

# **Dokumentacja techniczna prac rekultywacyjnych w wyrobisku „Piaseczno” – odwodnienie skarp**

*Kierownik:*

prof. dr hab. inż. Marek Cała

*Koordinator:*

dr inż. Krzysztof Polak

*Zespół:*

dr inż. Wacław Andrusikiewicz

dr inż. Jerzy Flisiak

dr inż. Kazimierz Różkowski

mgr inż. Joanna Jakóbczyk

mgr inż. Katarzyna Kubiszyn

*Konsultacje i weryfikacja:*

dr hab. inż. Jan Macuda

Kraków, marzec 2016 r

## Spis treści

SPIS TABEL.....	4
SPIS ILUSTRACJI.....	4
SPIS ZAŁĄCZNIKÓW.....	7
Wprowadzenie.....	8
Przegląd materiałów archiwalnych.....	10
Budowa geologiczna skarp wyrobiska „Piaseczno”.....	11
Warunki hydrogeologiczne w otoczeniu wyrobiska „Piaseczno”.....	13
Zmiany warunków hydrogeologicznych związane z rekultywacją wyrobisk.....	14
Jakość wód.....	17
Wyniki badań geofizycznych.....	19
Interpretacja wyników obserwacji i badań.....	22
Przyczyny deformacji zbocza w narożniku S zbiornika.....	24
Kierunek dalszych działań zabezpieczających.....	27
Koncepcja odwodnienia skarp otworami kierunkowymi.....	29
Odwodnienie otworami drenażowymi.....	29
Przewierty sterowane.....	30
Konstrukcja przewiertów sterowanych.....	31
Lokalizacja przewiertów sterowanych.....	33
Instalacja przewodu w otworze.....	34
Konstrukcja i zafiltrowanie otworów.....	35
Dobór średnicy rur PE 100.....	37
Obliczenia hydrauliczne drenów PE 100.....	40
Otwory drenażowe kierunkowe.....	41
Wykonywanie otworów.....	41
Lokalizacja otworów kierunkowych.....	42
Konstrukcja otworów drenażowych kierunkowych.....	43
Roboty ziemne.....	48
Płuczki wiertnicze.....	49
Warunki bezpieczeństwa i przeciwdziałanie zagrożeniom.....	49
Uaktywnianie, eksploatacja i renowacja otworów drenażowych.....	51
Analiza warunków stateczności.....	54
Wprowadzenie.....	54
Analiza stateczności zbocza północnego.....	58
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu.....</i>	58
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym.....</i>	59
Analiza stateczności zbocza wschodniego.....	61

Wyniki obliczeń dla przekroju DK-4.....	62
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>62</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym.....</i>	<i>63</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DK-5.....	64
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>64</i>
Analiza stateczności zbocza południowego .....	67
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>67</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym.....</i>	<i>68</i>
Analiza warunków stateczności rejonu południowo- zachodniego.....	69
Wprowadzenie .....	69
Wyniki obliczeń w przekroju DK-10.....	70
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>70</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym.....</i>	<i>71</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DK-11 .....	72
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>72</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym.....</i>	<i>73</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DS-1 .....	74
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>74</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym .....</i>	<i>75</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DS-2 .....	77
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>77</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym .....</i>	<i>78</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DS-3 .....	79
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>79</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym.....</i>	<i>80</i>
Wyniki obliczeń w przekroju DS-4 .....	81
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>81</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym.....</i>	<i>82</i>
Analiza warunków stateczności zbocza zachodniego .....	84
<i>Obliczenia dla stanu bez drenażu .....</i>	<i>84</i>
<i>Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym.....</i>	<i>85</i>
Wnioski wynikające z analiz stateczności.....	86
Podsumowanie i wnioski końcowe .....	89
Spis wykorzystanych materiałów źródłowych .....	93
ZAŁĄCZNIKI.....	96

## SPIS TABEL

Tabela 1. Uśrednione profile litologiczne zboczy wyrobiska "Piaseczno" .....	12
Tabela 2. Wyniki oznaczeń wybranych parametrów fizyko - chemicznych wycieków .....	18
Tabela 3. Właściwości materiału wykorzystanego do produkcji rur PE100 .....	33
Tabela 4. Lokalizacja oraz parametry otworów HDD – numeracja wg kolejności wykonywania.....	34
Tabela 5. Zestawienie materiałów dla przewiertów sterowanych wykonanych w technologii HDD – segmenty filtrowe.....	36
Tabela 6. Zestawienie materiałów dla przewiertów sterowanych wykonanych w technologii HDD – segmenty pełne .....	36
Tabela 7. Zarurowanie otworów drenażowych wykonanych w technologii PE.....	37
Tabela 8. Obliczenia wytrzymałościowe dla rur PE.....	39
Tabela 9. Obliczenia hydrauliczne drenów wykonanych w technologii HDD.....	40
Tabela 10. Parametry podstawowe i lokalizacja otworów kierunkowych.....	43
Tabela 11. Charakterystyka składu chemicznego stali nierdzewnej, gatunek: 1.4571 (H17N13M2T/H18N10MT, X6CrNiMoTi17-12-2), 316 Ti .....	44
Tabela 12. Specyfikacja techniczna konstrukcji rur filtrowych – otwory kierunkowe .....	45
Tabela 13. Zestawienie materiałów do zabudowy drenów w otworach wierconych kierunkowych .....	47
Tabela 14. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-1 .....	61
Tabela 15. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-4.....	64
Tabela 16. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-5.....	67
Tabela 17. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-8.....	69
Tabela 18. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-10.....	72
Tabela 19. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-11 .....	74
Tabela 20. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-1.....	76
Tabela 21. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-2.....	79
Tabela 22. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-3.....	81
Tabela 23. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-4.....	84
Tabela 24. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-7.....	86

## SPIS ILUSTRACJI

Rys. 1. Rozmieszczenie piezometrów w otoczeniu zbiornika Piaseczno.....	15
Rys. 2. Wydajności systemu odwodnienia oraz rzędne zwierciadła wody w wyrobisku Piaseczno oraz jego otoczeniu.....	15
Rys. 3. Kształtowanie się zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowym i zbiorniku Piaseczno .....	16
Rys. 4. Kształtowanie się zwierciadła wody w piętrze neogeńskim oraz w zbiorniku Piaseczno .....	17
Rys. 5. Ciśnienie porowe w przekroju S1 – S5 w odniesieniu do powierzchni terenu, zbocze S .....	20
Rys. 6. Ciśnienie porowe w przekroju S6 – S8 w odniesieniu do powierzchni terenu, zbocze S .....	20
Rys. 7. Ciśnienie porowe w przekroju S1 – S4 w odniesieniu do powierzchni terenu – rejon niszy osuwiskowej.....	21
Rys. 8. Ciśnienie porowe w przekroju S6 – S9 w odniesieniu do powierzchni terenu – rejon niszy osuwiskowej.....	21

Rys. 9. Narożnik SE wyrobiska przed profilowaniem zbocza (fot. KS Machów) .....	24
Rys. 10. Narożnik SE wyrobiska (fot. K. Polak. 17.07.2010).....	25
Rys. 11. Wypływ z narożnika SE wyrobiska (fot. K. Polak, 16.07.2015).....	25
Rys. 12. Narożnik SE wyrobiska (fot. K. Polak, 17.07.2015 r.).....	26
Rys. 13. Lokalizacja przekrojów obliczeniowych.....	57
Rys. 14. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-1– stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	58
Rys. 15. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	58
Rys. 16. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	59
Rys. 17. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-1 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	59
Rys. 18. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	60
Rys. 19. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	61
Rys. 20. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-4 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	62
Rys. 21. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	63
Rys. 22. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-4 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	63
Rys. 23. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	64
Rys. 24. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-5– stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	64
Rys. 25. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-5 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	65
Rys. 26. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-5 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	66
Rys. 27. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-5 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	66
Rys. 28. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-8 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	67
Rys. 29. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-8 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	68
Rys. 30. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-8 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	68
Rys. 31. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-8 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	69
Rys. 32. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-10 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	70
Rys. 33. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-10 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	70
Rys. 34. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-10 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	71
Rys. 35. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-10 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.....	71
Rys. 36. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-11 – stan aktualny bez	

drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	72
Rys. 37. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-11 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	73
Rys. 38. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-11– stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	73
Rys. 39. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-11 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	74
Rys. 40. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-1 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	74
Rys. 41. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	75
Rys. 42. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-1 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	75
Rys. 43. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	76
Rys. 44. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-2 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	77
Rys. 45. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-2 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	78
Rys. 46. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-2 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	79
Rys. 47. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-3 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	79
Rys. 48. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-3 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	80
Rys. 49. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-3 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	80
Rys. 50. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-3 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	81
Rys. 51. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-4 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	81
Rys. 52. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	82
Rys. 53. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-4 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	82
Rys. 54. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	83
Rys. 55. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-7 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	84
Rys. 56. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-7 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	85
Rys. 57. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-7 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	85
Rys. 58. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-7 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m. ....	86

## SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

- Załącznik 1. Mapa – lokalizacja otworów drenażowych w skali 1:2000
- Załącznik 2. Profil otworu DS-1
- Załącznik 3. Profil otworu DS-2
- Załącznik 4. Profil otworu DS-3
- Załącznik 5. Profil otworu DS-4
- Załącznik 6. Profil otworu DS-5
- Załącznik 7. Profil otworu DS-6
- Załącznik 8. Profil otworu DS-7
- Załącznik 9. Profil otworu DS-8
- Załącznik 10. Profil otworu DS-9
- Załącznik 11. Profil otworu DK-1
- Załącznik 12. Profil otworu DK-2
- Załącznik 13. Profil otworu DK-3
- Załącznik 14. Profil otworu DK-4
- Załącznik 15. Profil otworu DK-5
- Załącznik 16. Profil otworu DK-6
- Załącznik 17. Profil otworu DK-7
- Załącznik 18. Profil otworu DK-8
- Załącznik 19. Profil otworu DK-9
- Załącznik 20. Profil otworu DK-10
- Załącznik 21. Profil otworu DK-11
- Załącznik 22. Konstrukcja drenu DK-1
- Załącznik 23. Konstrukcja drenu DK-2
- Załącznik 24. Konstrukcja drenu DK-3
- Załącznik 25. Konstrukcja drenu DK-4
- Załącznik 26. Konstrukcja drenu DK-5
- Załącznik 27. Konstrukcja drenu DK-6
- Załącznik 28. Konstrukcja drenu DK-7
- Załącznik 29. Konstrukcja drenu DK-8
- Załącznik 30. Konstrukcja drenu DK-9
- Załącznik 31. Konstrukcja drenu DK-10
- Załącznik 32. Konstrukcja drenu DK-11
- Załącznik 33. Przedmiar robót
- Załącznik 34. Kosztorys robót

## Wprowadzenie

Wyrobisko "Piaseczno" jest zlokalizowane na terenie gmin Łoniów i Koprzywnica w powiecie sandomierskim, w województwie świętokrzyskim. Tereny pogórnice położone są na lewym brzegu Wisły, której koryto jest oddalone około 1500 m. Na znacznej części wyrobiska utworzył się zbiornik wodny zasilany dopływami z utworów czwartorzędowych i neogeńskich oraz wodami z opadów atmosferycznych.

Docelowe napełnienie zbiornika "Piaseczno" (do rzędnej 146 m n.p.m.) niesie ze sobą zagrożenie w postaci podtopienia terenów położonych w obrębie istniejącego obecnie (2016 r.) leja depresji. Ochronę przed skutkami odbudowy stosunków wodnych może zapewnić właściwie zaprojektowany system drenażowy.

Obecnie, zwierciadło wody w zbiorniku Piaseczno utrzymywane jest na rzędnej +138 m. n.p.m., tj ok. 8 m poniżej prognozowanej rzędnej docelowej. Utrzymanie, poprzez pompowanie napływających do zbiornika wód, obniżonej rzędnej lustra wody zabezpiecza tereny przyległe przed ich podtopieniem. Wyrobisko Piaseczno, po wyłączeniu pompowania wód podziemnych w rejonie Machowa, jest obecnie najniższym położonym ośrodkiem drenażowym w rejonie Tarnobrzega. Niestety przynosi to niepożądane skutki, w postaci występowania znaczącego gradientu ciśnienia wód podziemnych w otoczeniu wyrobiska. Napływ wód podziemnych zakłóca warunki równowagi stateczności skarp i zboczy wyrobiska, które uformowano w warunkach lądowych. Zmiana zawodnienia utworów geologicznych w obrębie wyrobiska, powoduje nasilenie niepożądanych zjawisk osuwiskowych. Stanowią one zagrożenie dla otoczenia wyrobiska, jego przyszłych użytkowników, a obecnie także dla pracującej w obrębie odkrywki załogi.

Głównym celem niniejszej dokumentacji jest opracowanie technologii odwodnienia otoczenia wyrobiska, a w szczególności:

- polepszenie parametrów geotechnicznych skarp nadwodnych poprzez ich grawitacyjne odwodnienie,
- zwiększenie zasięgu oddziaływania odwodnienia wyrobiska na tereny przylegające do wyrobiska "Piaseczno".

Rekultywacja wyrobiska odbywa się poprzez wyprofilowanie zboczy i tym samym wykonanie warstwy izolującej odsłonięte skarpy rudy siarkowej i dna wyrobiska. Z dotychczas opracowanych ekspertyz dotyczących rekultywacji wyrobiska „Piaseczno” wynika, że spychany do wody, rozluźniany materiał ilasty ulega rozmakaniu i procesom pełzania. Z badań parametrów geotechnicznych zwałowych gruntów ilastych wynika, że przy wilgotności 44-45%, przy kącie tarcia wewnętrznego 2,43-3,15° utwory te mogą



mieć spójność zbliżoną do zera. W wyniku pełzania podwodnej skarpy formowanej z rozluźnianych i nawodnionych iłów kąt nachylenia zbocza jest zbliżony do kąta tarcia wewnętrznego. Zakłada się, że docelowe nachylenie ukształtowanej podwodnej skarpy ilastej w wyniku tych procesów wynosi  $\alpha = 3-5^\circ$ . Zasadność tego założenia potwierdza analiza profili podwodnych skarp zachodniego zbocza wyrobiska formowanych w zailonych gruntach zwałowiska wewnętrznego. Przy wysokości formowanej pod wodą skarpy 10 m, maksymalny zasięg pełzania iłów wynosi od 115 do 190 m. Przy takim zasięgu strefy pełzania skarpy 1łowe przysłaniają bardzo dużą część dna wyrobiska. Przemieszczające się po jego dnie masy ilaste zwiększają zasięg warstwy uszczelniającej.

Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że warstwa izolująca nie jest jednak ciągła. Posiada ona zapewne zmienną miąższość. Warunkiem pełnej izolacji jest ciągłość warstwy izolującej oraz minimalny gradient hydrauliczny, warunkujący brak wymiany wody pomiędzy zbiornikiem a warstwami wodonośnymi. Na skutek prowadzonego odpompowywania wód z rzędnej +138 m npm, gradient ciśnienia wód podziemnych jest znaczący i dochodzi, w różnych partiach wyrobiska nawet do 4%, co powoduje, że wysoko zmineralizowane wody podziemne napływają do wyrobiska z wydajnością większą niż napływały przed wyłączeniem bariery studziennej, odwadniającej wyrobisko odkrywkowe w Machowie. Z dotychczasowych badań i obserwacji wiadomo, że oba wyrobiska znajdowały się w pośrednim kontakcie hydraulicznym.

Z powyższego wynika, że uformowanie się docelowych warunków hydrogeologicznych jest uwarunkowane zatrzymaniem odwodnienia w wyrobisku „Piaseczno”. Tak długo jak nie zostanie wykonana melioracja terenów przyległych, zbiornik nie będzie zbiornikiem statycznym. Drenaż zbiornika powoduje zatem, że warunki i procesy zachodzące w jego bezpośrednim sąsiedztwie mają charakter dynamiczny prowadzący do przeobrażenia jego otoczenia, w tym: pełzania zboczy, rozmywania skarp oraz erozji powierzchni odsłoniętych, przeznaczonych do zatopienia powierzchni terenu.

