2010

1. Wstęp

Obliczenia wykonano dla warunków stwierdzonych badaniami polowymi w celu określenia stateczności skarpy w rejonie osuwiska w ciągu drogi nr 881, Sokółów Małopolski – Żurawica w miejscowości Pantalowice w km 45+200 – 45+350. Analizę przeprowadzono dla przekroju geologiczno-inżynierskiego 1-4, przechodzącego przez otwory nr 1-2-3-4. Osuwisko zlokalizowane w tym rejonie ma szerokość 20m (mierząc wzdłuż drogi nr 881). Po lewej stronie drogi widoczne są wybrzuszenia, spękania i przełomy. Teren objęty ruchem jest niewielki i ogranicza się do niewielkiej skarpy przy drodze, przydrożnego rowu i części drogi asfaltowej nr 881 (Dokumentacja geologiczna..., pkt 2.2).

2. Metodyka obliczeń

Analiza stateczności stanowi opis stanu stateczności zbocza a także pozwala, w zależności od stosowanej metody na określenie przebiegu procesu zniszczenia. Aktualnie dostępnych jest szereg metod analizy stateczności różniących się między sobą sposobem obliczeń, przyjmowanymi założeniami i uproszczeniami.

Dla analizowanego przypadku obliczenia wykonano przy pomocy programu opartego o Metodę Różnic Skończonych. Metoda ta polega na rozwiązywaniu układów równań różniczkowych, które zapisywane są w postaci zestawu zmiennych (tj. naprężeń albo odkształceń) w punktach dyskretnych. W obliczeniach numerycznych zastosowano metodę redukcji wytrzymałości na ścinanie (SSR). Metoda redukcji wytrzymałości na ścinanie (SSR) wskazuje przebieg powierzchni poślizgu w miejscu, w którym najwcześniej osiągnięty zostaje stan równowagi naprężenia stycznego i wytrzymałości na ścinanie.

Model obliczeniowy powstaje w oparciu o dane, uzyskane podczas badań geologiczno-inżynierskich. Następnie zostaje on podzielony siatką węzłów, w których będą przeprowadzane obliczenia. Pierwsza krytyczna powierzchnia poślizgu znajdowana jest automatycznie.

Miarą stateczności jest wskaźnik stateczności FS definiowany jako stosunek sił utrzymujących równowagę do sił zmierzających do destrukcji lub jako iloraz zmobilizowanych naprężeń stycznych związanych z wytrzymałością na ścinanie ośrodka oraz naprężeń ścinających wywołanych przez siły ciężkości oraz inne oddziaływania występujące w ośrodku gruntowym. Wartość obliczonego wskaźnika stateczności powinna być większa niż wartość dopuszczalnego wskaźnika FS_{dop} dla danej metody. Wartość wskaźnika FS_{dop} zależy od ważności obiektu i dokładności badań cech gruntu. Zgodnie z zaleceniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. Dz.U.99.43.430 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, w którym stwierdza:

„Pochylenia skarp nasypów i wykopów powinny być zgodne z wymaganiami, o których mowa w § 42. Wskaźniki stateczności skarp i zboczy określone indywidualnie metodami podanymi w Polskich Normach nie powinny być mniejsze niż 1,5.”

wobec czego przyjęto $FS_{dop}=1,5$ jako minimalną wartość wskaźnika stateczności.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne

i ich usytuowanie przyjęto obciążenia od pojazdów samochodowych równomiernie rozłożone, o wielkości 25 kPa.

3. Parametry geotechniczne warstw

Zgodnie z zaleceniami normy PN-81-B-03020 parametry wytrzymałościowe przyjęte w obliczeniach wyznaczono poprzez przemnożenie parametrów geotechnicznych charakteryzujących ośrodek gruntowy (tabela 1) przez γ_m - współczynnik materiałowy wynoszący $\gamma_m=1,1$, $\gamma_m=0,9$, przy czym przyjęto wartość najbardziej niekorzystną: $\gamma_m=1,1$ - dla ciężaru objętościowego, a $\gamma_m=0,9$ dla spójności i kąta tarcia. Wartość obliczeniową parametrów geotechnicznych wyznaczono wg wzoru:

$$x^{(r)} = \gamma_m * x^{(n)}$$

w którym:

$x^{(r)}$ - wartość obliczeniowa parametru geotechnicznego,

γ_m - współczynnik materiałowy,

$x^{(n)}$ - wartość charakterystyczna parametru geotechnicznego.

Parametry geotechniczne dla poszczególnych warstw ustalono na podstawie badań geotechnicznych polowych i laboratoryjnych.

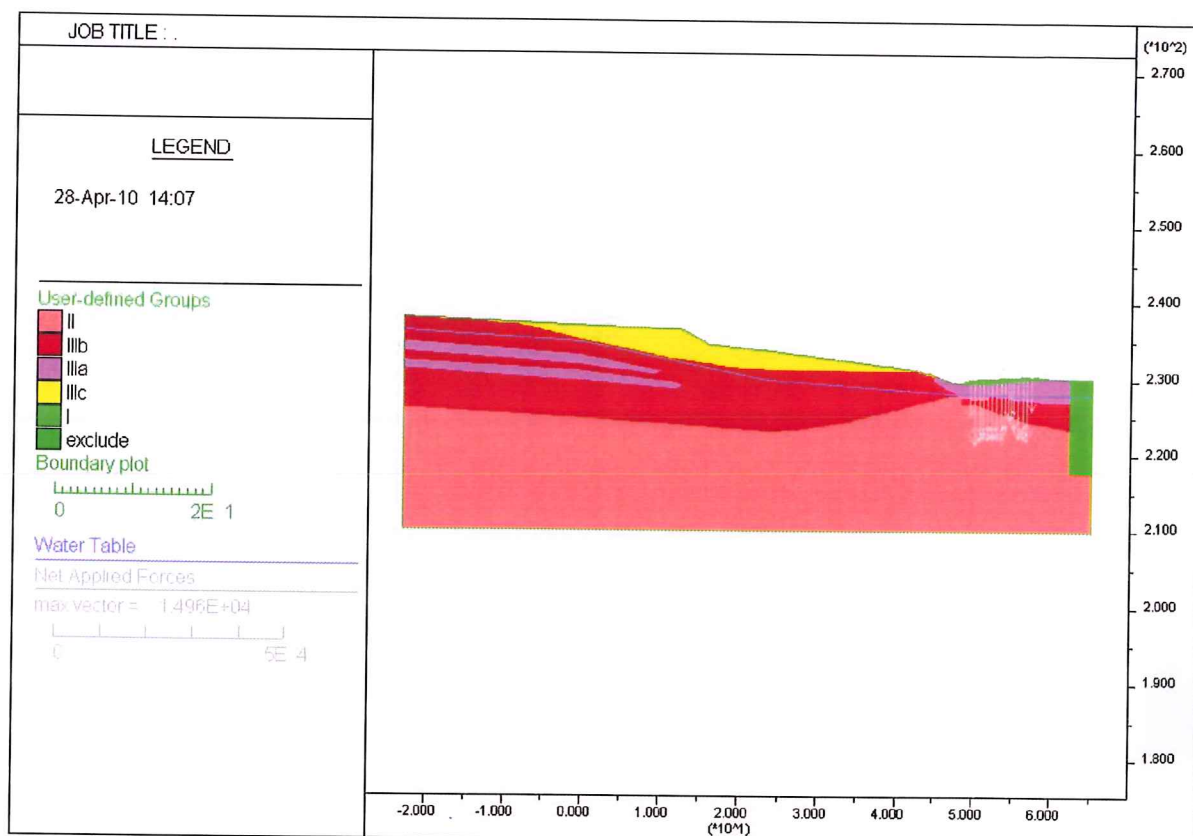
Tabela 1. Parametry geotechniczne poszczególnych warstw