Zaprzestanie odwodniania spowoduje ustabilizowanie warunków krążenia wody, zmniejszenie wydajności strumienia wód podziemnych oraz powolną stabilizację warunków hydrogeochemicznych, warunkujących powolne samooczyszczanie się zbiornika.

Przedmiotem niniejszej dokumentacji jest zaproponowanie rozwiązań tymczasowych, zwiększających poziom bezpieczeństwa otoczenia zbiornika wodnego w hydrodynamicznych warunkach jego funkcjonowania. Zaproponowane rozwiązania mają, jak wszystkie rozwiązanie inżynierskie, swój okres funkcjonowania. Należy z całą stanowczością podkreślić, że jedynym docelowym rozwiązaniem dla zlewni lewobrzeżnej

Wisły w rejonie „Piaseczna” jest wykonanie melioracji terenów zagrożonych podtopieniami.

Należy także zauważyć, że w związku z podniesieniem zwierciadła wody do stropu warstw trzeciorzędowych oraz zaprzestaniem odwadniania trzeciorzędowego poziomu wodonośnego w rejonie Machowa, obecnie nie występują warunki do poprawy stateczności skarp trzeciorzędowych. Ingerencja w te struktury wymagałaby zmniejszenia ciśnień hydrodynamicznych, co wydaje się obecnie nierealne z przyczyn technicznych i ekonomicznych.

## Przegląd materiałów archiwalnych

Wstępna ocena możliwości całkowitego napełnienia poeksploatacyjnego została opracowana przez P.U. SIGMA S.A. w opracowaniu pt. *Ekspertyza określająca warunki techniczno-ekonomiczne wariantowego sposobu zabezpieczenia terenów w zasięgu leja depresji w zależności od różnych poziomów docelowego lustra wody w wyrobisku "Piaseczno" w 2009 roku*. Z opracowania wynika, że napełnienie zbiornika "Piaseczno" do docelowej rzędnej 146 m n.p.m. niesie ze sobą zagrożenie w postaci podtopienia terenów położonych w obrębie istniejącego obecnie leja depresji. Powrót do pierwotnych warunków glebowo-wodnych (kierunek proekologiczny) spowodowałby duże szkody w obecnym stanie zagospodarowania terenów objętych zasięgiem oddziaływania leja depresyjnego. Na terenach lewobrzeżnej Wisły, w rejonie Piaseczna, rozwija się głównie gospodarka sadownicza. Można ocenić, że sady stanowią obecnie około 70 % powierzchni gruntów rolnych. Stwierdzono ponadto, że budowa docelowego systemu melioracyjnego przy napełnieniu zbiornika do rzędnej 146 m n.p.m. jest najlepszym rozwiązaniem w zakresie regulacji stosunków wodno-gruntowych na terenach znajdujących się w zasięgu depresyjnego oddziaływania likwidowanego wyrobiska w Piasecznie. Natomiast wariant polegający na tymczasowym napełnieniu zbiornika do wysokości 138 m n.p.m., należy traktować jako dopuszczalny, lecz jednocześnie przejściowy. Stan napełnienia zbiornika "Piaseczno" do poziomu 138 m n.p.m. winien być utrzymywany (dzięki pracy przebudowanego stanowiska pompowego) do czasu wybudowania docelowego systemu melioracyjnego na terenach zagrożonych podtopieniami. Rozwiązanie takie umożliwi doraźne wykorzystanie drenującej funkcji częściowo napełnionego zbiornika "Piaseczno" do utrzymania wód podziemnych na terenach przyległych do wyrobiska na poziomie zbliżonym do obecnego. Umożliwi to użytkowanie terenów, znajdujących się w zasięgu depresyjnego oddziaływania odwodnienia, zgodnie z dotychczasowym przeznaczeniem.

W pracy Hydroprojektu i P.U. SIGMA S.A. pt. *Likwidacja wyrobiska po byłej Kopalni Siarki „Piaseczno - Ekspertyza dotycząca możliwych sposobów ograniczenia*

*dopływu wód neogeńskich do zbiornika* omówiono kilka sposobów izolacji skarp serii chemicznej w wyrobisku. Jednym z nich był aktualnie realizowany sposób. Polega on na częściowej izolacji odsłoneń serii chemicznej masami ziemnymi pozyskiwanymi w trakcie profilowania skarp nadwodnych wyrobiska. Sposób ten jest najtańszy i najprostszy w wykonaniu jednak nie gwarantuje uzyskania pełnej izolacji serii chemicznej.

W II etapie w/w pracy dokonano analizy warunków techniczno-ekonomicznych poszczególnych wariantów oraz wstępnej wyceny kosztów ich realizacji. Zdaniem autorów wspomnianej ekspertyzy wszystkie siły i środki należy podporządkować najważniejszym celom, tj.:

- zakończeniu prac związanych z kształtowaniem czaszy zbiornika jak i najwcześniejszym rozpoczęciu jego docelowego napełniania,
- wykonaniu prac zabezpieczających tereny przyległe do wyrobiska przed podtopieniem (budowa systemu melioracyjno - drenażowego).

## **Budowa geologiczna skarp wyrobiska „Piaseczno”**

Budowa geologiczna skarp nadwodnych i podwodnych wyrobiska Piaseczno jest wynikiem przeprowadzonych prac górniczych, związanych z eksploatacją rudy siarkowej, a także prac rekultywacyjnych.

W profilu pionowym utwory rodzime, tj. niezaburzone pracami inżynierskimi, reprezentowane są przez czwartorzędowe, piaszczysto-żwirowe osady doliny Wisły. Udział żwirów wzrasta ku spągowi, natomiast w stropie występują głównie piaski drobnoziarniste, niekiedy zailone. Miąższość osadów czwartorzędowych jest zmienna i wynosi zwykle od 5 do 25 m.

W dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [25.], stwierdzono występowanie rynny erozyjnej w stropie łów trzeciorzędowych. Na skarpie południowej jej występowanie potwierdzają dane uzyskane z otworów dokumentujących złoża siarki oraz obserwacje terenowe. Przebieg rynny erozyjnej na skarpie wschodniej jest bardziej problematyczny. W otworach złożowych zlokalizowanych w tym rejonie nie obserwowano zwiększonej miąższości utworów czwartorzędowych.

Na podstawie analizy materiałów archiwalnych ustalono uśrednione profile litologiczne dla zboczy wyrobiska "Piaseczno". Miąższości i głębokości spągu poszczególnych wydziałów (tabela 1.) określono na podstawie profili otworów dokumentacyjnych wykonanych na różnych etapach dokumentowania złoża siarki rodzimej, otworów piezometrycznych oraz otworów wykonanych w zwałowisku wewnętrznym.

Tabela 1. Uśrednione profile litologiczne zboczy wyrobiska "Piaseczno"

Wydzielenie litologiczne	Miaższość [m]	Głębokość spągu [m p.p.t.]
<b><i>zbocze południowo-wschodnie</i></b>		
utwory czwartorzędowe	15,5	15,5
iły krakowieckie	18,2	33,7
seria chemiczna	7,5	41,2
warstwy baranowskie	~ 25,8	~ 67,0
kambr	~ 1000,0	
<b><i>zbocze wschodnie</i></b>		
utwory czwartorzędowe	13,9	13,9
iły krakowieckie	23,0	36,9
seria chemiczna	5,8	42,7
warstwy baranowskie	~ 24,3	~ 67,0
kambr	~ 1000,0	
<b><i>zbocze północne</i></b>		
utwory czwartorzędowe	15,6	15,6
iły krakowieckie	16,6	32,2
seria chemiczna	5,9	38,1
warstwy baranowskie	~ 28,9	~ 67,0
kambr	~ 1000,0	
<b><i>zbocze zachodnie</i></b>		
grunty nasypowe zwałowiska wewnętrznego	29,0	29,0
iły krakowieckie	-	-
seria chemiczna	~ 1,0	~ 30,0
warstwy baranowskie	~ 37,0	~ 67,0
kambr	~ 1000,0	

W ramach prowadzonych prac rekultywacyjnych skarpy nawodne i podwodne uległy znacznemu przeobrażeniu. Utwory rodzime, a także zwałowe zalegające w obrębie zwałowiska wewnętrznego, zostały przesunięte w ramach niwelacji brzegów przyszłego zbiornika. Nadmiar mas ziemnych został wykorzystany do złagodzenia nachyleń skarp i zboczy. Przemieszane utwory nasypowe, stanowią także przypory blokujące napływ wód podziemnych do zbiornika końcowego O/Piaseczno. Tezę tą potwierdzają badania i pomiary hydrogeologiczne prowadzone w ramach monitoringu hydrogeologicznego.

## Warunki hydrogeologiczne w otoczeniu wyrobiska „Piaseczno”

Czwartorzędowe piętro wodonośne występuje w piaszczysto-żwirowych osadach rzecznych i rzeczno-lodowcowych, zalegających prawie ciągłą warstwą na nieprzepuszczalnym trzeciorzędowym podłożu. Utworów czwartorzędowych pozbawiony jest obszar wyrobiska, w obrębie którego prowadzono działalność górnictwa.

Czwartorzędowa warstwa wodonośna poza obszarem wyrobiska końcowego najczęściej cechuje się dwudzielnością litologiczno-sedymentacyjną, w której część stropową stanowią piaski, natomiast spągową - żwiry. Spotyka się jednak sytuacje, gdy w profilu pojawia się tylko jeden rodzaj osadów. Miejscami w warstwie wodonośnej występują przewarstwienia lub wkładki utworów niewodonośnych lub słabo przepuszczalnych - glin lub pyłów.

Zwierciadło wody poziome czwartorzędowe ma przeważnie charakter swobodny. W warunkach naturalnych głównym źródłem zasilania utworów wodonośnych była infiltracja opadów atmosferycznych, praktycznie na całym obszarze ich zalegania. Wisła, oraz jej lewobrzeżny dopływ Koprzywianka, stanowiły podstawę drenażową dla wód podziemnych. Obecnie pełni ją lokalnie wyrobisko pogórnictwa.

Pomiary hydrogeologiczne prowadzone w sieci piezometrycznej wokół wyrobiska wskazują na podobne ukształtowanie zwierciadła wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym i trzeciorzędowym. Na szczególną uwagę zasługuje fakt zwiększonego gradientu hydraulicznego w obrębie zwałowiska wewnętrznego, tj. na zboczu zachodnim i południowo-zachodnim wyrobiska. Stosunkowo stromy lej depresji świadczy o pogorszonych parametrach hydrogeologicznych utworów budujących zbocza wyrobiska, co jest efektem nieselektywnego zwałowania utworów nadkładowych. Skutkiem tego jest zwiększony napór hydrauliczny na utwory zwałowe oraz przeformowanie kierunku strumienia wód podziemnych w obrębie wyrobiska. W obrębie zwału w grudniu 2015 roku zwierciadło wód podziemnych kształtowało się na rzędnych: 143,16 m npm (piezometr Z-5) oraz 141,96 m npm (piezometr Z-6). Tymczasem w narożniku południowo-wschodnim wyrobiska zwierciadło wód podziemnych osiągnęło rzędnię 143,35 m npm (piezometr 29Pa”). W tym rejonie, w 2015 roku obserwowano osuwisko, którego dalszy ewentualny rozwój zagraża infrastrukturze powierzchniowej (np. droga, rurociąg głównego odwadniania, wodociąg, pozioma linia zasilania).

Jest wysoce prawdopodobne, że wzrost ciśnienia w piętrze czwartorzędowym jest wynikiem zaprzestania odwadniania poziomego trzeciorzędowego w rejonie Machowa. Wraz z zatrzymaniem pompowania dokonano także spiętrzenia wody w obrębie wyrobiska Piaseczno.

W warunkach naturalnych czwartorzędowe i trzeciorzędowe piętra wodonośne oddzielone były od siebie kompleksem utworów słabo przepuszczalnych, zwanych łąkami

krakowieckimi. Brak takiej izolacji istniał jedynie w strefie podczwartorzędowych wychodni serii chemicznej i warstw baranowskich na lewym brzegu Wisły, w rejonie miejscowości Koprzywnica i Świniary, gdzie następuje zasilanie wód trzeciorzędowych w strefach bezpośredniego kontaktu hydraulicznego z czwartorzędowym nadkładem. Zdecydowany wzrost miąższości utworów izolujących obserwowany jest w kierunku południowo-wschodnim. W rejonie pobliskiego Machowa miąższość ilów krakowieckich osiąga około 100 m.

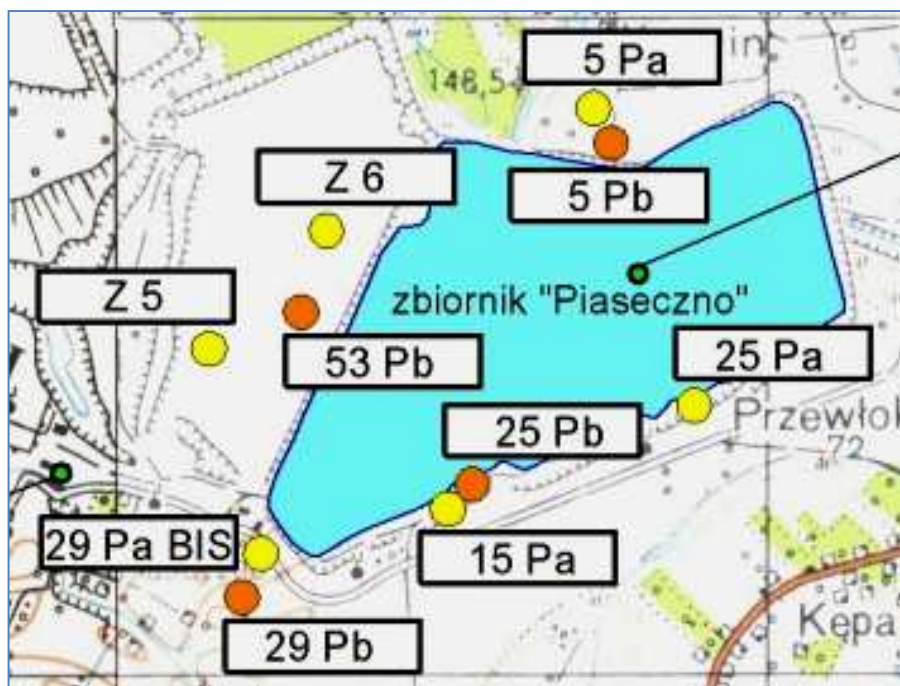
Występowanie warstw nieprzepuszczalnych, oddzielających czwartorzędowy i trzeciorzędowy poziom wodonośny, ograniczało wymianę wód. Wody podziemne w utworach trzeciorzędowych miały charakter naporowy, a zwierciadło kształtowało się na rzędnych +147 do +151 m npm. Ponieważ wysokość ciśnienia była podobna do ciśnienia w utworach czwartorzędowych, można założyć, że poziomy znajdowały się w kontakcie hydraulicznym w obrębie tzw. okien hydrogeologicznych lub głębokich wymyć erozyjnych. Rolę okna hydrogeologicznego pełni obecnie wyrobisko Piaseczno, w obrębie którego doszło do usunięcia naturalnej izolacji poziomów wodonośnych.

Górnice roboty udostępniające i eksploatacyjne, prowadzone początkowo w rejonie Piaseczna, a później Machowa, doprowadziły do usunięcia naturalnej warstwy izolacyjnej. Powstały w ten sposób sztuczny kontakt hydrauliczny obejmuje obszar aktualnego zbiornika wodnego w wyrobisku poeksploatacyjnym kopalni "Piaseczno". Na skutek przyjętego sposobu rekultywacji w rejonie Machowa, izolacja poziomów wodonośnych w tym rejonie została przywrócona.

Naturalne warunki hydrogeologiczne i odkrywkowy sposób udostępnienia złoża, a także obserwowane reakcje systemów odwadniających na zachodzące zmiany, wskazują na istnienie pośrednich rozległych połączeń hydraulicznych. Wzajemne oddziaływanie obu kopalń było wyraźne w okresie prowadzenia przez nie działalności górniczej i utrzymuje się również podczas trwania prac likwidacyjnych. Po zakończeniu prac rekultywacyjnych stan środowiska naturalnego będzie zbliżony do warunków pierwotnych, istniejących przed rozpoczęciem eksploatacji złóż siarki, o ile nastąpi zakończenie odwadniania wyrobiska Piaseczno.

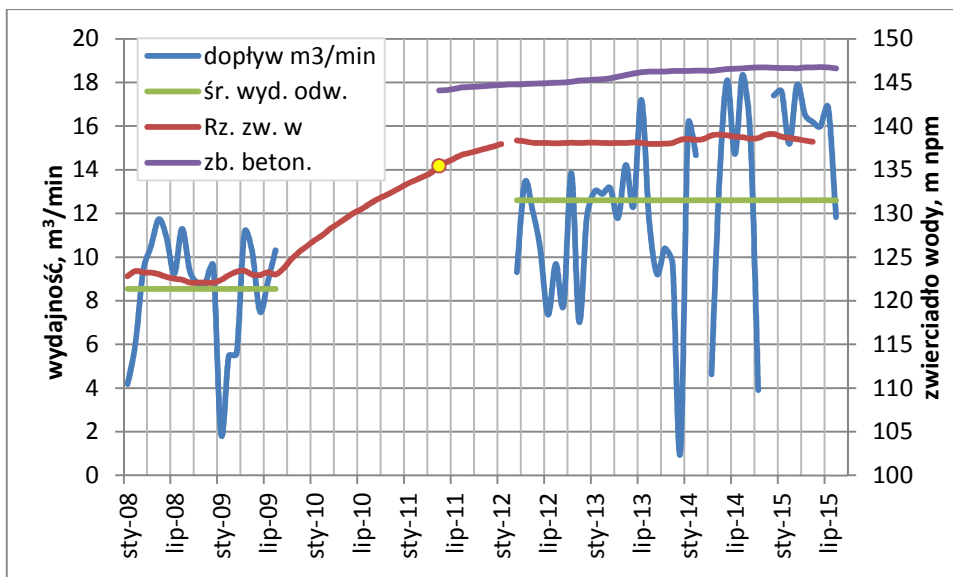
### **Zmiany warunków hydrogeologicznych związane z rekultywacją wyrobisk**

W otoczeniu wyrobiska Piaseczno zlokalizowanych jest 10 piezometrów zafiltrowanych w utworach czwartorzędowych i neogeńskich, w których monitoring prowadzą służby KS Machów S.A. w likwidacji. Szkic ich rozmieszczenia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie piezometrów w otoczeniu zbiornika Piaseczno

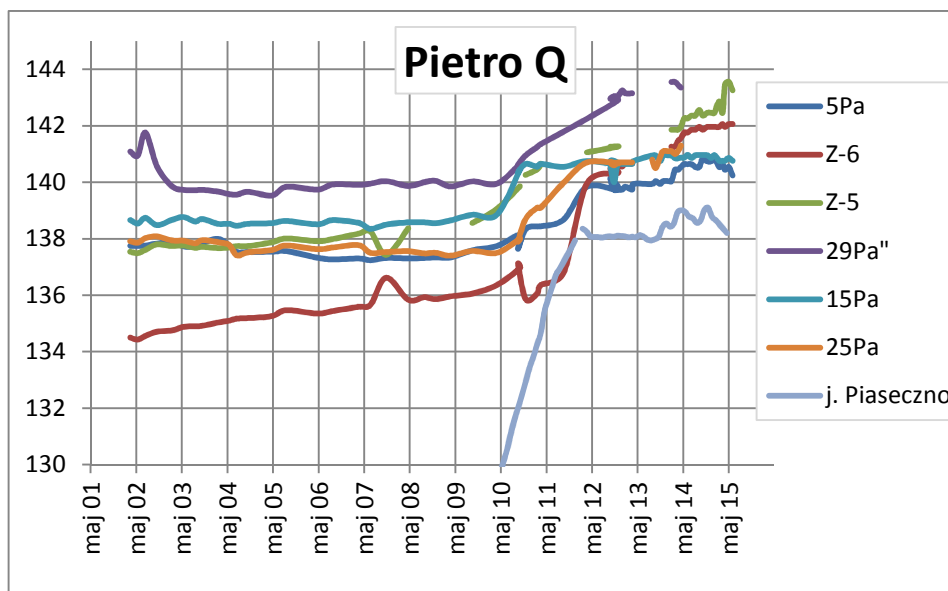
W oparciu o udostępnione przez kopalnię materiały wykonano analizę zmian warunków hydrogeologicznych zachodzących na przestrzeni ostatnich lat. Na rysunku 2. przedstawiono kształtowanie się dopływów wody do wyrobiska (ilości pompowanej wody) oraz rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku Piaseczno oraz zbiorniku tzw. betoniarni, zlokalizowanym w odległości ok. 500 m na zachód od zbiornika Piaseczno.



Rys. 2. Wydajności systemu odwodnienia oraz rzędne zwierciadła wody w wyrobisku Piaseczno oraz jego otoczeniu.

Z analizy danych wynika, że po zakończeniu odwadniania w rejonie Machowa, dopływ wody do wyrobiska Piaseczno wzrósł o ok. 50%, pomimo zmniejszenia depresji o około 15 m.

Na rysunku 3. przedstawiono kształtowanie się zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowym oraz w zbiorniku Piaseczno.

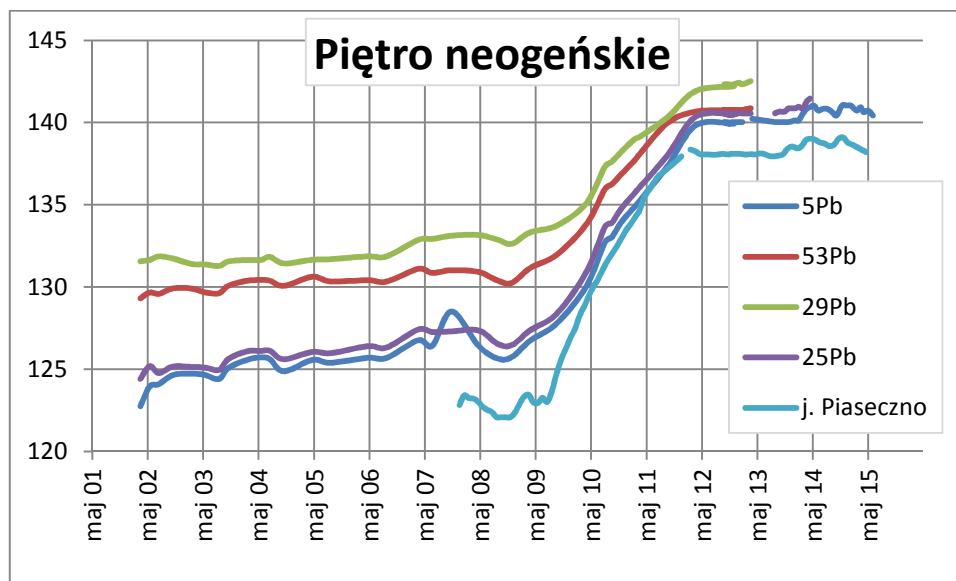


Rys. 3. Kształtowanie się zwierciadła wody w piętrze czwartorzędowym i zbiorniku Piaseczno

Z analizy danych wynika, że wyraźne podniesienie się zwierciadła wody w poszczególnych piezometrach rozpoczęło się na rok przed wystąpieniem osuwiska na zboczu. W najbliższym zlokalizowanym piezometrze na zwałowisku wewnętrznym (Z-5) nagły przyrost słupa wody poprzedził wystąpienie osuwiska. Następnie przyrosty rzędnych były stosunkowo niewielkie. Podniesienie się zwierciadła wody zauważalne jest także po wykonaniu zagęszczania gruntów w technologii mikrostrzelania, tj. od maja 2014 roku. Ponowne znaczne przyrosty rzędnych odnotowano na wiosnę 2015 roku. Można przypuszczać, że na skutek wystąpienia osuwiska nastąpiło udrożnienie dróg przepływu wody podziemnej, co wpłynęło na wygaszenie przyrostów ciśnienia. Zagęszczanie utworów budujących zbocza przyczyniło się do konsolidacji gruntów, a co za tym idzie pogorszenia ich parametrów filtracyjnych. W ostatnim czasie zwierciadło wody w piezometrze Z-5 utrzymywało się na rzędnej około 143 m n.p.m. Analiza danych metrologicznych nie wskazuje, aby przyczyną podniesienia się ciśnienia w wodoności było wystąpienie znacznych opadów atmosferycznych.

Na rysunku 4. przedstawiono przyrost zwierciadła wody w piętrze neogeńskim oraz jeziorze Piaseczno. W tym przypadku nie jest zauważalny wpływ wystąpienia osuwiska na ukształtowanie zwierciadła wody. Zwierciadło wody z piętrze neogeńskim jest ściśle związane z utrzymywaną rzędnią odwodnienia w wyrobisku Piaseczno.





Rys. 4. Kształtowanie się zwierciadła wody w piętrze neogeńskim oraz w zbiorniku Piaseczno

Wyniki monitoringu hydrogeologicznego wskazują, że:

- na skutek wyłączenia bariery odwadniającej w zlikwidowanej kopalni Machów doszło do wzmożonego napływu wód trzeciorzędowych do wyrobiska Piaseczno,
- pompowanie wody w wyrobisku Piaseczno powoduje powstanie leja depresji w jego otoczeniu, a różnice poziomów zwierciadła wody pomiędzy zbiornikiem a poszczególnymi piezometrami wynoszą, w granicach, od 2,5 do 5 m.
- podniesienie się zwierciadła wody w górotworze, a także zawodnienie utworów czwartorzędowych mogło spowodować zmianę układu ciśnień w otoczeniu zbiornika, co mogło być jedną z wielu przyczyn powstania osuwisk oraz przemieszczeń zaobserwowanych w skarpach nadwodnych.

## Jakość wód

W trakcie prac terenowych zidentyfikowano i opróbowano wycieki ze skarp. Do dalszych badań laboratoryjnych przekazano dziewięć próbek, które trafiły do laboratorium Akademii Górniczo - Hutniczej w Krakowie. W zakresie oznaczonych w terenie i laboratorium parametrów fizyko - chemicznych znalazły się: temperatura, odczyn, twardość ogólna, mineralizacja, a także stężenia jonów: Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl, Fe, Mn. Wyniki oznaczeń zestawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki oznaczeń wybranych parametrów fizyko - chemicznych wycieków

Wyciek	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
t [°C]	8,8	9,0	6,3	10,2	9,7	5,3	5,8	5,5	5,6
pH [-]	4,56	5,91	6,37	6,14	6,81	6,60	6,85	6,65	7,23
min. [mg/dm <sup>3</sup> ]	2006,3	1874,5	1813,9	1699,4	1760,7	1977,3	2618,1	1059,2	1843,6
tw. og. [mgCaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> ]	912,9	977,2	1089,7	983,5	1061,9	1300,0	1641,2	576,4	1237,0
Na [mg/dm <sup>3</sup> ]	92,68	114,10	80,76	115,80	118,70	49,65	72,36	57,99	63,03
K [mg/dm <sup>3</sup> ]	2,46	4,44	2,39	7,11	7,30	4,41	7,74	4,11	5,53
Ca [mg/dm <sup>3</sup> ]	295,0	321,6	367,1	325,6	354,2	441,6	589,8	190,8	428,8
Mg [mg/dm <sup>3</sup> ]	42,99	42,48	42,24	41,58	43,29	48,17	41,22	24,39	40,61
Cl [mg/dm <sup>3</sup> ]	322,0	319,0	183,0	257,0	259,0	187,2	248,0	85,7	182,0
SO <sub>4</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	964,6	803,8	784,8	759,0	755,2	847,1	1043,0	258,5	806,5
HCO <sub>3</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	<0,5	113,0	255,0	119,0	189,0	332,0	517,0	296,0	294,0
NO <sub>3</sub> [mg/dm <sup>3</sup> ]	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60	<0,60
Fe [mg/dm <sup>3</sup> ]	185,20	83,16	28,51	23,67	5,56	20,64	39,09	1,53	1,02
Mn [mg/dm <sup>3</sup> ]	7,33	4,33	8,50	3,18	1,67	16,11	23,75	15,45	1,70

Skład chemiczny opróbowanych wycieków różnił się w poszczególnych punktach. Największym podobieństwem cechowały się wody pobrane z wycieków S2 - S7 oraz S9. Nieco odmienne parametry cechowały z kolei wycieki S1, a także S8. Opróbowane wody stanowią mieszaninę połączonych w różnych proporcjach wód poziomu czwartorzędowego, trzeciorzędowego oraz wód infiltracyjnych pozostając pod silnym wpływem zwałowisk wewnętrznego i zewnętrznego. Obok zmienności składu chemicznego zaobserwowano zróżnicowanie termiczne próbek. Wody płytkiego krążenia, zasilane w przeważającej mierze wodami z poziomu czwartorzędowego i infiltracyjnymi cechowały się temperaturami rzędu 5 - 6 °C, podczas gdy pozostałe osiągały temperatury z przedziału 9 - 10 °C.

Mineralizacja opróbowanych wód kształtuje się w zakresie od 1059,2 mg/dm<sup>3</sup> do 2618,1 mg/dm<sup>3</sup>. Przy bardzo zmiennym zakresie odczynu pH, od wód kwaśnych o odczynie 4,56, po zasadowe 7,23, dominują wartości z przedziału 6 -7. Opróbowane wody należą do wód bardzo twardych, o twardości ogólnej z zakresu 576,4 - 1300,0 mgCaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>. Wśród kationów dominują jony wapnia, przy wysokiej zawartości sodu i magnezu. Pośród anionów znacząco przeważają siarczany, w zakresie oznaczeń rzędu 750 - 1050 mg/dm<sup>3</sup>. Niższą zawartość w wycieku S8, przy ogólnie niższej zawartości rozpuszczonych jonów, należy wiązać z obecnością nieodległej pompowni wód i prawdopodobną nieszczelnością rurociągu zbiorczego. Przy względnie wysokich stężeniach chlorków na poziomie 180 - 320 mg/dm<sup>3</sup>, nie wykryto obecności azotanów. Odnotowano wysokie i bardzo zmienne stężenia żelaza od pojedynczych mg/dm<sup>3</sup>, po 185,2 mg/dm<sup>3</sup>, a także manganu w przedziale zmienności 1,67 - 23,75 mg/dm<sup>3</sup>.

## Wyniki badań geofizycznych

W miesiącach sierpniu i wrześniu 2015 r. Zakład usług Geologicznych i Projektowych Budownictwa i Ochrony Środowiska, na zlecenie KS Siarki Machów w likwidacji przeprowadził dwie serie badań geotechnicznych za pomocą sondy CPT. W badaniach geotechnicznych sondą CPT dokonywany jest m. in. pomiar ciśnienia wody w porach gruntu.

Pierwsza seria badań obejmowała zbocze południowe oraz narożnik południowo-zachodni wyrobiska, tj. ponad obszarem wystąpienia osuwiska z 2011 roku. Celem badań było określenie parametrów geotechnicznych gruntów tworzących zbocze wyrobiska.

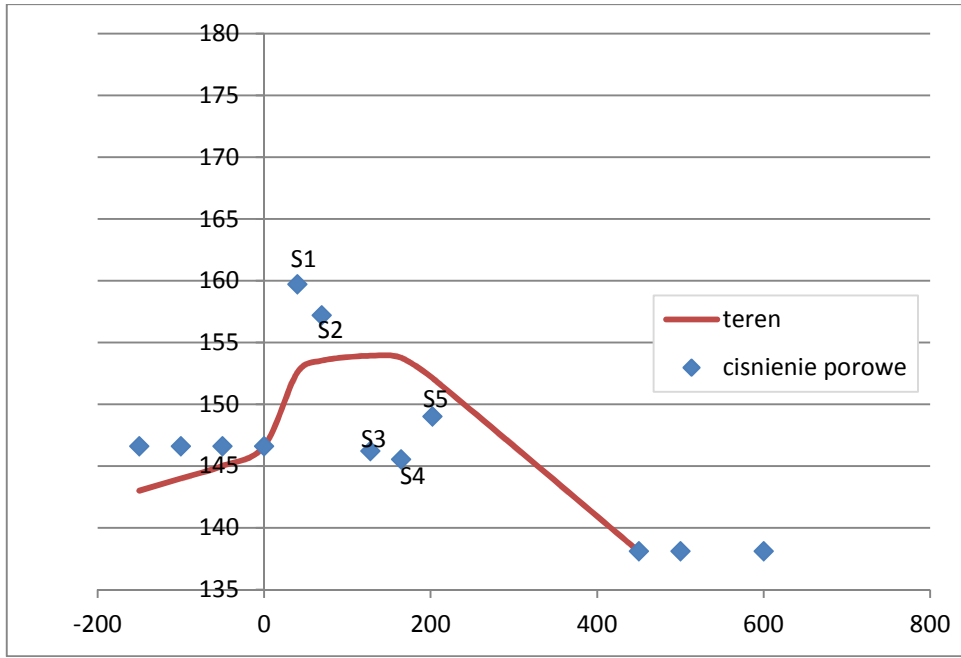
Druga seria badań obejmowała obszar samego osuwiska i miała na celu określenie parametrów geotechnicznych utworów budujących zbocze, w obszarze osuwiskowym, po zakończeniu kształtowania profilu zbocza poprzez hydronamywanie.