Symbol warstwy geotechnicznej	Ciężar obj. γ [kN/m ³]	Spójność c [kPa]	Kąt tarcia ϕ [°]
I	20.0		41.00
II	20.0		32.50
IIIa	20.2	13.9	6.10
IIIb	20.5	15.7	6.90
IIIc	21.0	17.0	14.00

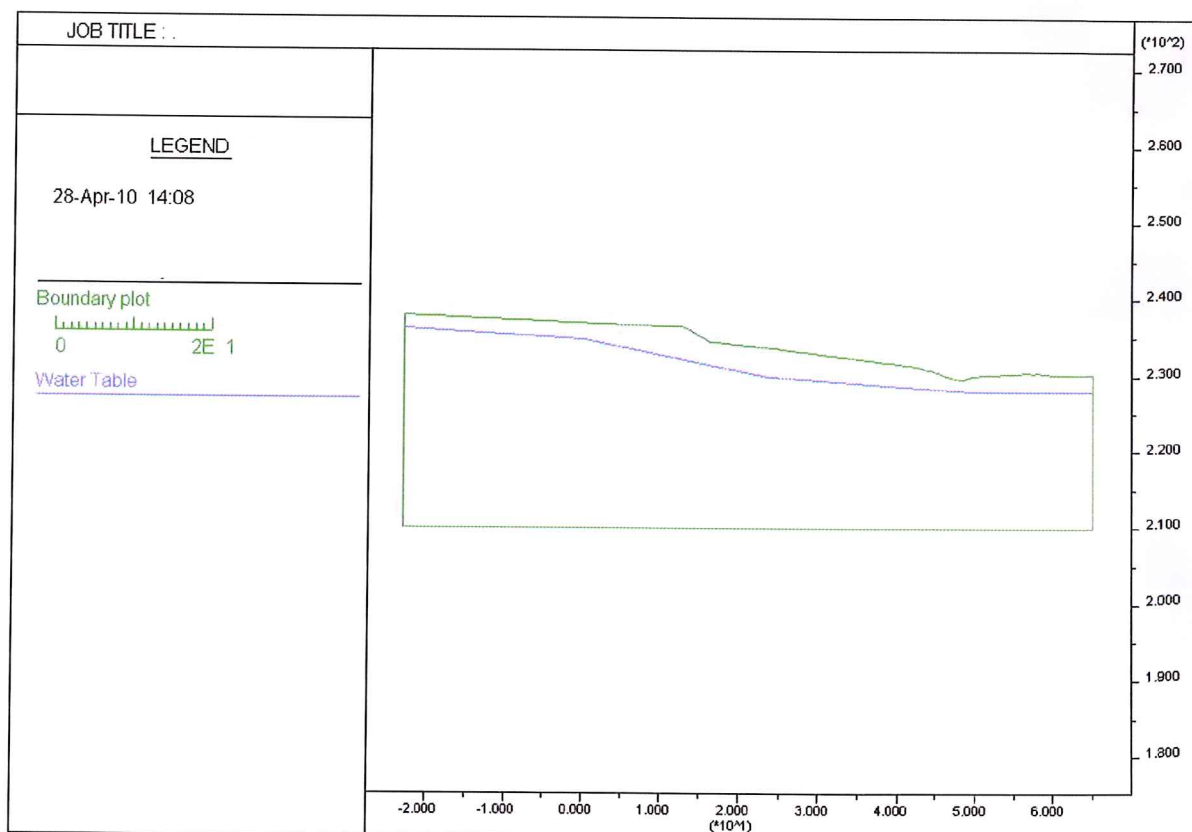
4. Obliczenia stateczności dla przekroju 1-4

Obliczenia wykonano dla dwóch wariantów poziomu wody gruntowej: ustalonego i nawierconego. W obliczeniach uwzględniono obciążenie od ruchu drogowego wynoszące 25kPa.

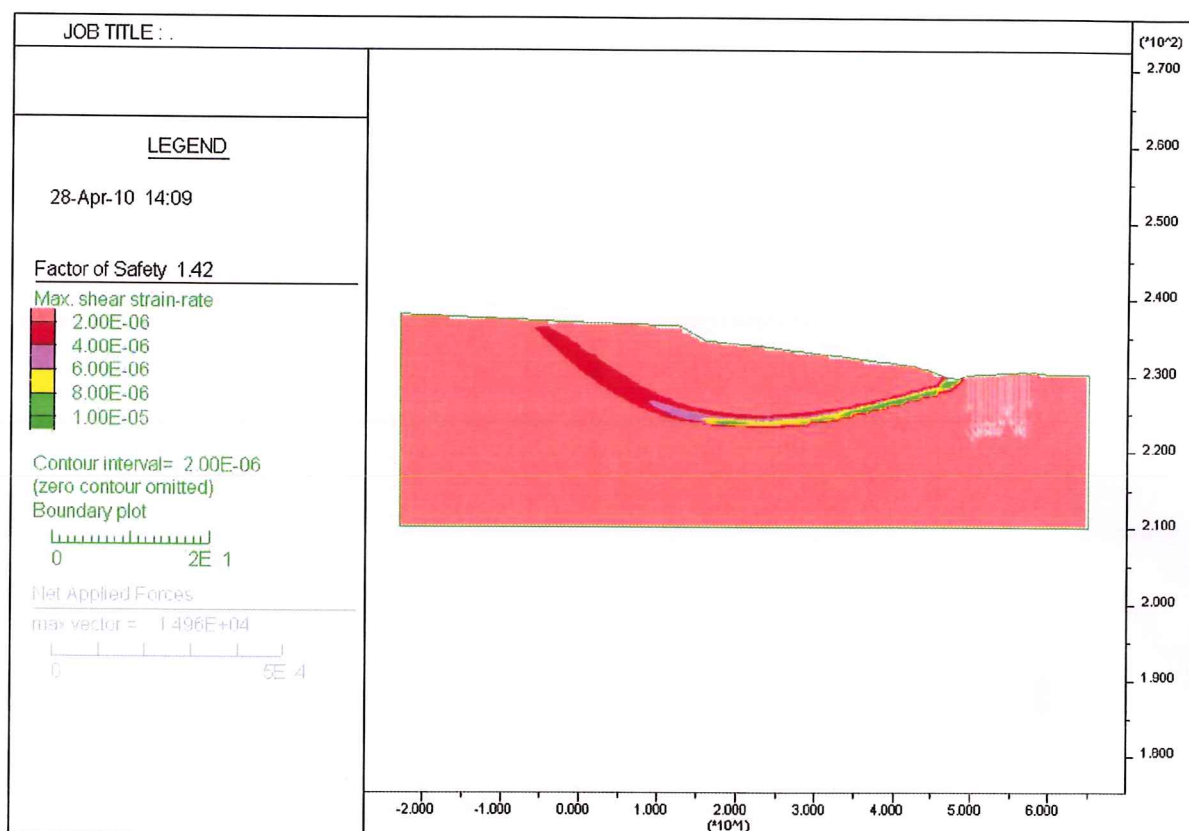
4.1. Wariant I (ZWG nawiercone)