Jeśli chodzi o narożnik S zbiornika, to wyniki pomiarów wskazują, że ciśnienia porowe są dość zróżnicowane w profilu pionowym. Zauważalny jest wzrost ciśnienia porowego w prawie wszystkich otworach na głębokości ok. 14-22 m pod powierzchnią pierwotnego terenu. Odpowiada to zaleganiu warstwy utworów piaszczysto-żwirowych, zalegających w spągu czwartorzędu.

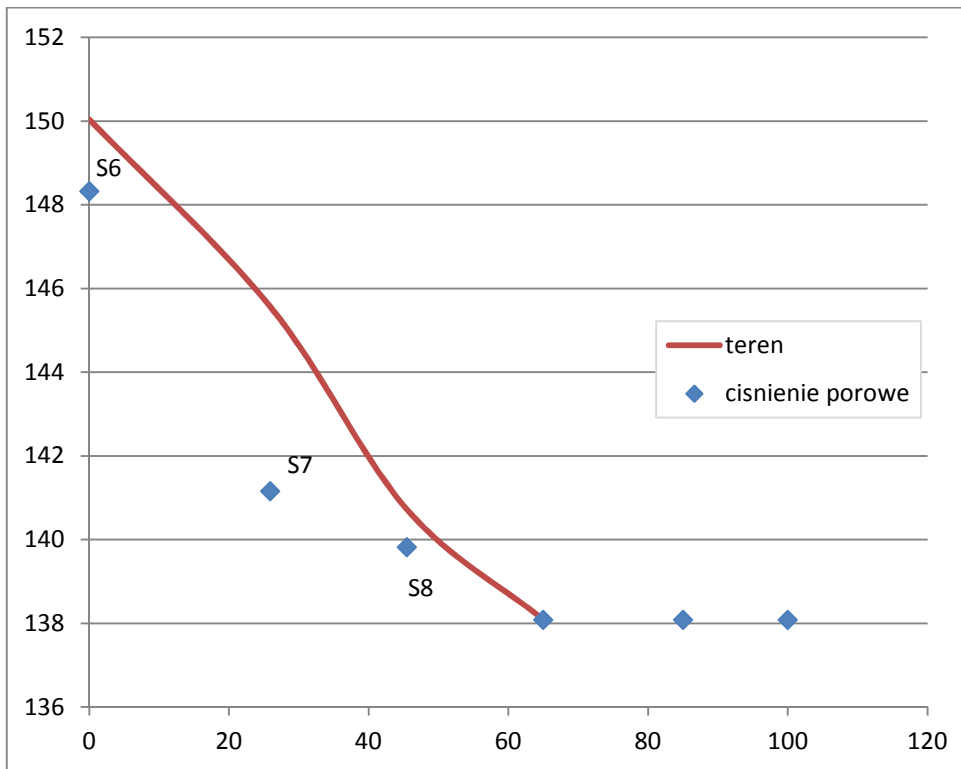
Na podstawie przekrojów przez otwory geotechniczne wnioskować można, że średni gradient ciśnienia w obu wykonanych przekrojach osiąga wartość rzędu 2%. Odcinkowo, przy brzegu jeziora, gradient ciśnienia dochodzi do 5%.

Druga seria badań geotechnicznych przy wykorzystaniu sondy CPT, wykonana w niszy osuwiskowej, wskazuje na zróżnicowane ciśnienia porowe w profilu pionowym. Średni gradient ciśnienia w profilach dochodzi do 2%. Gradient ciśnienia przy brzegu jeziora osiąga wartość 4%.

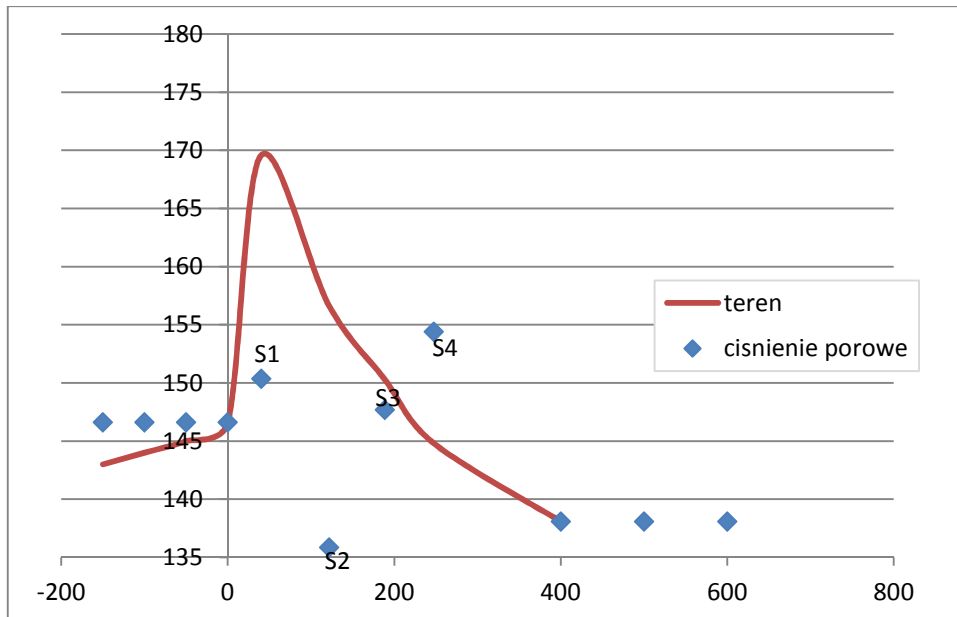
Na rysunkach 5-8 przedstawiono uproszczone przekroje, z naniesionymi punktami odpowiadającymi wartości zmierzonego ciśnienia porowego.



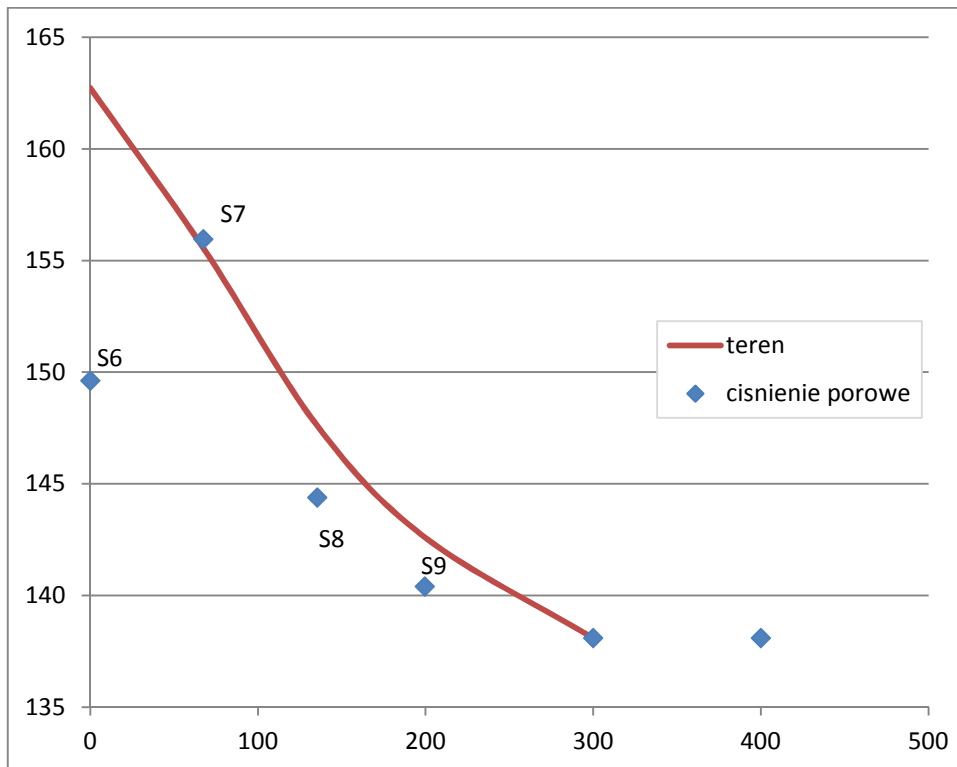
Rys. 5. Ciśnienie porowe w przekroju S1 – S5 w odniesieniu do powierzchni terenu, zbocze S



Rys. 6. Ciśnienie porowe w przekroju S6 – S8 w odniesieniu do powierzchni terenu, zbocze S



Rys. 7. Ciśnienie porowe w przekroju S1 – S4 w odniesieniu do powierzchni terenu – rejon niszy osuwiskowej



Rys. 8. Ciśnienie porowe w przekroju S6 – S9 w odniesieniu do powierzchni terenu – rejon niszy osuwiskowej

Wyniki sondowań wskazują, że podwyższone ciśnienia porowe występują na rzędnych:

- w obrębie niszy osuwiskowej – 127 ÷ 129 m n.p.m
- poza nisza osuwiskową – 128 ÷ 136 m n.p.m
- na zboczu S – 128 ÷ 135 m n.p.m

Rzędne odpowiadają zaleganiu warstwy utworów piaszczysto-żwirowych, zalegających w spągu czwartorzędu. Z dokumentacji hydrogeologiczno-inżynierskiej wynika, że w

południowej części wyrobiska, od powierzchni terenu występują utwory czwartorzędowe reprezentowane przez piaszczysto-żwirowe osady doliny Wisły. Udział żwirów wzrasta ku spągowi, natomiast w stropie występują głównie piaski drobnoziarniste, niekiedy zailone. Miąższość osadów czwartorzędowych jest zmienna i wynosi zwykle od 5 do 25 m.

Zauważyć należy także, że największe ciśnienia porowe stwierdzono w otworach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika.

### **Interpretacja wyników obserwacji i badań**

Nagły przyrost ciśnień porowych w bezpośrednim otoczeniu zbiornika, można wytłumaczyć zniszczeniem naturalnej warstwy izolacyjnej. W sąsiedztwie wyrobiska warstwy izolujące czwartorzędowy i neogeński poziomy wodonośne nie występują, co jest wynikiem przeprowadzonej eksploatacji górniczej. Przymuszczalnie, w strefie tej dochodzi do ascenzyjnego zasilania osadów płytszych, co objawia się wzrostem ciśnienia porowego. Tezę tą potwierdzają wyniki analiz fizykok-chemicznych wycieków pobranych z rejonu osuwiska w narożniku S zbiornika. Jednocześnie, na skutek prowadzonego drenażu, następuje ukierunkowanie przepływu wody do zbiornika i gwałtowne obniżenie ciśnienia w bezpośrednim jego otoczeniu. Duże nachylenia zwierciadła wody wskazują na znaczny opór ośrodka wodonośnego, a jednocześnie - na napór hydrostatyczny na utwory budujące zbocza zbiornika.

Wypływ wody z ośrodka wodonośnego do zbiornika odbywa się zatem przy znacznym zeskoku hydraulicznym. Gwałtowny wypływ wody może zatem być przyczyną pojawienia się siły unoszenia, powodującej przemieszczanie urobku w strefie przyściennej, co w konsekwencji prowadzić może do erozji czaszy zbiornika. Efektem tego może być występowanie zjawisk sufozyjnych także pod powierzchnią lustra wody. Ze względu na fakt, że warunki hydrogeologiczne w poszczególnych fragmentach zbocza są zmienne, procesy mogą występować tylko w niektórych skarpach lub partiach zboczy.

Wyniki badań geofizycznych oraz monitoringu hydrogeologicznego wskazują, że zasilanie zbiornika odbywa się z utworów neogeńskich, tj. z poziomu naporowego. Świadczy to:

- z jednej strony - o skuteczności zastosowanej metody doszczelniania zboczy wyrobiska utworami pochodzącymi z niwelacji zboczy,
- z drugiej strony - o występowaniu sił wyporu wody, oddziałujących na masy zwałowe.

Dopływ wód, znajdujących się pod dużym ciśnieniem, do wyrobiska odkrywkowego jest zjawiskiem niepożądanym. Może on prowadzić do:

- podniesienia się zwierciadła wody w utworach rodzimych,
- powstania siły parcia hydrostatycznego działającego na utwory zwałowe,

- nasycenia gruntu oraz jego upłynnienia,
- powolnego pełzania utworów budujących zbocza, a także,
- przenikania wody przez skarpy nasypowe.

Powolne przemieszczanie cząstek skalnych, przez wypływającą wodę ze skarp, powoduje zmiany profilu zbocza o charakterze erozyjnym. Konsekwencją tego może być zachwianie warunków stateczności zboczy. Wraz z nasilaniem się w/w procesów zmieniać się mogą warunki geotechniczne, a zbocze pierwotnie stateczne, może przejść w stan równowagi granicznej i w konsekwencji utracić stateczność.

W dłuższej perspektywie czasowej należy spodziewać się zatem przeprofilowania zboczy wyrobiska zarówno w obrębie niszy osuwiskowej, jak i poza nią. Wyniki oględzin terenu wskazują, że zagrożona jest obecnie także stateczność w rejonie narożnika SW wyrobiska.

Wyniki badań geotechnicznych wskazują, że zasięg oddziaływania odwodnienia w obrębie utworów czwartorzędowych jest znaczny, jakkolwiek w niektórych partiach nadkładu przyrost ciśnienia w otoczeniu zbiornika jest spowodowany dopływem z naporowego, neogeńskiego poziomu wodonośnego i zniszczeniem, w trakcie prac górniczych, naturalnie występujących warstw izolujących.

## Przyczyny deformacji zbocza w narożniku S zbiornika

Wyniki przeglądu materiałów archiwalnych oraz interpretacje ostatnich badań potwierdzone są przez budowę geologiczną rejonu, która została opisana w materiałach archiwalnych. Według dokumentacji hydrogeologiczno-inżynierskiej, w południowej części wyrobiska, od powierzchni terenu występują utwory czwartorzędowe reprezentowane przez piaszczysto-żwirowe osady doliny Wisły. Udział żwirów wzrasta ku spągowi, natomiast w stropie występują głównie piaski drobnoziarniste, niekiedy zailone. Miąższość osadów czwartorzędowych jest zmienna i wynosi zwykle od 5 do 25 m.

Ponadto stwierdzono występowanie rynny erozyjnej w stropie iłów. Na skarpie południowej jej występowanie potwierdzają dane uzyskane z otworów dokumentujących złożę siarki oraz obserwacje terenowe wykonywane w trakcie kartowania skarp, tj. na etapie prowadzonej eksploatacji górniczej. Przebieg rynny na skarpie wschodniej jest bardziej problematyczny.

Poniżej przedstawiono zdjęcia wykonane narożniku SE wyrobiska, w różnych stadiach prowadzonej rekultywacji. Widoczne są wypływy wody o dużej wydajności ze skarpy - w narożniku SE wyrobiska.



Rys. 9. Narożnik SE wyrobiska przed profilowaniem zbocza (fot. KS Machów)





Rys. 10. Narożnik SE wyrobiska (fot. K. Polak, 17.07.2010)



Rys. 11. Wypływ z narożnika SE wyrobiska (fot. K. Polak, 16.07.2015)



Rys. 12. Narożnik SE wyrobiska (fot. K. Polak, 17.07.2015 r.)