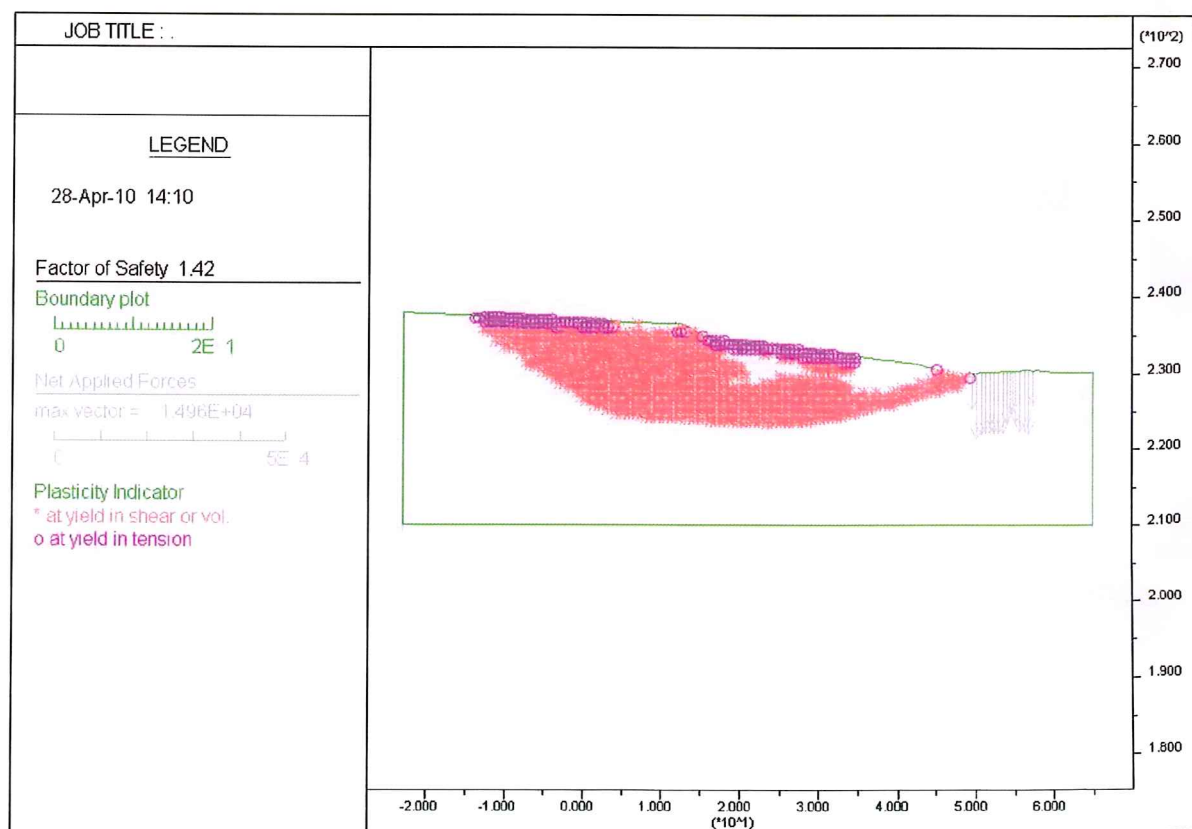
Rys. 1. Model obliczeniowy



Rys. 2. Poziom ZWG



Rys. 3. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie odkształceń postaciowych dla $FS_1=1.42$



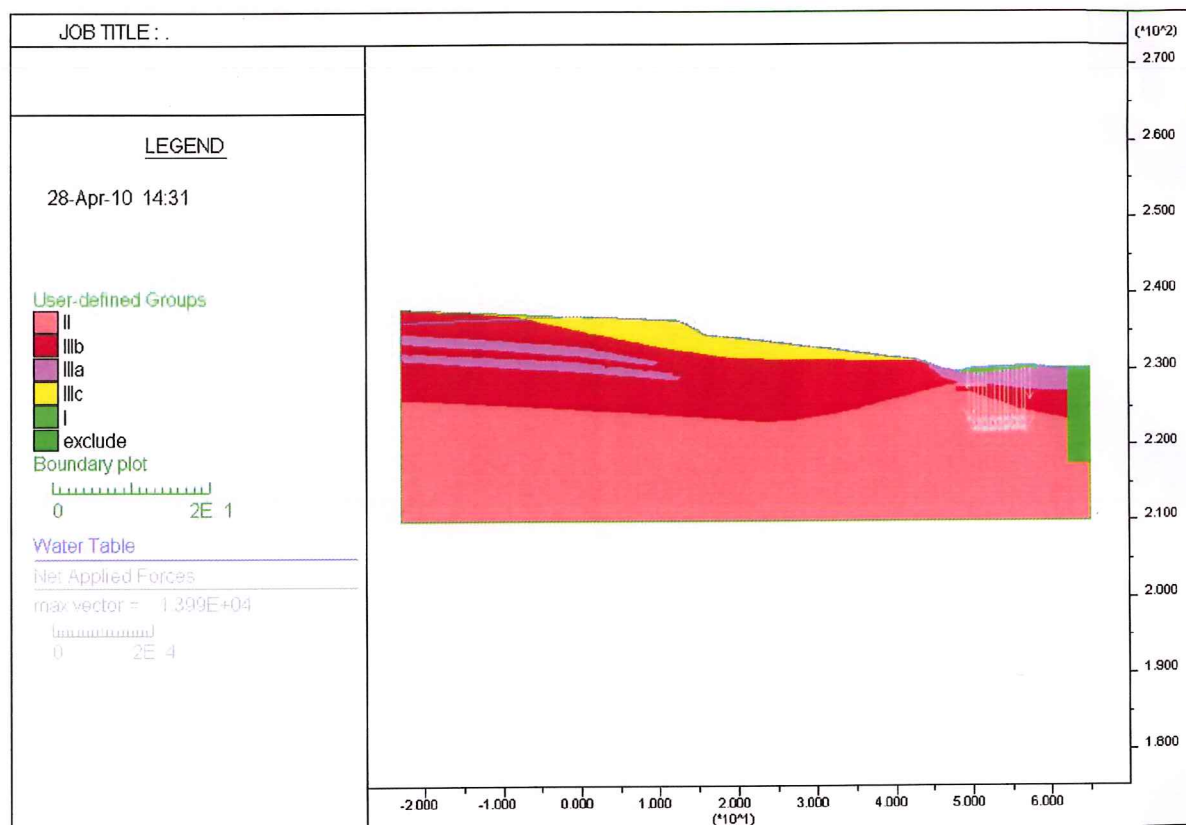
Rys. 4. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie wskaźników uplastycznienia dla $FS_1=1.42$

Wnioski:

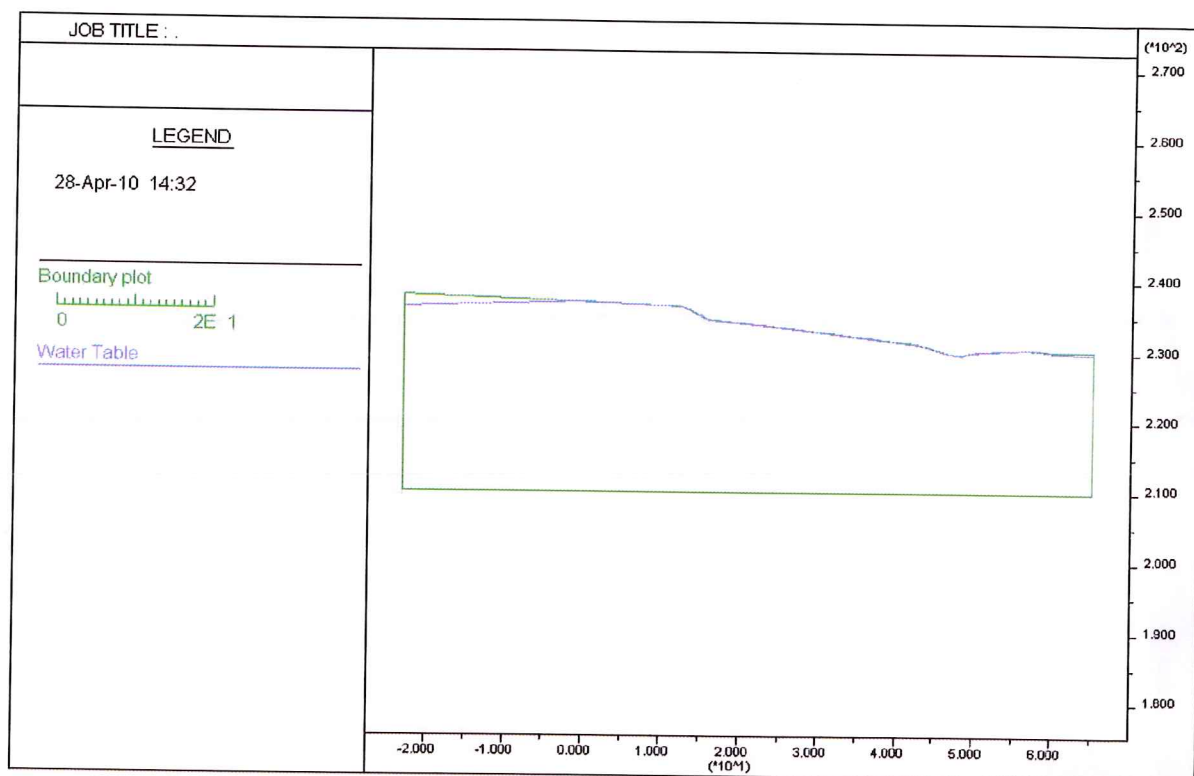
Dla aktualnych warunków stwierdzonych badaniami polowymi i laboratoryjnymi analizowane zbocze jest stateczne. Otrzymany wskaźnik stateczności wynosi $FS_1=1.42$. Wyznaczona powierzchnia poślizgu obejmuje całe zbocze i lewą stronę drogi (rys. 3, 4).

4.2. Wariant II (poziom wody ustalony)

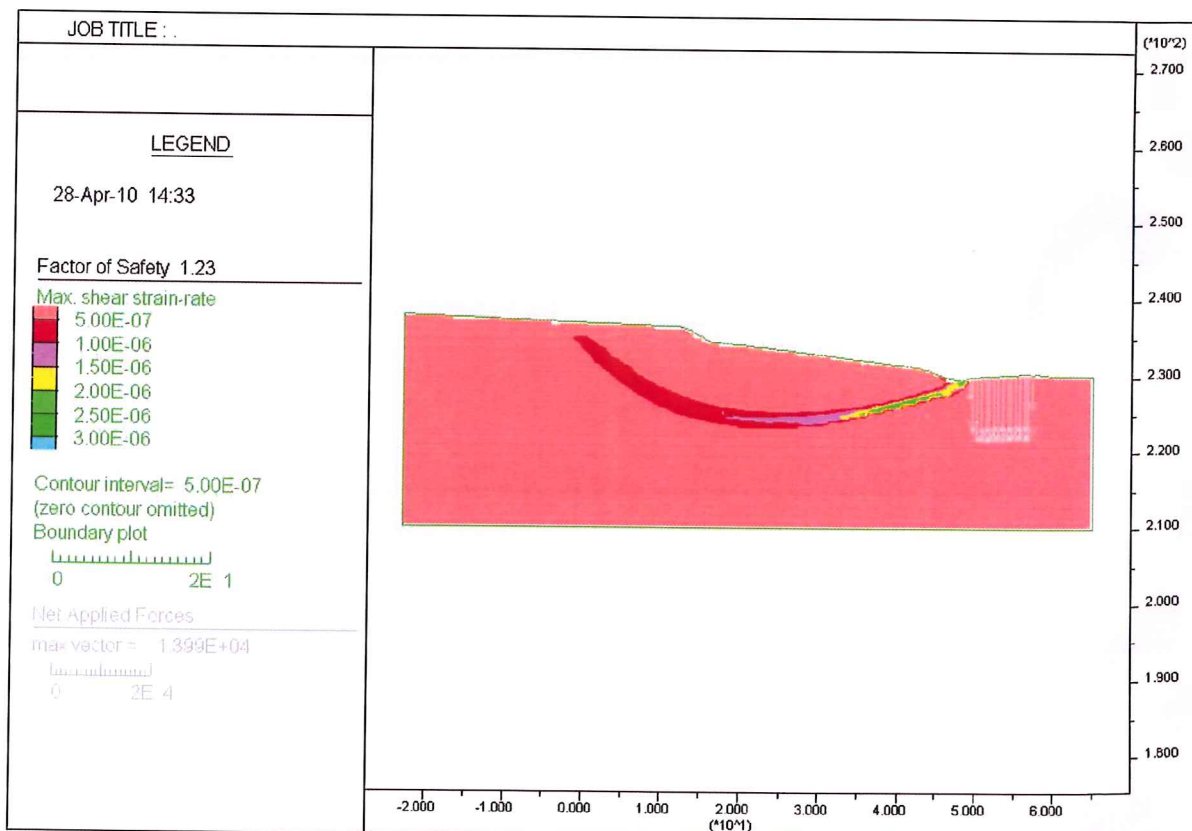
W wariacie II uwzględniono wyższy (rys. 6), ustalony poziom wody.



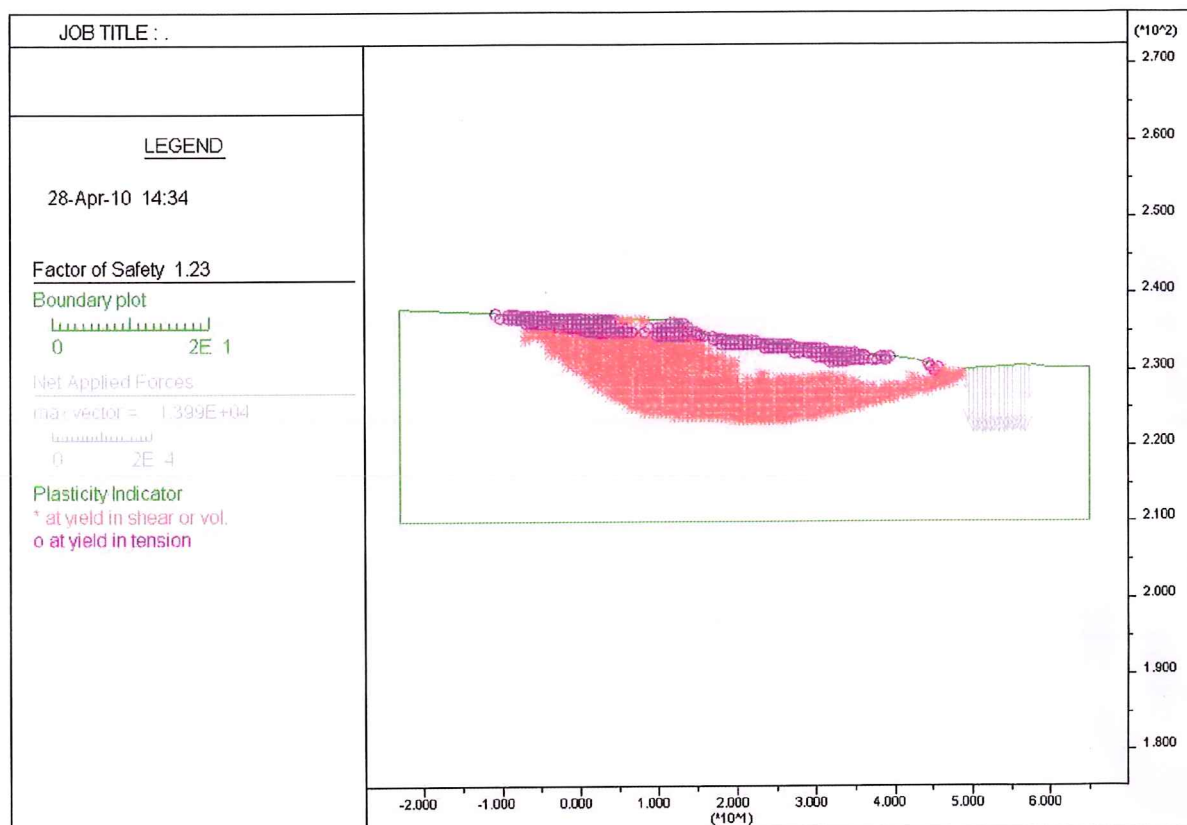
Rys. 5. Model obliczeniowy



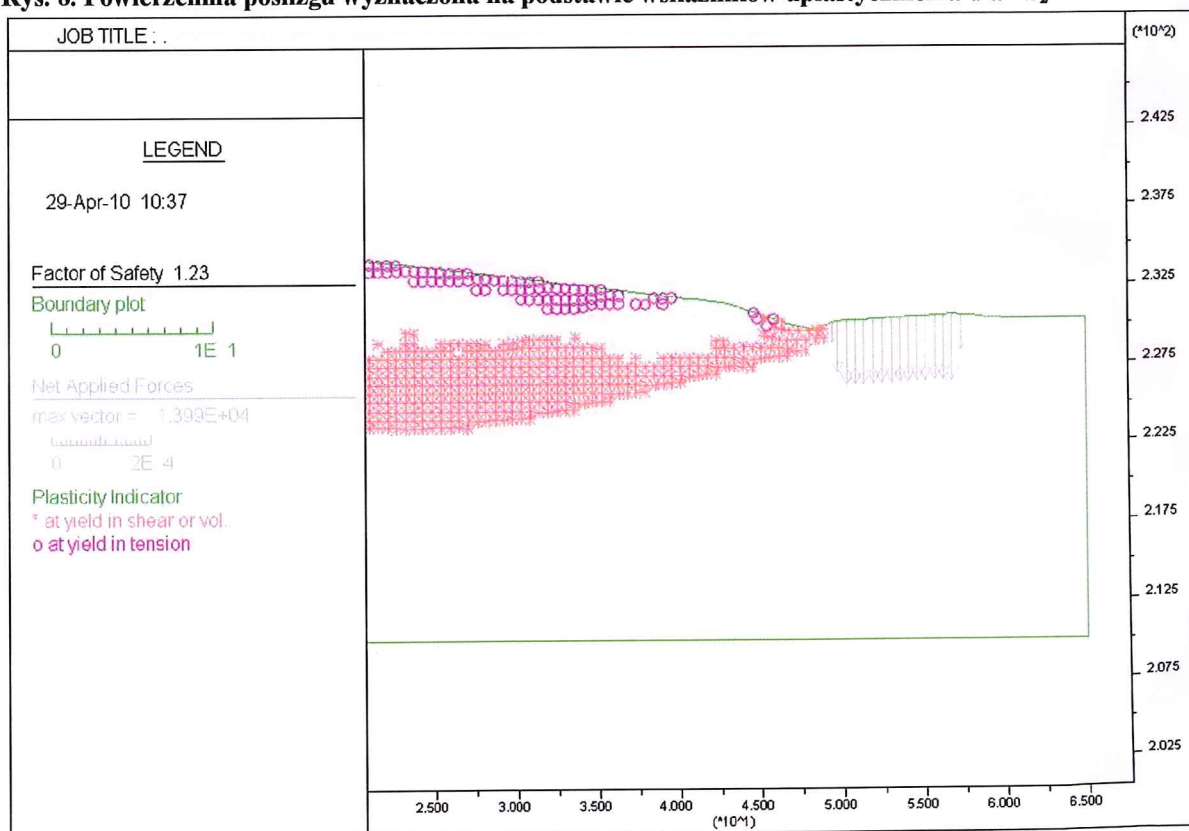
Rys. 6. Poziom ZWG - ustalony



Rys. 7. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie odkształceń postaciowych dla $FS_2=1.23$



Rys. 8. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie wskaźników uplastycznienia dla $FS_2=1.23$



Rys. 9. Wskaźniki uplastycznienia po lewej stronie drogi

Wnioski:

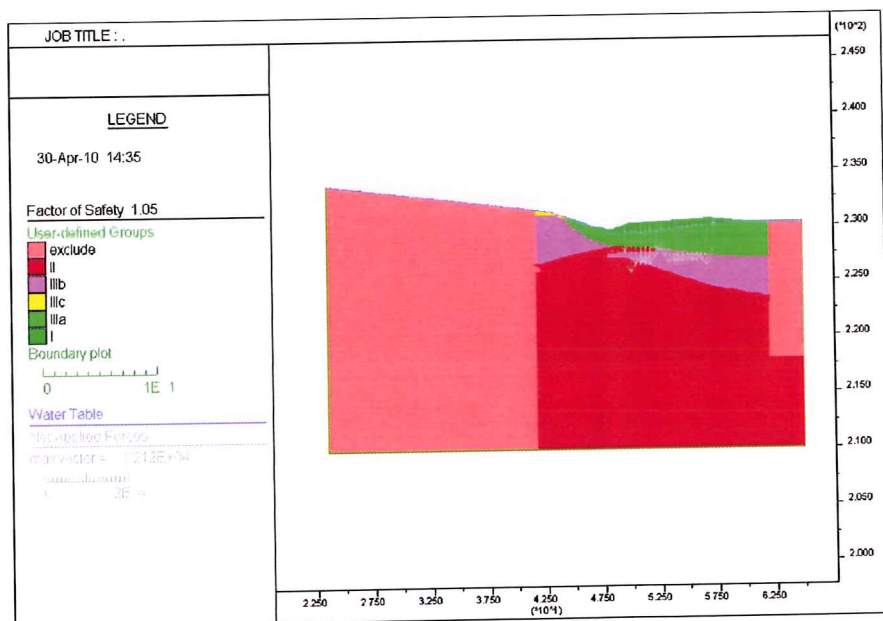
Dla przyjętych założeń i uwzględnionego poziomu wody gruntowej otrzymano wskaźnik stateczności wynoszący $FS_2=1.23$. Zatem analizowane zbocze jest stateczne, ale nie posiada wymaganego przepisami zapasu bezpieczeństwa. Powierzchnia poślizgu obejmuje całe zbocze i lewą stronę drogi (rys. 7, 8, 9). W związku z dużym wpływem wody na stateczność zbocza konieczne jest odpowiednie ujęcie i odprowadzenie wód gruntowych i opadowych.