Z wyników wizji lokalnej oraz analizy materiałów archiwalnych wynika zatem, że przyczyną powstawania przemieszczeń w południowo-wschodniej części wyrobiska jest zaizolowanie utworami nasypowymi wypływów wody z rynny erozyjnej. Rynna ta została wcześniej nacięta w trakcie prac górniczych i była drenowana przez wyrobisko górnicze. W wyniku podparcia zbocza utworami nasypowymi doszło do wzrostu ciśnienia oraz powstania poziomej siły naporu hydrostatycznego na utwory zwałowe. Działanie wody spowodowało upłynnienie partii gruntu zwałowego, w wyniku czego doszło do przebiccia zwału oraz hydrodynamicznego wymywania materiału gruntowego. Jest też prawdopodobne, że na skutek zatrzymania odwodnienia w wyrobisku Machów doszło także do wzrostu ciśnienia wód podłożowych, a co za tym idzie do zintensyfikowania napływu wody do wyrobiska Piaseczno. Nie wyklucza się także podmywania stopy zbocza. Zachodzące tu zjawiska mają zatem podłoże o charakterze erozyjnym i mogą prowadzić do sufozji materiału skalnego, a w konsekwencji do utraty stateczności zbocza.

## Kierunek dalszych działań zabezpieczających

Biorąc pod uwagę przedstawioną interpretację zaistniałych zjawisk geotechnicznych w wyrobisku Piaseczno należy stwierdzić, że:

1. Jedynym i ostatecznym sposobem zahamowania niekorzystnych zjawisk geotechnicznych jest jak najszybsze zatrzymanie odwodnienia i zatopienie wyrobiska do docelowych rzędnych zwierciadła wody,
2. Przeszkodą w realizacji tego zadania jest brak sieci melioracyjnej na obszarze prognozowanych potopień,
3. Napływ wody podziemnej do drenowanego zbiornika Piaseczno jest przyczyną powstawania zjawisk erozyjno-sufozyjnych, mogących prowadzić do utraty stateczności niektórych odcinków zboczy, podobnie jak miało to miejsce w 2011 roku,
4. Prowadzone uszczelnianie zboczy wyrobiska materiałem zwałowym jest zasadne, ale jednocześnie należy prowadzić działania zmierzające do jak najszybszego wyrównania ciśnień wody w ośrodku wodonośnym i zbiorniku. W przeciwnym wypadku, doszczelnienie zbiornika spowoduje wzrost ciśnienia, co prowadzi może do przerwania ciągłości warstwy izolacyjnej.

Podobnie jak wyżej rzecz się ma w przypadku zagęszczania gruntu za pomocą mikrowybuchów – zagęszczanie gruntu powoduje wzrost siły naporu wody. Dlatego ważnym jest wyrównanie ciśnienia po stronie wgłębnej i odpowietrznej zagęszczanej skarpy. Przy braku warstwy uszczelniającej o odpowiedniej miąższości, przepływ filtracyjny może powodować wtórną dekonsolidację zagęszczonego gruntu lub też nawet prowadzić do wzrostu ciśnienia wody w ośrodku wodonośnym. Konsekwencją tego jest odprężenie w postaci przebiccia warstwy izolującej, a w skrajnych przypadkach osunięcia fragmentu lub całego zbocza.

Przepływ wody z ośrodka wodonośnego do zbiornika powoduje unoszenie materiału skalnego w strefie „przyściennej”, dekonsolidację skarp oraz upłynnianie utworów zwałowych, a także prawdopodobnie i gruntów rodzimych.

Doszczelnianie zbiornika za pomocą mikrowybuchów jest zabiegiem celowym, jednakże wobec zjawisk powyżej opisanych, spełni ono swoje zadanie w przypadku zatrzymania odwodnienia i wyrównania się ciśnień hydrostatycznych. Jeżeli zatem będzie podjęta decyzja o zatopieniu zbiornika, to zagęszczanie gruntów powinno być zrealizowane bezpośrednio przed likwidacją pompowni.

W związku z powyższym, dla potrzeb bieżącego zabezpieczenia wyrobiska w warunkach odwodnieniowych, należy skoncentrować wszelkie środki na zabezpieczeniu skarp i zboczy przed nadmiernym wzrostem ciśnienia w ośrodku wodonośnym poprzez jego

drenaż. Drenaż ten powinien obejmować te fragmenty zboczy, w których istnieją niekorzystne warunki hydrogeologiczne, tj. przede wszystkim zbocza E i S. Zadaniem drenażu będzie wyrównanie ciśnienia. Może ono zostać zrealizowane poprzez:

- Wykonanie zespołu studni drenażowych – otworów pionowych, wierconych z powierzchni terenu, jako otworów z zainstalowanymi agregatami pompowymi,
- Wykonanie głębokiego drenażu poziomego – otworów nachylonych wykonanych ze zboczy wyrobiska dla zrównoważenia ciśnienia w warstwach wodonośnych; zadaniem drenażu będzie zmniejszenie sił naporu hydrostatycznego na utwory budujące czaszę zbiornika.

Wykonane obecnie drenaże mają charakter drenaży przypowierzchniowych, ujmujących wycieki ze skarp. Drenaż powierzchniowy zabezpiecza jedynie przed rozmywaniem powierzchni skarp przez wypływającą z nich wodę i nie przyczynia się do istotnego obniżenia ciśnienia wód podziemnych.

Wgłębny drenaż otoczenia zbiornika może przyczynić się do zwiększania strefy oddziaływania odwodnienia na otaczający teren. Warto podkreślić, że odwodnienie jest obecnie podstawą zabezpieczenia terenów zagospodarowanych w otoczeniu wyrobiska.

Wobec braku systemu melioracji dla terenów otoczenia wyrobiska, należy wykonać prace zabezpieczające wyrobisko, w tym m. in. drenaż wgłębny wiercony – mający na celu:

- kontrolę sączeń wody ze skarp,
- redukcję parcia hydrostatycznego na zagęszczone grunty,
- utrzymanie właściwych parametrów gruntu,
- redukcję ciśnienia porowego w gruncie,
- wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk związanych z zamarzaniem wody w skarpach,
- zachowanie kohezji,
- zachowanie kąta tarcia wewnętrznego.

Dotychczasowe wyniki procesu zagęszczania zboczy wskazują, że prace powinny być kontynuowane jako skojarzone z wykonywaniem drenażu wgłębego. Zaleca się, aby wykonywanie wierceń było poprzedzone badaniami batymetrycznymi w jeziorze, w celu wykluczenia możliwości powstania obsunięć gruntu do zbiornika w trakcie trwania prac wiertniczych.

## Koncepcja odwodnienia skarp otworami kierunkowymi

Przechodząc do zagadnienia odwodnienia skarp i zboczy wyrobiska, na wstępie należy stwierdzić, że obniżenie ciśnienia w trzeciorzędowym poziomie wodonośnym, przy jednoczesnym zatrzymaniu napływu wody do wyrobiska mogłyby być przeprowadzone przez barierę studni odwadniających pionowych. Wymagałoby to jednak poniesienia znaczących nakładów finansowych oraz przedsięwzięcia znacznych środków technicznych i organizacyjnych. Działania te obecnie ze względów finansowych nie są możliwe.

W związku z powyższym, dążąc do zminimalizowania kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych proponuje się wykonanie otworów drenażowych wokół wyrobiska jedynie w obrębie czwartorzędowego poziomu wodonośnego, w obrębie którego możliwe jest obecnie prowadzenie odwodnienia przy wykorzystaniu siły grawitacji. Zapewnia to utrzymanie minimalnych kosztów eksploatacji systemu. Rozwiązanie to jest, jak już podkreślano, rozwiązaniem tymczasowym mającym na celu poprawę warunków stateczności zboczy zbiornika Piaseczno, tj. do czasu wykonania docelowej melioracji na terenach lewobrzeżnej Wisły.

Mając na uwadze powyższe w niniejszej dokumentacji proponuje się wykonanie odwodnienia wgłębnego za pomocą otworów kierunkowych, przy jednoczesnym zachowaniu pompowania wody z wyrobiska za pomocą pompowni stacjonarnej.

## Odwodnienie otworami drenażowymi

Odwodnienie wgłębne otworami drenażowymi, w połączeniu z analizą hydrogeologiczną rejonu podlegającego ruchom masowym, jest jednym z podstawowych działań przy stabilizacji osuwisk. Zastosowanie technik bezwykopowych nie ma ograniczeń głębokościowych i pozwala na rezygnację z głębokich, kosztownych robót ziemnych. Zastosowanie odwodnienia metodą wiertniczą jest celowe zarówno w przypadkach występowania wód naturalnych, jak i wprowadzonych do obszaru osuwiska przez człowieka. Dreny wykonane w bryle osuwiska będą ujmowały część wody przepływającej w kierunku powierzchni poślizgu. Odprowadzając wodę poza obszar osuwiskowy powodują osuszanie koluwiów osuwiskowych oraz zmniejszają ciśnienie hydrostatyczne powodujące parcie poziome wody na powierzchnię osuwiska. Odwodnienie jest najtańszym sposobem stabilizacji osuwiska, nie wymaga znacznych nakładów materiałowych, a w przypadku drenów wierconych większych prac ziemnych.

Wyrobisko Piaseczno jest częściowo zatopione. Ze względu na ograniczenia przestrzenne, a także biorąc pod uwagę zagrożenie osuwiskowe, proponuje się wykonanie odwodnienia skarp nadwodnych, za pomocą metod bezwykopowych, na dwa sposoby, tj.:

1. Za pomocą przewiertów kierunkowych (sterowanych) wykonywanych z powierzchni terenu, tam gdzie jest możliwe wykonywanie prac wiertniczych w granicach nieruchomości gruntowej,
2. Za pomocą otworów poziomych wierconych z powierzchni lustra wody.

## Przewierty sterowane

Horyzontalne wiercenia kierunkowe HDD – *Horizontal Directional Drilling*, zwane także *przewiertami sterowanymi*, to technika zaliczana do metod bezwykopowych. W Europie stosowana od początku lat osiemdziesiątych, a od 1991 roku w Polsce. Technologia ta jest przyjazna środowisku i alternatywa wobec tradycyjnych metod wykonywania instalacji podziemnych. Stosowanie HDD pozwala przekraczać naturalne przeszkody terenowe, szlaki komunikacyjne, tereny zurbanizowane, obszary chronione lub takie, do których dostęp jest utrudniony. Otwory wiertnicze wykonuje się w celu instalacji rurociągów np. do transportu paliw, substancji chemicznych, dla budowy sieci ciepłowniczych, wodociągów i kanalizacji, dla położenia pod powierzchnią terenu światłowodów i kabli energetycznych. Technologia umożliwia instalacje przewodów rurowych o średnicach, od kilkudziesięciu, do kilkuset milimetrów. Technologia daje możliwość ułożenia kilku rur w jednym otworze wiertniczym lub w rurze osłonowej. Metoda jest stosowana wszędzie tam, gdzie tradycyjne instalacje w wykopach są niemożliwe, nieuzasadnione finansowo, szkodliwe dla naturalnego środowiska albo niepraktyczne. Prace wiertnicze można prowadzić w bardzo szerokim zakresie warunków geotechnicznych, w obecności wody gruntowej, w stosunkowo bliskiej obecności innych instalacji czy infrastruktury podziemnej.

Do zalet technologii HDD zaliczyć należy:

- Szeroki zakres długości i średnic wiercenia
- Nieznaną ingerencję w środowisko naturalne
- Możliwość wykorzystania różnych materiałów
- Wysoką precyzję instalacji, możliwość zastosowania złożonych trajektorii
- Pełną ochronę rurociągu, możliwość położenia instalacji na dużych głębokościach
- Możliwość układania instalacji pod przeszkodami i terenami niedostępnymi
- Niższe koszty w porównaniu do metod alternatywnych
- Przewidywalny czas trwania inwestycji, krótki czas mobilizacji i montażu urządzeń
- Znacząco mniejszy obszar zajęty na czas prac konstrukcyjnych w porównaniu do metod konwencjonalnych
- Niewielkie ryzyko kolizji z podziemną infrastrukturą, o ile jej położenie jest dobrze udokumentowane

Proces wykonywania otworu kierunkowego w technologii HDD zasadniczo składa się z

dwóch etapów:

1. Wiercenia pilotowego - w tej fazie odbywa się wiercenie otworu o średnicy od kilku do kilkunastu cali z punktu wejścia do punktu wyjścia. Ta faza prac determinuje ostateczne położenie rurociągu. W formacjach sypkich otwór wykonywany jest według założonej trajektorii techniką wypłukiwania, tj. urabiania strumieniem płuczki. Wykonanie założonego profilu możliwe jest dzięki krzywemu łącznikowi umieszczonemu w dolnej części przewodu, a także dzięki kierunkowo działającym dyszom. Odcinki proste uzyskiwane są dzięki obracaniu całego przewodu wiertniczego. Postęp wiercenia i pozycja zestawu wierzącego jest monitorowany przez wgłębne systemy pomiarowe. W zależności od stopnia złożoności systemu mierzone są takie parametry jak: długość otworu, inklinacja (pochylenie), azymut (kierunek), głębokość położenia sondy. W bardziej zaawansowanych systemach dostępne są także informacje o ciśnieniu panującym na dnie otworu.
2. Poszerzanie otworu - w tej fazie wykonawczej następuje poszerzanie otworu za pomocą narzędzia dobranego do spodziewanych warunków geologicznych, przesuwanego obrotowo od punktu wyjścia w stronę urządzenia wiertniczego (pull reaming). Zależnie od warunków geologicznych otwór powinien zostać poszerzony od 30 do 50% średnicy. Średnica poszerzania i ilość marszy wiertniczych determinowana jest dostępnym sprzętem wiertniczym, długością otworu, warunkami geologicznymi, parametrami wytrzymałościowymi rury, promieniami krzywizny otworu. Płuczka wiertnicza o wymaganych parametrach fizycznych i chemicznych pompowana jest w objętości gwarantującej wyniesienie urobku i stabilność ściany otworu. Zawartość fazy stałej waha się od kilku do około dwudziestu procent objętościowo. Ważną sprawą jest kontrola strumienia przepływu i ciśnienia wgłębne w otworze.

## Konstrukcja przewiertów sterowanych

W warunkach wykonywania przewiertów sterowanych w skarpach likwidowanego wyrobiska odkrywkowego po byłej kopalni siarki Piaseczno, proponuje się zastosowanie rurociągów elastycznych wykonanych w technologii PE. Rurociągi PE:

- Posiadają niski współczynnik oporów hydraulicznych (bezwzględna chropowatość ścianki rurociągu wynosi zaledwie 0.01 mm)
- Są odporne na korozję i nie „zarastają”,
- Materiał, z którego wykonane są rurociągi jest nietoksyczny,
- Połączenia zapewniają 100% szczelność,
- rurociągi są elastyczne, zalecany promień gięcia wynosi  $R = 50 \text{ DN}$  (dla rurociągu DN125 mm zalecany promień gięcia wynosi 6,25 m)

- zależnie od zastosowanych granulatów, posiadają wysoką wytrzymałość na rozciąganie.
- posiadają wysoką odporność na ścieranie,
- są odporne na zmienne warunki atmosferyczne,
- są odporne na wiele związków chemicznych, pod wpływem, których rury z materiałów tradycyjnych ulegają szybkiej korozji i starzeniu, tj.: większość kwasów (oprócz kwasu azotowego), zasad, soli, rozpuszczalników, itp.

Rury PE nie powinny być przechowywane w wysokich temperaturach i narażone na działanie intensywnego światła słonecznego, gdyż powoduje to powolną utratę projektowanych parametrów wytrzymałościowych.

Rury PE są zgrzewane w kolumny na placu budowy, a połączenia charakteryzują się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi. Ze względu na fakt, że w warunkach odwodnienia wyrobiska Piaseczno otwory kierunkowe pełnić będą rolę odwadniającą, konieczne będzie zatem wykonanie, w instalowanej w otworze kolumnie z rur PE, elementów filtracyjnych, tj. części czynnej filtra.

Kolumna filtrowa z rur PE powinna być wykonana w jednym odcinku. Prefabrykacja odbywać się będzie na zapleczu prac wiertniczych. W warunkach kopalni, ze względu na brak możliwości łączenia rur w punkcie wyjścia (tj. na skarpie powyżej zwierciadła wody) konieczne będzie połączenie rur na powierzchni terenu, a następnie zwodowanie kolumny filtrowej w całości na powierzchnię lustra wody. Rury PE posiadają dużą wyporność i unoszą się na wodzie. Po wykonaniu przewiertu kolumna filtrowa zostanie wciągnięta ze zbiornika do otworu przez urządzenie wiertnicze.