4.3. Analiza odwrotna

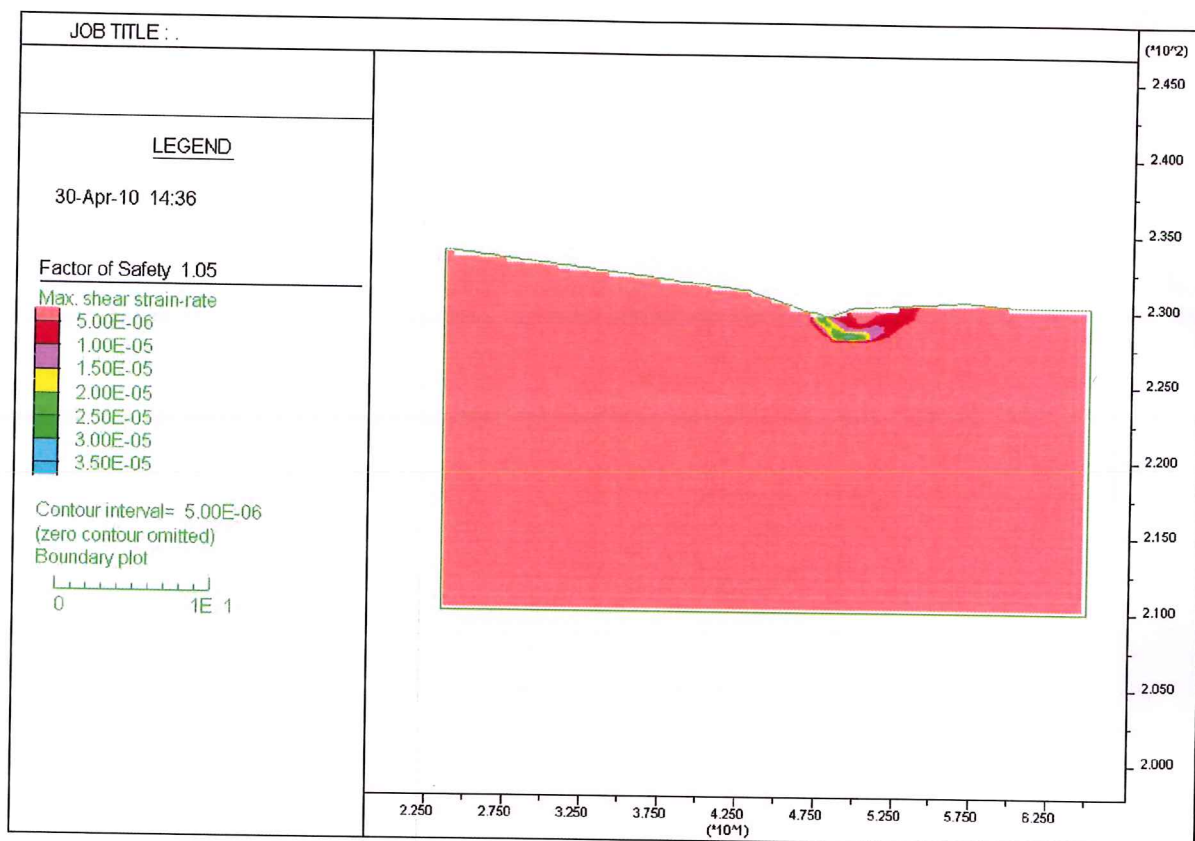
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla wariantu I i II otrzymano wskaźniki stateczności wyższe od 1, czyli analizowane zbocze jest stateczne, jednakże obserwacje wskazują na występujące w rejonie badań zjawiska osuwiskowe. Przejawy procesów osuwiskowych widoczne są po lewej stronie drogi i obejmują skarpę wykopu. W związku z tym przeprowadzono serię obliczeń w celu wyznaczenia metodą analizy odwrotnej parametrów warstw w podłożu drogi przy których, analizowana skarpa będzie na granicy stanu równowagi bądź będzie niestateczna. Warstwę IIIa będącą aktualnie w stanie miękkoplastycznym wytypowano jako główną przyczynę uszkodzeń drogi. Skomplikowane warunki hydrogeologiczne oraz infiltracja wody w obrębie podłoża drogi może przyczyniać się do osłabienia parametrów wytrzymałościowych ośrodka.

Właściwości wytrzymałościowe warstwy IIIa występującej bezpośrednio w podłożu wyznaczano obniżając proporcjonalnie zarówno kohezję jak i kąt tarcia. Model obliczeniowy ograniczono tylko do drogi i niewielkiej części zbocza. W obliczeniach uwzględniono występowanie obciążenia od ruchu drogowego wynoszące 25kPa.

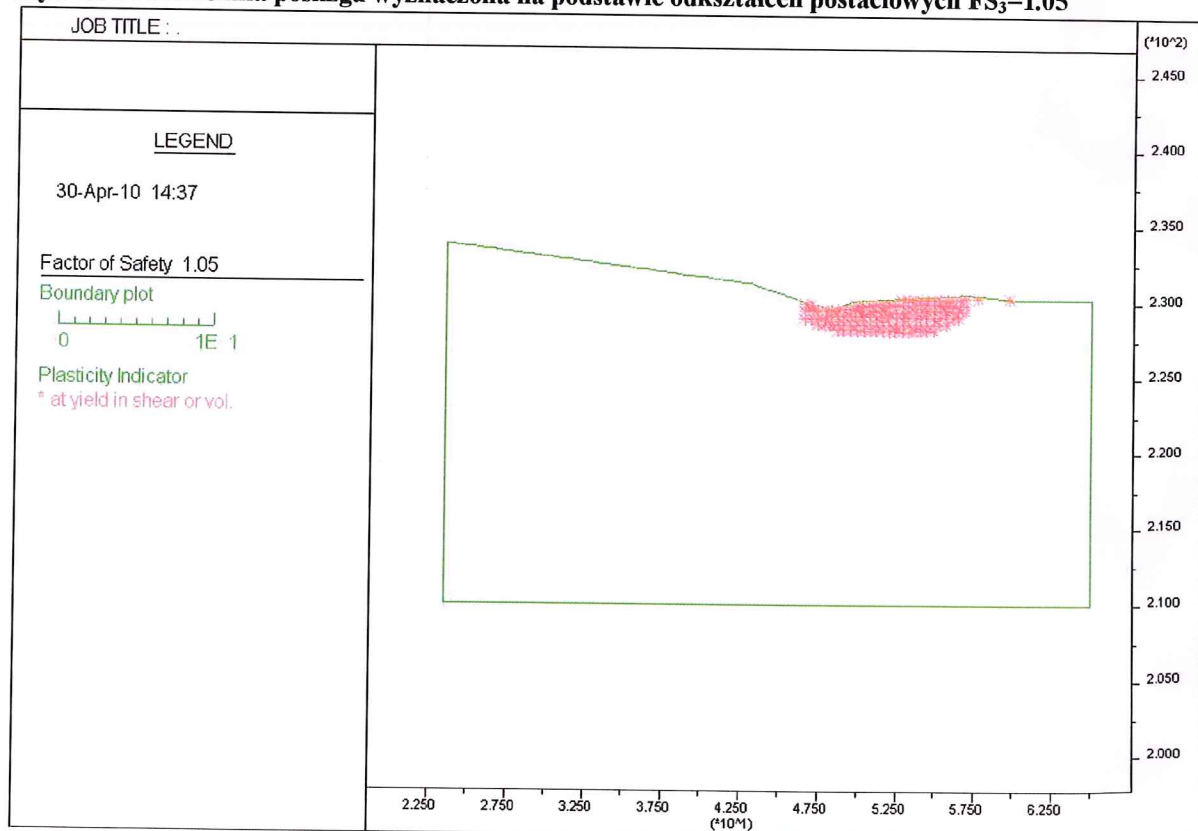
Na podstawie serii obliczeń stwierdzono, że przy kohezji wynoszącej 5,0 kPa, oraz kącie tarcia $2,20^\circ$ skarpa jest w stanie równowagi granicznej, a wartość wskaźnika stateczności dla tych parametrów wynosi $FS_3=1.05$.