Jeśli chodzi o parametry materiałowe, to rury PE powinny spełniać następujące wymagania:

1. Wszystkie wyroby objęte dostawami muszą zostać wykonane z materiału klasy PE100 (nie dopuszcza się stosowania żadnych materiałów wtórnych, w tym zwłaszcza regranulatów),
2. Klasa materiału PE 100 ( $MRS=10MPa$ ,  $\sigma_{LPL}>10MPa$ , dla  $t=20^{\circ}C$ ), wykorzystanego do produkcji rur musi zostać potwierdzona przez akredytowane laboratorium zgodnie z ISO-9080,
3. Do każdej partii produkcyjnej rur wymagane jest dostarczenie świadectwa odbioru 3.1 (wg normy PN EN-10204:2006) zawierającego wyniki badań kontroli odbiorczej właściwości wyspecyfikowanych w Tabeli 3.



Tabela 3. Właściwości materiału wykorzystanego do produkcji rur PE100

Właściwość	Jednostka	Metoda badania	Wymagania
Masowy wskaźnik płynięcia	g/10min	PN-EN ISO 1133-1	Zmiana wywołana przetwórstwem $<\pm 20\%$ względem wartości <b>0,2-0,3 g/10min</b> materiału rodzimego
Czas indukcji utleniania <b>210°C</b>	min	PN-EN 728 lub ISO 11357-6	$\geq 50$
Wydłużenie przy zerwaniu	%	PN-EN ISO 6259-1 ISO 6259-3	500

### Lokalizacja przewiertów sterowanych

Lokalizacja otworów kierunkowych wykonywanych w technologii HDD przedstawiona została na mapie (załącznik 1.) dołączonej do niniejszej dokumentacji. Przy lokalizacji otworów kierowano się uwarunkowaniami przestrzennymi, tj. możliwościami ustawienia sprzętu wiertniczego oraz niezbędnego zaplecza technicznego. Dlatego punkty wejścia otworów sterowanych zlokalizowano w granicach nieruchomości gruntowej należącej do Kopalni Siarki Machów w likwidacji S.A.. Otwory wykonywane w technologii HDD umiejscowiono w południowej i zachodniej części wyrobiska. Otwory, ze względu na bezpieczeństwo prac wiertniczych oraz konieczność wstępnego odwodnienia otoczenia istniejących osuwisk należy wykonywać w odpowiedniej kolejności. W związku z tym, kolejność wykonywania otworów sterowanych (DS) oznaczono cyfrą odpowiadającą chronologii robót wiertniczych. W tabeli 4. przedstawiono podstawowe dane otworów.

Tabela 4. Lokalizacja oraz parametry otworów HDD – numeracja wg kolejności wykonywania

L.p.	Nazwa otworu	długość otworu	współrzędne wejścia X	współrzędne wejścia Y	współrzędne wyjścia X	współrzędne wyjścia Y	długość odcinka filtrowego	rodzaj gruntu
1	DS-1	101.1	5601240.3	7541567.3	5601321.2	7541518.4	54 m (9x6m)	rodzime
2	DS-2	100.9	5601537.8	7541156.9	5601501.8	7541250.1	54 m (9x6m)	nasypowe
3	DS-3	101.9	5601375.9	7541196.7	5601418.9	7541285.9	54 m (9x6m)	rodzime / nasypowe
4	DS-4	100.8	5601208.2	7541435.8	5601298.6	7541458.1	54 m (9x6m)	rodzime
5	DS-5	125.8	5602243.1	7541450.8	5602194.5	7541564.1	60 m (10x6m)	nasypowe
6	DS-6	126.9	5602153.4	7541408.2	5602104.5	7541521.3	60 m (10x6m)	nasypowe
7	DS-7	125.7	5602058.5	7541376.7	5602009.6	7541490.2	60 m (10x6m)	nasypowe
8	DS-8	125.3	5601973.9	7541322.9	5601925.0	7541434.3	60 m (10x6m)	nasypowe
9	DS-9	126.1	5601883.4	7541280.6	5601833.8	7541393.5	60 m (10x6m)	nasypowe

### Instalacja przewodu w otworze

Kolumna rur prowadzona jest w trakcie instalacji narzędziem o średnicy większej o około 30-50% niż średnica nominalna rur. W trakcie instalacji rurociąg powinien być poddany minimalnym możliwym naprężeniem roboczym.

W związku z osłabieniem rurociągu poprzez wykonanie perforacji (szczelin) proponuje się zastosowanie rurociągów PE100 SDR5,4 125x23,3. Dopuszczalna, zakładana max. siła ciągu maszyny wiertniczej nie powinna przekroczyć 57 kN. Naprężenia rzeczywiste w ścianie rurociągu podczas wciągania przewodu osiągną maksymalne dopuszczalne naprężenia projektowe, tj. 8 MN/m<sup>2</sup>. Obliczenia wytrzymałościowe przedstawiono w tabeli 8., w dalszej części pracy.

Kąt wejścia wiercenia kierunkowego powinien wynosić w granicach od 20° do 30°. Promień gięcia otworu nie powinien być większy niż 1% na długości 3 m. Generalnie otwór powinien zostać wypoziomowany na rzędnych +135 m npm. Przed wyjściem na skarpie otwór powinien zostać zagięty ku górze, tak aby wylot z drenu znajdował się powyżej lustra wody, tj. na rzędnych 139-140 m npm.

### Sekcja wejścia i wyjścia

Pierwszy i ostatni odcinek osi przewiertu powinien być prostoliniowy i nie powinny wystąpić zmiany kątowe (nieskończenie duży promień krzywizny). Na tych odcinkach występuje niewielka miąższość nadkładu. Należy też spodziewać się, że utwory w strefie

wyjścia są zdekonsolidowane. Dlatego ostatni odcinek, o stosunkowo niewielkiej miąższości nadkładu powinien być prostoliniowy, wiercony przy jak najmniejszej ilości płuczki wiertniczej.

Pierwszy, prosty odcinek otworu powinien być tak długi jak to możliwe i mieć minimalną długość przynajmniej dwóch odcinków żerdzi.

### **Promienie krzywizny**

Podczas wykonywania otworu należy stosować krzywizny nie większe niż promień gięcia rurociągu PE, który wynosi  $R=50DN$ . Małe promienie krzywizny otworu ograniczają tarcie przewodu o ścianki otworu i minimalizują ryzyko zerwania przewodu PE przy jego wciąganiu do otworu. Należy stosować siły wciągania nie przekraczające 6 ton (57 kN), co ma znaczenie, ze względu na zastosowany rurociąg PE o średnicy DN125 mm, a także odcinek filtrowy o mniejszej wytrzymałości na rozciąganie. Obliczenia wytrzymałościowe przedstawione są w dalszej części pracy.

### **Przykrycie**

Odległość pomiędzy górną krawędzią przewodu wiertniczego a powierzchnią zwana jest przykryciem. Wymagania dotyczące minimalnej głębokości posadowienia dla instalowanych rurociągów powinna wynosić iloczyn średnicy rury i współczynnika od 10 do 15. Dla zaproponowanej średnicy rurociągu DN125, minimalne przykrycie powinno wynieść między 1,1 a 1,6 m. Ze względu na spodziewaną dekonsolidację gruntu w strefie brzegowej zbiornika należy zastosować minimalne siły wiercenia oraz ilości płuczki w tej strefie.

### **Konstrukcja i zafiltrowanie otworów**

Odcinek filtrowy rurociągu powinien zalegać poziomo na rzędnej +135 mpm. Składać się on powinien z 9 lub 10 segmentów o długości 6 m. Na końcach segmentu należy pozostawić odcinek (nad- i podfiltrowy) o długości 0,25 m z każdej strony. Rury filtrowe połączone zostaną w kolumny przy zastosowaniu standardowej technologii zgrzewania rur PE. Całkowita długość czynnej części filtra wyniesie od 54 do 60 m.

Perforacja filtra powinna zostać wykonana w postaci:

- nacięcia o długości - 50 mm
- szerokość szczeliny – 1 mm
- nacięcia wzdłużne na rurociągu w układzie szachownicowym,

- z odstępem pomiędzy kolejnymi pasami – 50 mm.
- ilość nacięć po obwodzie - 8 szt.

Poniżej w tabeli 5. przedstawiono zestawienie materiałowe dla otworów wykonanych w technologii HDD.

**Tabela 5. Zestawienie materiałów dla przewiertów sterowanych wykonanych w technologii HDD – segmenty filtrowe**

L.p.	Nazwa otworu	Szerokość nacięcia [mm]	Ilość rur filtrowych [szt.]	Długość odcinka [m]	Długość rury filtrowej [m]	Powierzchnia czynna filtra [%]	Rodzaj gruntu
1.	DS-1	1	9	6	54	1,12	rodzime
2.	DS-2	1	9	6	54	1,12	nasypowe
3.	DS-3	1	9	6	54	1,12	rodzime / nasypowe
4.	DS-4	1	9	6	54	1,12	rodzime
5.	DS-5	1	10	6	60	1,12	nasypowe
6.	DS-6	1	10	6	60	1,12	nasypowe
7.	DS-7	1	10	6	60	1,12	nasypowe
8.	DS-8	1	10	6	60	1,12	nasypowe
9.	DS-9	1	10	6	60	1,12	nasypowe
<b>Suma:</b>			<b>86 szt.</b>		<b>516 m</b>	-	-

Gotowe odcinki filtrowe powinny zostać dostarczone, razem z rurami pełnymi, na plac budowy gdzie zostaną połączone, za pomocą zgrzewania lub spawania, w zestawy gotowe do wciągnięcia do otworów. W tabeli 6. zestawiono materiały dla wykonania rur nad- i podfiltrowych otworów drenażowych wykonanych w technologii wierceń sterowanych. W tabeli 7. przedstawiono zarurowanie drenów wykonanych z rur PE 100.

**Tabela 6. Zestawienie materiałów dla przewiertów sterowanych wykonanych w technologii HDD – segmenty pełne**

L.p.	Nazwa otworu	Ilość pełnych [szt.]	Długość segmentu [m]	Długość całkowita [m]
1	DS-1	4	12	48 m
2	DS-2	4	12	48 m
3	DS-3	4	12	48 m
4	DS-4	6	12	48 m
5	DS-5	6	12	72 m
6	DS-6	6	12	72 m
7	DS-7	6	12	72 m
8	DS-8	6	12	72 m
9	DS-9	6	12	72 m
<b>Suma:</b>				<b>576 mb</b>

Tabela 7. Zarurowanie otworów drenażowych wykonanych w technologii PE

Lp.	Nazwa otworu	Rura nadfiltrowa	Rura filtrowa	Rura podfiltrowa	Ilość szwów
1.	DS-1	36 m (3x12m)	54 m (9x6m)	12m (1x12m)	12
2.	DS-2	36 m (3x12m)	54 m (9x6m)	12m (1x12m)	12
3.	DS-3	36 m (3x12m)	54 m (9x6m)	12m (1x12m)	12
4.	DS-4	36 m (3x12m)	54 m (9x6m)	36m (3x12m)	14
5.	DS-5	36 m (3x12m)	60 m (10x6m)	36m (3x12m)	15
6.	DS-6	36 m (3x12m)	60 m (10x6m)	36m (3x12m)	15
7.	DS-7	36 m (3x12m)	60 m (10x6m)	36 m (3x12m)	15
8.	DS-8	36 m (3x12m)	60 m (10x6m)	36m (3x12m)	15
9.	DS-9	36 m (3x12m)	60 m (10x6m)	36m (3x12m)	15

Po zakończeniu robót instalacyjnych należy wykonać uaktywnienie otworów metodą hydrauliczną, w celu usunięcia resztek płuczki, zwiercin, a także materiału skalnego z wnętrza otworu. Otwór drenażowy na powierzchni terenu należy zamknąć studzienką rewizyjną, a także zabezpieczyć przed dostępem osób postronnych.

### Dobór średnicy rur PE 100

Rury PE100 podczas wciągania do otworów wiertniczych narażone będą na znaczne naprężenia rozciągające. W związku z wykonaniem wzdłużnych nacięć nastąpi osłabienie wytrzymałości na rozciąganie konstrukcji czynnej filtra.

Z uwagi na technologię instalacji rurociągów w otworze wiertniczym, dąży się do stosowania jak najmniejszej średnicy rur. Mała średnica zapewnia małą powierzchnię tarcia ścianki zewnętrznej rur o materiał gruntowy stanowiący ocios otworu wiertniczego.

Z drugiej strony mały przekrój rury oznacza mały przekrój (światło) rurociągu. Średnica wewnętrzna musi być wystarczająca dla wprowadzanej do kolumny sondy hydraulicznej przy udrażnianiu lub ewentualnej renowacji drenu.

W związku z powyższym oszacowano graniczne siły uciągu dla maszyny wiertniczej dla różnych średnic kolumny rur oraz przy założeniu różnej grubości ścianki rury filtrowej. Z obliczeń przedstawionych w tabeli 7. wynika, że zakładane naprężenia projektowe 8 MPa spełniają rury DN125. Maksymalna dopuszczalna siła uciągu maszyny wiertniczej dla rur ze szczeliną filtracyjną wynosi 57,9 kN. Średnica wewnętrzna rurociągu wyniesie zatem 77,6 mm, a grubość ścianki rurociągu 23,3 mm. Konstrukcja rurociągu jest rozwiązaniem nietypowym, niedostępnym powszechnie na rynku. W związku z tym, rurociąg będzie musiał zostać wykonany przez producenta na specjalne zamówienie.

Szczeliny filtracyjne w rurociągu wykonane zostaną przy pomocy cięcia wodą pod

wysokim ciśnieniem. Technologia ta zapewnia wysoką precyzję wykonania nacięć oraz zachowanie parametrów wytrzymałościowych materiału.

Tradycyjne metody wycinania (np. mechaniczne czy termiczne) istotnie ingerują w strukturę materiału. W tym przypadku ich stosowanie jest niedopuszczalne.

Tabela 8. Obliczenia wytrzymałościowe dla rur PE

parametry rury PEHD PE 100	średnica	Grubość ścianki	Średnica wewnętrzna	Powierzchnia otworów	Powierzchnia przekroju rury	Max. dopuszczalna siła uciągu		napężenie w ściance	napężenia projektowe
SDR	OD	e	ID	a	A	F		$\sigma = F/A$	$\sigma_{pr}$
-	m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	t	N	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>
4.7	0.11	0.0233	0.0634	0.0001864	0.0062	5	49 050	7 962 711	8 000 000
<b>5.4</b>	<b>0.125</b>	<b>0.0233</b>	<b>0.0784</b>	<b>0.0001864</b>	<b>0.0073</b>	<b>5.9</b>	<b>57 879</b>	<b>7 974 567</b>	<b>8 000 000</b>
6	0.14	0.0233	0.0934	0.0001864	0.0084	6.8	66 708	7 983 307	8 000 000

## Obliczenia hydrauliczne drenów PE 100

W tabeli 9. przedstawiono obliczenia hydrauliczne dla drenów wykonanych z rur PE, zafiltrowanych w utworach rodzimych oraz gruntach nasypowych (zwałowych) budujących skarpy zbiornika Piaseczno.

Tabela 9. Obliczenia hydrauliczne drenów wykonanych w technologii HDD

L.p	Utwory	Współczynnik filtracji	Zasięg oddziaływania drenu	Max. ciśnienie początkowe	Max. prędkość filtracji	Max. prędkość rzeczywista przepływu	Prędkość dopuszczalna	Średni dopływ początkowy	Średni dopływ początkowy (z 1 otworu)
		m/s	m	m	m/s	m/s	m/s	m <sup>3</sup> /h / 1 mb	m <sup>3</sup> /h
1	Grunty rodzime	5,7 10 <sup>-4</sup>	345	4	7,8 10 <sup>-6</sup>	3,9 10 <sup>-5</sup>	8,0 10 <sup>-4</sup>	0,275	15,24
2	Grunty nasypowe	4,2 10 <sup>-5</sup>	93	4	2,1 10 <sup>-5</sup>	1,0 10 <sup>-5</sup>	2,1 10 <sup>-4</sup>	0,075	4,1

Spodziewana prędkość filtracji wody, jak też prędkość rzeczywista przepływu w gruncie są mniejsze od dopuszczalnych. Minimalizuje to ryzyko kolmatacji mechanicznej. W miarę obniżania zwierciadła wody wydajność otworu (prędkość filtracji) będzie spadać. Jak wskazują doświadczenia praktyczne wydatki ustabilizują się na ok. 20-30% wydajności początkowej. Wydajność otworu może zmieniać się w czasie - w zależności od zmian warunków zasilania/infiltracji (np. pory roku).



## Otwory drenażowe kierunkowe

Otwory drenażowe poziome wykorzystywane są do odwodnienia osuwisk w budownictwie drogowym i hydrotechnicznym. Ponieważ strefy poślizgu często położone są dosyć głęboko, trudno jest sięgnąć poza powierzchnię poślizgu metodą odkrywkową. W tych przypadkach z pomocą przychodzi odwodnienie wgłębne kierunkowe, wykonywane metodą wiertniczą. Odwodnienie prowadzone jest za pomocą drenów prostych, poziomych lub nachylonych, umożliwiających grawitacyjny spływ wód. Drenaże wiercone posiadają zazwyczaj konstrukcję odbiegającą nieco od stosowanych w standardowych drenażach melioracyjnych lub budowlanych, co wynika z technologii instalowania drenów w otworach wiertniczych. Wykorzystuje się tutaj rozwiązania stosowane zazwyczaj w wiertnictwie studziennym. Dreny wykonywane są tutaj jako studnie przelewowe. Zależnie od kierunku nachylenia drenu w pionie, odprowadzanie wody z otworu odbywa się grawitacyjnie bądź ciśnieniowo.

Metoda odwodnienia wgłębego za pomocą drenów poziomych pozwala na jednoczesne przejście wody spod strefy poślizgu oraz osuszanie koluwiów osuwiskowych. Metoda wiertnicza umożliwia osuszenie strefy poślizgu i zwiększenie wartości parametrów geomechanicznych gruntów w nich występujących, wymusza bowiem samoistną konsolidację gruntów w strefie osuwiskowej, co ma związek ze zmniejszeniem ciśnienia i siły wyporu wody gruntowej.

W skałach okruchowych, podczas swobodnego wypływu wody podziemnej na ocosie skarpy występuje ciśnienie spływowe, które z biegiem czasu może doprowadzić do erozji skarpy, czego następstwem może być zachwianie warunków stateczności, statecznego dotychczas zbocza (tzw. osuwiska erozyjno-sufozyjne). Celem stosowania, zaproponowanych w niniejszej dokumentacji, otworów poziomych jest ujmowanie wody wgłębnej bezpośrednio z warstwy wodonośnej, zwiększenie zasięgu drenującego oddziaływania odwodnienia wyrobiska, a także zmniejszenie tempa erozji skarp nadwodnych.

## Wykonywanie otworów

Otwory poziome wiercone będą z wyrobiska i wykonane będą jako otwory kierunkowe. Kąt wiercenia zadany będzie poprzez wstępne pochylenie masztu wiertniczego. Ponieważ przebywanie ludzi oraz sprzętu, a także wykonywanie prac wiertniczych na skarpach, w warunkach panujących w O/Piaseczno należy uznać za niebezpieczne, dlatego proponuje się wykonanie robót wiertniczych z jednostki pływającej. Jednostka (platforma) ta zwodowana może być w rejonie pompowni głównej, gdzie znajduje się umocniona pochyłania zjazdowa do zbiornika.

Do wykonania zadania konieczne będą trzy niezależne platformy, tj.:

1. platforma A – na wiertnicę oraz urządzenie podające żerdzie i rury,
2. platforma B – na stanowisko składowania rur, żerdzi i drenów (zacumowana obok platformy A),
3. platforma C – na koparkę i zespół przygotowujący miejsce pod platformę A.

Platforma A powinna składać się z co najmniej 8 pomostów wojskowych, np. typu PP64. Biorąc pod uwagę ciężar wiertnicy (ok. 15 ton) i pontonów (12 ton) oraz uwzględniając wyporność pontonów, szacuje się, że ich zanurzenie wyniesie ok. 0,6 m.

Na platformie należy także przewidzieć miejsce dla małej, lekkiej wiertnicy służącej do kotwienia pomostów. Wiertnica przewidziana do wiercenia otworów drenażowych będzie na stałe przytwierdzona w centralnym punkcie platformy A, celem uzyskania równowagi pływania.

Platforma B wymaga co najmniej czterech pomostów, np. typu PP64. Biorąc pod uwagę ciężar osprzętu, kotew, stojaków, żerdzi i rur wiertniczych, a także drenów oraz uwzględniając masę pontonów szacuje się, że ich zanurzenie wyniesie ok. 0,6 m.

Platforma C na koparkę o masie 5 ton powinna składać się z 4 platform, np. typu PP64. Jednostka pływająca w trakcie robót wiertniczych zostanie zakotwiczona, przytwierdzona do dna zbiornika za pomocą pali, a także przycumowana do brzegu.

Otwory wykonywane będą wiertnicą do wierceń poziomych z zastosowaniem kolumny rur technicznych osłonowych. Po wykonaniu otworu do kolumny rur technicznych wprowadzona będzie kolumna filtrowa. Następnie rura osłonowa wycofana zostanie z otworu wiertniczego.

### **Lokalizacja otworów kierunkowych**

Nawiązując do przeprowadzonych obliczeń hydraulicznych (tabela 9.) ustalono, że zasięg oddziaływania drenów wykonanych w czwartorzędowym poziomie wodonośnym wyniesie około 345 m. W związku z tym proponuje się wykonanie otworów drenażowych wokół wyrobiska w gruntach rodzimych w odległości średniej około 350 m. Taka odległość pomiędzy otworami zapewni ich współdziałanie (współczynnik interferencji - 0,5), co gwarantuje równomierne odwodnienie otoczenia wyrobiska. Wskazując lokalizację drenów brano także pod uwagę wyniki wstępnej analizy profili skarp oraz wyniki lokalnej wizji terenowej. Wybrano zatem przekroje o najbardziej niekorzystnej geometrii.

Przewiduje się wykonanie 11 szt. otworów kierunkowych o długości średniej 50 m. Całkowity metraż rur wyniesie zatem 566,5 m (1,5 m - odcinek serwisowy). Lokalizację otworów wierconych przedstawiono na mapie (załącznik 1). Lokalizacja otworów przedstawiona została w tabeli 10. Kolejność wykonywania otworów powinna być zgodna z przyjętym oznaczeniem w nazwie otworu.

Tabela 10. Parametry podstawowe i lokalizacja otworów kierunkowych

Nazwa otworu	długość otworu [m]	Współrzędne wejścia		długość odcinka filtrowego [m]	rodzaj gruntu
		x	y		
DK1	51.5	5602559.7	7541782.1	30	nasypowe - rodzime
DK2	51.5	5602454.7	7542391.3	36	rodzime
DK3	51.5	5602619.6	7542687.6	30	nasypowe - rodzime
DK4	51.5	5602516.2	7542930.0	30	nasypowe - rodzime
DK5	51.5	5602190.1	7543002.2	24	nasypowe - rodzime
DK6	51.5	5601959.3	7542918.1	36	nasypowe - rodzime
DK7	51.5	5601834.0	7542693.6	36	rodzime
DK8	51.5	5601592.4	7542176.5	36	nasypowe - rodzime
DK9	51.5	5601539.2	7541912.4	36	rodzime
DK10	51.5	5601294.5	7541384.5	30	nasypowe - rodzime
DK11	51.5	5601361.6	7541329.2	30	nasypowe - rodzime

Zadaniem otworów kierunkowych będzie drenaż skarp czwartorzędowych na zboczach N, E i SE. Dodatkowo dwa otwory (DK-10 i DK-11), położone w bliskiej odległości od siebie, zaplanowano w rejonie czynnego osuwiska, tj. w narożniku S wyrobiska. Otwory te zostaną wykonane jako ostatnie w kolejności. **Wykonywanie otworów kierunkowych może oddziaływać na maszyn skalny zagrożony osuwiskiem. Dlatego wiercenie może odbyć się dopiero po ustabilizowaniu skarp za pomocą wcześniej wykonanego drenażu za pomocą przewiertów sterowanych. Dopuszczenie do wykonywania prac powinien wydać nadzór geologiczno-mierniczy po uprzednim dokonaniu oceny warunków geologiczno-inżynierskich.**

### Konstrukcja otworów drenażowych kierunkowych

Otwory drenażowe kierunkowe pracujące w warunkach zbiornika Piaseczno muszą spełniać bardzo nietypowe wymagania. Konstrukcja filtrowa musi charakteryzować się wytrzymałością na naprężenia pochodzące z górotworu (trwałością) oraz odpornością na procesy starzeniowe (niezawodnością). Jest to związane przede wszystkim z:

1. Parametrami fizyko-chemicznymi wody, które sprzyjają procesom starzeniowym, w tym korozji: chemicznej, elektrochemicznej, atmosferycznej, depolaryzacji anodowej, depolaryzacji tlenowej oraz zjawiskami tworzenia się powłok galwanicznych,
2. Ryzykiem wystąpienia masowych zjawisk osuwiskowych, które mogą mieć charakter nagły lub też pełzający w czasie; procesy te mogą prowadzić do

miejscowych uszkodzeń konstrukcji drenu, wyboczeń, zerwania ciągłości rur, utraty drożności lub całkowitej utraty zdolności filtracyjnych. Wymaga to zastosowania materiałów o dużej wytrzymałości na naprężenia pochodzące z górotworu w tym, wysoką wytrzymałość na ścinanie, zginanie i skręcanie (szczególnie rur filtrowych).

3. Specjalistyczną metodą wiercenia otworów oraz sposobem instalacji kolumn filtrowych w otworze wiertniczym. Proponowana technologia wymaga zastosowania rur filtrowych o wysokiej wytrzymałości na ściskanie oraz rozciąganie, co związane jest z występującymi, podczas instalacji rur, siłami osiowymi.

Zakłada się ponadto, że dreny poziome będą pracowały w wyrobisku Piaseczno przez okres, co najmniej, 10 lat.

W związku z powyższymi uwarunkowaniami proponuje się zastosowanie otworów drenażowych kierunkowych z nierdzewnej i kwasoodpornej stali austenitycznej, stabilizowanej dodatkowo tytanem. Materiał ten zapewnia bardzo wysoką odporność na korozję międzykrystaliczną oraz charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami wytrzymałościowymi. W tabeli 11. przedstawiono specyfikacje składu chemicznego materiału.

Tabela 11. Charakterystyka składu chemicznego stali nierdzewnej, gatunek: 1.4571 (H17N13M2T/H18N10MT, X6CrNiMoTi17-12-2), 316 Ti

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Ti</b>
<b>min.</b>						16,5	2,00	10,5	5xC
<b>max.</b>	0,08	1,00	2,00	0,045	0,03	18,5	2,50	13,5	0,70

Warto podkreślić, że do szczególnych właściwości materiału 1.4571 należy własność magnetyczna  $m_r=1,3$  oraz możliwość obróbki materiału w bardzo wysokich temperaturach dochodzących do 700°C. Jest to szczególnie ważna cecha, pozwalająca na spawanie lub zgrzewanie elementów filtra bez utraty własności stali, a także zachowanie parametrów wytrzymałościowych połączeń konstrukcji filtrowej. Dodatkowo ten gatunek stali można użytkować w niskich temperaturach.

Proponuje się zatem zastosowanie filtrów ze szczeliną ciągłą (filtr szczelinowy) o charakterystyce przedstawionej w tabeli 12.

Tabela 12. Specyfikacja techniczna konstrukcji rur filtrowych – otwory kierunkowe

Konstrukcja filtra	
Profil drutu nawojowego	W 260 (przekrój trójkątny)
Szerokość drutu nawojowego	2,6 mm
Wysokość drutu nawojowego	5,2 mm
Kąt nawijania	12°
Druty pionowe (konstrukcyjne)	20 szt, $\phi = 3$ mm
Średnica zewnętrzna rury filtrowej	94 mm
Średnica wewnętrzna filtrowej	80 mm
Maksymalna średnica na złączce	95 mm
Szerokość szczeliny	0,30 mm
Waga filtra	max 8 kg/m (bez złączy)
Waga kompletu złączy	max. 5 kg
Połączenia	skręcane – gwintowane
Parametry wytrzymałościowe	
Wytrzymałość na ciśnienie zewnętrzne	188,93 bar
Maksymalne obciążenie osiowe	83,4 kN ( 8 500 kg )
Parametry hydrauliczne	
Swobodna powierzchnia dopływu	10,34 %
Teoretyczna wydajność filtra	3,24 m <sup>3</sup> /h (0,9 l/s ) – przy założonej prędkości dopływu 3,0 cm/s
Charakterystyka rur pełnych (nadfiltrowe i podfiltrowe)	
Rura bez szwu 88,9 x 5,49	materiał - stal, gatunek: 1.4571
Połączenia	skręcane – gwintowane

Dla zaproponowanego sposobu ujmowania wód wglębnych przewiduje się następującą konstrukcję drenów kierunkowych:

1. Rura podfiltrowa - osadnik DN 80 z dnem o długości L=6 m – rura bez szwu, ze stali nierdzewnej, gatunek: 1.4571, o wymiarze 88,9 x 5,49 zakończona wspawanym dnem o grubości 5 mm;
2. Rura filtrowa - filtr ze szczeliną ciągłą DN 80m, składający się z kilku odcinków o długości L=6 m o parametrach wyspecyfikowanych w tabeli 12;
3. Rura nadfiltrowa - pełna DN 80, rura bez szwu ze stali nierdzewnej w gat. 1.4571 o wymiarze 88,9 x 5,49;
4. Odcinek serwisowy - wylewka z wyczystką DN 100 wykonana z PE 100 – element zapewniający odprowadzenie wody w żądanym kierunku (odejście pionowe lub boczne), wyposażony w część rewizyjną zabezpieczoną wkręcany denkiem, stanowiący element zabezpieczający przed dostaniem się zanieczyszczeń lub ciał obcych do wnętrza drenu.

Elementy (od 1. do 3.) wykonane powinny być ze stali nierdzewnej. Odcinki rur powinny być skręcane są ze sobą za pomocą złączek wyposażonych w gwint trapezowy zapewniający dużą wytrzymałość połączenia, jak i szybki montaż. Złączka musi być wyposażona dodatkowo w doszczelniający oring.

Połączenie pomiędzy elementem 3. wykonanym ze stali nierdzewnej a odcinkiem z rury PE (element 4.) powinno być wykonane przy wykorzystaniu kołnierzy obrotowych zapewniających prawidłowe osadzenie elementów względem siebie.

Należy podkreślić, iż zastosowanie filtra wykonanego w technologii nawojowej zapewnia uzyskanie stałego, drobnego rozmiaru szczeliny na całym obwodzie przy zachowaniu znacznej swobodnej powierzchni dopływu. Rozwiązanie to gwarantuje długoletnią i wydajną pracę całego drenu, a konstrukcja charakteryzuje się odpowiednimi parametrami wytrzymałościowymi.

Poniżej w tabeli 13. przedstawiono zestawienie materiałów do wykonania 11 szt. otworów drenażowych kierunkowych.

Tabela 13. Zestawienie materiałów do zabudowy drenów w otworach wierconych kierunkowych

Materiał konstrukcyjny	DK-1	DK-2	DK-3	DK-4	DK-5	DK-6	DK-7	DK-8	DK-9	DK-10	DK-11	SUMA	
	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	szt.	m
Osadnik 88,9 x 5,49 z dnem L=6m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	66
Filtr ze szczeliną ciągłą L=6m	5	6	5	5	4	6	6	6	6	5	5	59	354
Rura pełna 88,9 x 5,49 L=6m	2	1	2	2	3	1	1	1	1	2	2	18	108
Rura pełna 88,9 x 5,49 L=2m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	22
Wylewka z wyczystką PE L=1,5m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	16.5
												566.5 m	

## Roboty ziemne

Technologie wiertnicze jako technologie bezwykopowe nie wymagają znaczących robót ziemnych. Zasadniczo prace ograniczają się do przygotowania terenu oraz jego rekultywacji po zakończeniu prac wiertniczych.