Rys. 10. Model obliczeniowy

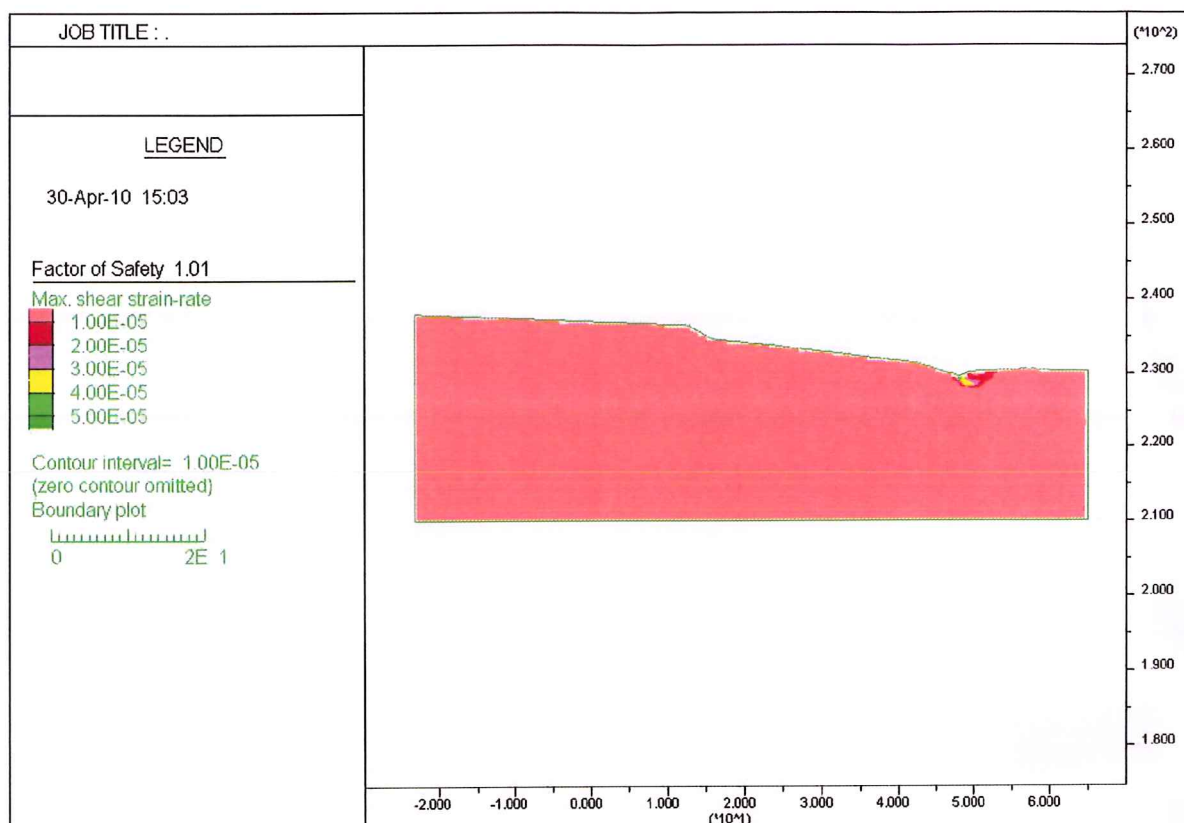


Rys. 11. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie odkształceń postaciowych $FS_3=1.05$

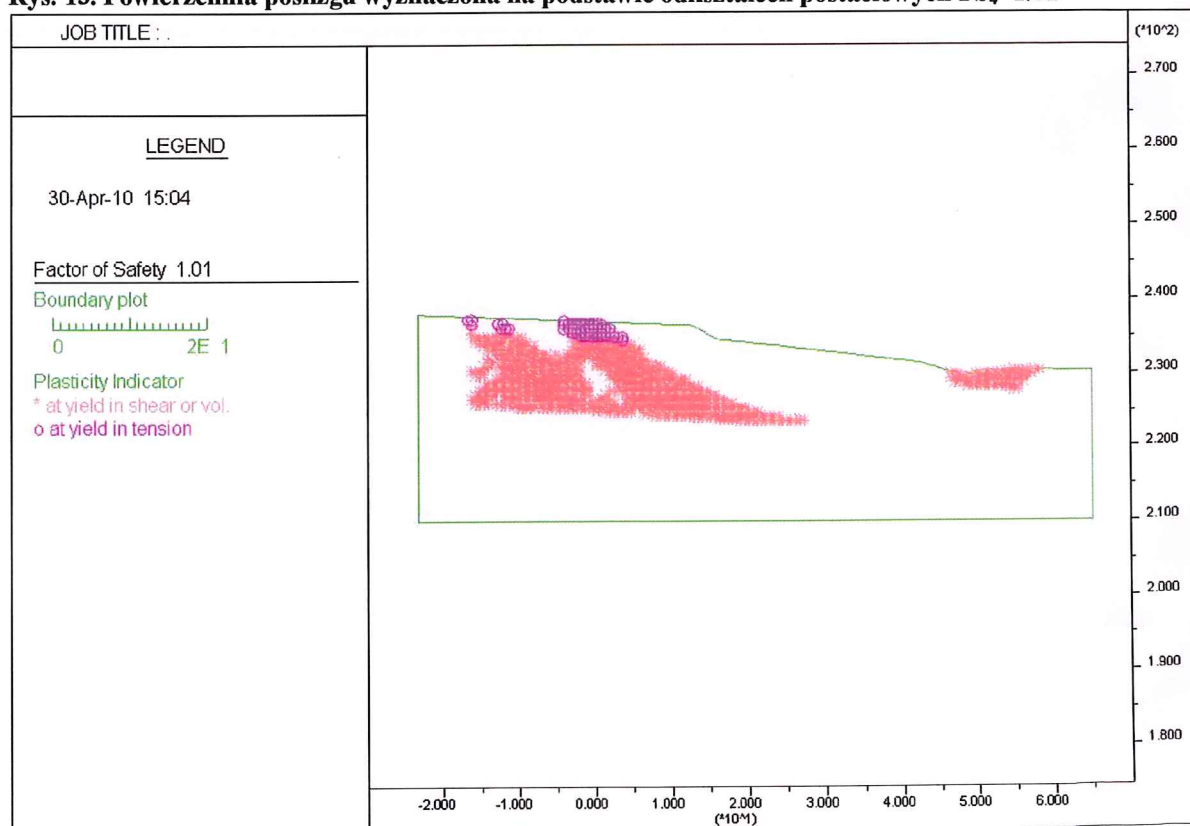


Rys. 12. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie wskaźników uplastycznienia $FS_3=1.05$

Dla nowych parametrów warstwy IIIa wykonano obliczenia dla całego zbocza. Parametry zmieniono tylko i wyłącznie w obrębie warstwy IIIa w podłożu drogi.



Rys. 13. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie odkształceń postaciowych $FS_4=1.01$



Rys. 14. Powierzchnia poślizgu wyznaczona na podstawie wskaźników uplastycznienia $FS_4=1.01$

Wnioski:

Wykonana seria obliczeń dla proporcjonalnie obniżanych parametrów wytrzymałościowych warstwy IIIa, wskazuje, iż dla kohezji równej 5,0 kPa oraz kąta tarcia wewnętrznego wynoszącego 2.2° analizowana droga znajduje się w stanie równowagi granicznej. Dla tak przyjętych warunków otrzymano wskaźnik stateczności wynoszący $FS_3=1.05$. Powierzchnia poślizgu obejmuje lewą część drogi (rys. 11) co odpowiada obserwacjom rzeczywistego osuwiska. Analizując wskaźniki uplastycznienia widać rozwój procesów zniszczenia pod dalszą częścią drogi.

Dla wyznaczonych nowych parametrów warstwy IIIa wykonano obliczenia dla całego zbocza. Parametry dla warstwy IIIa zmieniono tylko w podłożu drogi. Przy takich założeniach otrzymano wskaźnik stateczności wynoszący $FS_4=1.01$. Wyznaczona powierzchnia poślizgu obejmuje część drogi i skarpy wykopu (rys. 13). Analizując wskaźniki uplastycznienia widać dalszy rozwój procesów zniszczenia zarówno w obrębie drogi, jak i w środkowej części zbocza.

Reasumując, można stwierdzić, iż skomplikowane warunki hydrologiczne występujące w analizowanym rejonie, słabe parametry wytrzymałościowe warstwy w podłożu drogi przyczyniają się ruchów osuwiskowych. Prawdopodobnie warstwa IIIa występująca w podłożu drogi, pod wpływem wody gruntowej ma znacznie niższe właściwości wytrzymałościowe niż te wskazane badaniami polowymi, które były przeprowadzone w okresie suchym.

Uwzględnienie w obliczeniach nowych parametrów dla warstwy IIIa w obrębie drogi wskazuje, że analizowany rejon znajduje się w stanie równowagi chwiejnej i wpływ niekorzystnych czynników może spowodować dalszy rozwój procesów osuwiskowych.

5. Podsumowanie

Obliczenia stateczności wykonano dla warunków stwierdzonych badaniami polowymi w celu określenia stateczności skarpy w rejonie osuwiska w ciągu drogi nr 881, Sokółów Małopolski – Żurawica w miejscowości Pantalowice w km 45+200 – 45+350. Analizę przeprowadzono dla przekroju geologiczno-inżynierskiego 1-4, przechodzącego przez otwory nr 1-2-3-4. Osuwisko zlokalizowane w tym rejonie ma szerokość 20m (mierząc wzdłuż drogi nr 881). Po lewej stronie drogi widoczne są wyrzyszenia, spękania i przełomy. Teren objęty ruchem jest niewielki i ogranicza się do niewielkiej skarpy przy drodze, przydrożnego rowu i części drogi asfaltowej nr 881 (Dokumentacja geologiczna..., pkt 2.2).

Analizę stateczności wykonano dla dwóch wariantów:

- wariant I uwzględniał poziom ZWG nawiercony, przy takim założeniu otrzymano wskaźnik stateczności wynoszący $FS_1=1.42$. Zatem można stwierdzić, iż przy takich warunkach zbocze jest stateczne.

- wariant II poziom ustalony ZWG, otrzymując wartość wskaźnika stateczności wynoszącą $FS_2=1.23$. Analizowane zbocze jest stateczne, ale nie posiada wymaganego przepisami zapasu bezpieczeństwa.

Przebieg powierzchni poślizgu w obu przypadkach jest podobny. Powierzchnia poślizgu obejmuje znaczną część zbocza oraz lewą część drogi. Uruchomienie takiego osuwiska, może stanowić zagrożenie dla całej drogi. Na szczególną uwagę zasługują procesy zniszczenia zachodzące po lewej stronie drogi (rys. 9), które są zgodne z obserwacjami rzeczywistego osuwiska. Ich rozwój może przyczynić się do uruchomienia osuwiska o znacznie większym zasięgu.

W związku z tym, iż badania polowe były prowadzone w okresie suchym, można przypuszczać, iż w warunkach zawodnionych parametry wytrzymałościowe

ulegają znacznemu obniżeniu, stąd wartość wskaźnika stateczności będzie niższa i należy się liczyć z dalszym rozwojem osuwiska. W związku z tym przeprowadzono serię obliczeń w celu wyznaczenia metodą analizy odwrotnej parametrów warstw w podłożu drogi przy których, analizowana skarpa będzie na granicy stanu równowagi bądź będzie niestateczna. Analizę odwrotną przeprowadzono obniżając właściwości wytrzymałościowe warstwy IIIa zlokalizowanej w podłożu drogi aż do osiągnięcia wartości wskaźnika stateczności bliskiej 1. Dla tak wyznaczonych właściwości warstwy wykonano obliczenia dla całego zbocza. Otrzymano wskaźnik stateczności wynoszący $FS_4=1.01$, czyli zbocze znajduje się w stanie równowagi chwiejnej. Wyznaczona powierzchnia poślizgu obejmuje lewą stronę drogi (rys. 13). Analizując wskaźniki uplastycznienia można zauważyć rozwój procesów zniszczenia w obrębie drogi jak i w środkowej części zbocza (rys. 14). Można przypuszczać, iż pod wpływem obciążenia oraz skomplikowanych warunków hydrologicznych oraz infiltracji wody właściwości warstwy w podłożu drogi ulegają znacznemu osłabieniu.

Reasumując, pod wpływem wody stateczność zbocza znacznie się zmniejsza. Dlatego wskazane jest odpowiednie ujęcie oraz odprowadzenie wody gruntowej i powierzchniowej. W podłożu drogi występują utwory miękkoplastyczne o bardzo niskich parametrach, pod wpływem wody mogą one ulegać jeszcze pogorszeniu. Warstwa ta przyczyniać się będzie do deformacji nawierzchni drogowej. Dlatego sugerowana jest poprawa właściwości wytrzymałościowych warstw podłoża drogi. Brak zabezpieczenia aktualnego osuwiska może przyczynić się do rozwoju zjawisk osuwiskowych o zasięgu większym niż dotychczasowy .