Biorąc pod uwagę zaproponowane rozwiązania, roboty ziemne związane będą z:

1. Przygotowaniem stanowisk (komór startowych) dla urządzenia wiertniczego przy wykonywaniu przewiertów sterowanych.
2. Niwelacji dna zbiornika w miejscach podejść pod skarpe jednostki pływającej dla wykonania otworów kierunkowych poziomych (otworów przelewowych).

Dla pierwszego z powyżej wymienionych przewiduje się wykonanie komór startowych, zagłębionych w terenie o wymiarach 3x3x2 m (LxSxG), tj. około 18 m<sup>3</sup>, łącznie ok. 162 m<sup>3</sup>.

Dodatkowo, w związku z koniecznością zwodowania przygotowanych wcześniej rurociągów drenażowych PE - przed ich wciągnięciem do otworów pilotowych - konieczne będzie wykonanie czyszczenia strefy przybrzeżnej z trzciny, a także wykonanie przegłębień dla jednostki pływającej, do której zaczepiane będą rurociągi drenażowe. W tym przypadku konieczne będzie zainstalowanie sprzętu pogłębiającego (koparki) na jednostce pływającej. Szacunkowa ilość mas ziemnych do przesunięcia wynosi:

- 5 otworów w rejonie zwałowiska wewnętrznego, tj. zbocze NW: 50x5x1 m (LxSxG) = 250 m<sup>3</sup>, łącznie 1250 m<sup>3</sup>.

- 4 otwory na zboczu W zbiornika oraz jego narożniku SW: 10x5x1 m (LxSxG) = 50 m<sup>3</sup>, łącznie 200 m<sup>3</sup>.

W drugim przypadku przewiduje się wykonanie przegłębień w przyskarpowym dnie zbiornika wodnego w celu dosunięcia sprzętu wiertniczego do czoła skarpy nadwodnej. Szacunkowa ilość mas ziemnych do przesunięcia wynosi: 5x5x1 (LxSxG) = 25 m<sup>3</sup>, łącznie 275 m<sup>3</sup>.



## Płuczki wiertnicze

W czasie wykonywania robót wiertniczych wykorzystywane będą płuczki wiertnicze. Płuczka wiertnicza wykorzystywana dla realizacji otworów kierunkowych, sterowanych i poziomych, to płyn wodno-dyspersyjny. Cieczy powierza się spełnienie funkcji krytycznych z punktu widzenia procesu opartego na bilansie przepływów i ciśnień, tj.:

- Dostarczanie mocy hydraulicznej na dno otworu, dzięki czemu odbywa się urabianie formacji miękkich oraz czyszczone jest czoło narzędzia,
- Transport zwiercin przestrzenią pierścieniową na powierzchnię,
- Utrzymywanie fazy stałej w suspensji w trakcie cyrkulowania i stanów statycznych,
- Stabilizacja ściany otworu przez wywieranie ciśnienia wewnętrznego,
- Chłodzenie zestawu wierzącego i obniżanie tarcia w otworze.

Płyny wykorzystywane w tej technologii mają specjalną charakterystykę lepkościową pomocną w optymalizacji procesu wiercenia. Podstawowe produkty wykorzystywane w tej technologii to modyfikowane bentonity uzupełniane w razie potrzeby biopolimerami, koloidami ochronnymi, środkami powierzchniowo czynnym.

Biorąc pod uwagę fakt prowadzenia prac w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika wodnego, którego przyjętym kierunkiem rekultywacji jest kierunek wodny z użytkowaniem rekreacyjnym, stosowane płuczki powinny być obojętne dla środowiska wodnego. Wymagane jest stosowanie płuczek bentonitowych, biodegradowalnych - nie oddziałujących na środowisko wodne lub płuczek ilowych, obojętnych chemicznie. Brak negatywnego wpływu na środowisko potwierdzony powinien być atestami i innymi dokumentami wydanymi przez uprawnione do tego instytucje.

Ze względu na fakt, że przewiercane będą grunty przepuszczalne (piaski gruboziarniste, żwiry i pospółki) a także grunty nasypowe, zazwyczaj przymowane zwałowarką lub spycharką w sposób losowy, należy się liczyć z dużą zmiennością oporów wiercenia, a także ucieczkami płuczki wiertniczej. Materiał płuczkowy zasilający górotwór, w fazie wykonywania otworu, przyczyniał się będzie do zwiększenia zawodnienia, a więc także do tymczasowego miejscowego pogorszenia warunków stateczności. Poprawa warunków nastąpi dopiero po zainstalowaniu orurowania i grawitacyjnym odwodnieniu rejonu działania drenu.

## Warunki bezpieczeństwa i przeciwdziałanie zagrożeniom

W przypadku gruntów niestabilnych należy zastosować specjalne procedury bezpieczeństwa. Utwory budujące skarpy wyrobiska zbudowane są przeważnie z utworów

nasypowych albo z utworów rodzimych poddanych działaniu sił hydrodynamicznych. Dodatkowo, w obrębie zboczy nasypowych, wskaźnik stateczności jest bliski jedności, co oznacza, że zbocza znajdują się w stanie równowagi chwiejnej. Grunty nasypowe, zwłaszcza w sąsiedztwie zbiornika są nasączone wodą oraz są stosunkowo słabo skonsolidowane.

Ze względu na powyżej wspomniane uwarunkowania, konieczne jest przestrzeganie warunków bezpieczeństwa wykonywania wierceń sterowanych. W związku ze stanem gruntów budujących skarpy wyrobiska niedopuszczalne jest poruszanie się ciężkiego sprzętu technologicznego po skarpach wyrobiska. W celu sprowadzenia rurociągów PE do zbiornika zaleca się opracowanie technologii transportu orurowania bez konieczności wjazdu sprzętu technologicznego na skarpy wyrobiska. Należy uwzględnić zatem konieczność ściągnięcia rur PE na powierzchnie wody np. za pomocą sprzętu pływającego.

W trakcie wykonywania wiercenia HDD konieczne jest sterowanie postępem wiercenia oraz zdalne pozycjonowanie narzędzia wiertniczego. Odbywa się to, za pomocą sondy, przez operatora poruszającego się po powierzchni terenu. Po wyjściu narzędzia wiertniczego na skarpie, konieczne będzie także podpięcie rurociągu do przewodu pilotowego oraz zainstalowanie narzędzia rozwiercającego otwór. W tej fazie robót na skarpie przebywać może tylko niezbędna obsługa serwisowa.

W związku z powyższym, uwzględniając warunki stateczności skarp, w tym możliwość rozmakania i zapadania gruntu w trakcie prac wiertniczych, wymagane jest wyposażenie pracowników przebywających w strefie robót na skarpach w sprzęt ratunkowy typowy dla wykonawstwa prac w obrębie zbiorników wodnych, tj. kamizelki i koła ratunkowe.

Obsługa sprzętu oraz osoby przebywające na terenie prowadzonych prac powinny zostać poinformowane o zagrożeniach oraz przeszkolone w zakresie postępowania ratunkowego na wypadek osunięcia skarpy. Ponadto wszystkie osoby przebywające na terenie wyrobiska powinny zostać także wyposażone w kamizelki odblaskowe.

W zakresie prac wiertniczych wykonywanych z powierzchni lustra wody obowiązują zasady bezpieczeństwa prac wykonywanych, na jednostkach pływających po zbiornikach śródlądowych. Firma wiertnicza powinna posiadać niezbędne doświadczenie w zakresie wykonawstwa tego typu robót, wykazać się odpowiednimi referencjami oraz posiadać opracowane własne procedury bezpieczeństwa prac wiertniczych na wodach śródlądowych.

Po zakończeniu prac wiertniczych, niezwłocznie należy przystąpić do oczyszczenia placu budowy, a teren objęty pracami musi zostać przewrócony do akceptowalnych i zrehabilitowanych warunków.

W celu zabezpieczenia skarp, wyloty z drenów należy umocnić narzutem kamiennym lub faszynami, tak aby strumień wody wypływający przelewowo z otworów nie powodował erozji skarpy nadwodnej.

## Uaktywnianie, eksploatacja i renowacja otworów drenażowych

Po zakończeniu robót wiertniczych oraz wciągnięciu rurociągów PE konieczne będzie przeprowadzenie uaktywniania otworów drenażowych. W trakcie wciągania rur drenażowych nastąpi prawdopodobnie zanieczyszczenie przestrzeni wewnętrznej przez drobne frakcje skalne, pozostałości płuczki oraz zwiercin. Uaktywnianie polegać będzie na usunięciu materiału gruntowego z przestrzeni wewnętrznej rurociągu przy pomocy metody ciśnieniowej. Metoda ta jest najszybsza i najdokładniejsza. Wykorzystuje się ją powszechnie do udrażniania instalacji sanitarnych. Usuwanie materiału zalegającego w instalacji odbywa się przez użycie sprzętu WUKO, tj. samochodu wyposażonego w urządzenie ssąco – płuczące. Metoda ciśnieniowa jest najlepszym sposobem na utrzymanie drożności rur kanalizacyjnych, stosowanych powszechnie przy obsłudze instalacji zewnętrznych.

Otwory kierunkowe wiercone zarówno z powierzchni terenu jak i wykonywane z powierzchni, odprowadzać będą ujmowane wody do zbiornika Piaseczno. Odpływ wód z drenów odbywał się będzie przelewowo (ciśnieniowo).

Otwory hydrogeologiczne, niezależnie od przeznaczenia, ulegają procesom starzeniowym. Procesy te mogą być różnorodnego rodzaju: fizyczne (mechaniczne), chemiczne czy biochemiczne.

W otworach studziennych, w których instalowane są agregaty pompowe najczęściej zachodzą procesy mechaniczne, wynikające z przekraczania dopuszczalnych prędkości filtracji na filtrze studziennym i kolmatacją cząstkami stałymi unoszonymi przez przepływającą wodę (kolmatacja mechaniczna). W przypadku drenów poziomych, do których dopływ odbywa się na skutek występowania naturalnego gradientu ciśnienia, zintensyfikowana kolmatacja mechaniczna zachodzi w początkowym okresie odwadniania, co ma związek z wysokim ciśnieniem wód statycznych. Migrujące cząstki stałe są wynikiem unoszenia pozostałości płuczki, zwiercin oraz frakcji pylastych i ilastych obecnych w odwadnianym ośrodku skalnym. Po zmniejszeniu ciśnienia i ustabilizowaniu się wydajności przepływu, prędkości filtracji ulegają zmniejszeniu, co zmniejsza przekrój strumienia transportu cząstek stałych.

Po usunięciu zasobów wód statycznych dopływ do drenu stabilizuje się, a jego wydajność uzależniona jest od wielkości zasobów dynamicznych. Charakterystycznym dla tego okresu pracy drenu jest stabilizacja docelowych depresji zwierciadła wody.

Procesom kolmatacji mechanicznej można przeciwdziałać poprzez prawidłowy

dobór powierzchni czynnej filtra oraz szerokości szczelin, dostosowanej do uziarnienia warstwy wodonośnej. Wykonanie perforacji osłabia jednak parametry wytrzymałościowe rury filtrowej, co jest szczególnie istotne w przypadku rur wciąganych do otworu w technologii HDD.

W związku z powyższym w proponowanym rozwiązaniu konstrukcji rur filtrowych PE zakłada się wykonanie szczelin wzdłużnych o szerokości 1 mm. Powierzchnia czynna filtrów wyniesie ok. 1,12%. Obliczone prędkości filtracji są mniejsze do dopuszczalnych (tabela 9). Zwiększenie prędkości przepływu występuje dopiero w szczelinie filtra (tzw. prędkość wlotowa). Prędkości filtracji mniejsze od dopuszczalnych (krytycznych) istotnie zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia kolmatacji mechanicznej filtrów.

Renowacja części filtrowej rur PE z ewentualnych inkrustracji pochodzenia mechanicznego powinna odbywać się metodami hydraulicznymi, tj. strumieniem wody pod ciśnieniem. W celu rozbitcia masy kolmatującej należy zablokować (zamknąć) odpływ z drenu, natomiast od strony wejścia do otworu (studzienka rewizyjna) należy podać wodę pod ciśnieniem. Odwrócenie kierunku przelewu powoduje udrożnienie strefy przyfiltrowej.

W przypadku otworów poziomych, wierconych od strony zbiornika, należy podać wodę pod ciśnieniem przez odcinek serwisowy.

Kolejnym z obserwowanych na filtrach procesów starzeniowych jest kolmatacja chemiczna. Ten rodzaj kolmatacji zachodzi na skutek utleniania rozpuszczonych w wodzie związków mineralnych. Przepływ wody podziemnej do drenu powoduje zmianę warunków redukcyjnych na utleniające. Dostępność tlenu uzależniona jest od położenia zwierciadła wody w otworze. Jeśli zwierciadło wody jest położone powyżej filtra dostęp tlenu jest ograniczony. Dostawa tlenu do warstwy wodonośnej może odbywać wówczas tylko na skutek infiltracji opadów atmosferycznych, tj. wód bogatych w tlen rozpuszczony.

W celu przeciwdziałania kolmatacji chemicznej proponuje się instalację odcinków filtracyjnych, zarówno rur PE jak i rur stalowych, poniżej rzędnej zwierciadła wody w zbiorniku końcowym, tj. poniżej +139 m npm. Otwory kierunkowe wykonane będą jako lekko nachylone, co pozwoli na utrzymywanie odcinków filtrowych poniżej wypływu wody z drenu. Dreny działać będą zatem jak studnie przelewowe. Dzięki takiemu rozwiązaniu wyeliminowany zostanie dopływ tlenu do wnętrza otworu.

Kolmatacja chemiczna jak i biochemiczna nie zostanie jednak wyeliminowana całkowicie. W związku z zasilaniem warstwy czwartorzędowej wodami infiltracyjnymi - bogatymi w tlen atmosferyczny, w strefie filtrowej dochodzić może do gromadzenia się inkrustracji pochodzenia chemicznego. Należy liczyć się z ewentualnością przeprowadzania okresowej dokolmatacji filtrów (przypuszczalnie z częstotliwością raz na kilka lat).

Nachylenie otworów z rzędnej wylotu +139 - +140 m npm sprzyjać będzie także gromadzeniu się cząstek stałych i zawiesiny (zasypu) na dnie otworu, co może

powodować zmniejszenie drożności filtrów. Kontrola drożności może odbywać się przez wprowadzenie do otworu sondy, stosowanej powszechnie w technice wodociągowej i instalacjach sanitarnych, a także płukanie otworów strumieniem wody (np. urządzenie ssąco-tłoczące WUKO).

W przypadku otworów kierunkowych z rurą filtrową stalową, proponuje się zastosowanie odcinków serwisowych, tj. zamknięć zabezpieczających przed dostaniem się ciał obcych do wnętrza otworu. Otwór zamknięty będzie denkiem wkręcany z gwintem trapezowym. Odpływ z drenu odbywał się będzie przez upust boczny, zainstalowany prostopadle do osi drenu. Szczegóły konstrukcji odcinków serwisowych z upustem bocznym przedstawiono na załącznikach 22÷32.

Ocena sprawności filtrów może odbywać się poprzez monitoring wydajności drenu oraz pomiar zwierciadła wody w warstwie wodonośnej (pomiar poziomu wody w otworach piezometrycznych). Ograniczenie wydajności drenu przy jednoczesnym podnoszeniu się zwierciadła wody w piezometrach świadczy o spadku sprawności drenu. W przypadku stwierdzenia zmniejszenia sprawności otworu należy w pierwszej kolejności wykonać ocenę drożności drenu oraz pomiar głębokości otworu (obecność zasypu). W następnej kolejności należy wykonać renowację za pomocą metod hydraulicznych. np. poprzez płukanie strumieniem wody (usunięcie zasypu) lub zatłaczanie wody pod ciśnieniem (rozbitcie masy kolmatującej).

## Analiza warunków stateczności

### Wprowadzenie

Celem analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego rozdziału była ocena skuteczności zaprojektowanego systemu odwodnienia zboczy wyrobiska Piaseczno systemem drenaży poziomych, z punktu widzenia stateczności skarp.

Analizę stateczności przeprowadzono dla następujących rejonów (rys. 1.1.):

1. Zbocza zachodniego, zlokalizowanego w gruntach zwałowych, w obrębie którego projektowane jest odwodnienie drenami sterowanymi. Obliczenia przeprowadzono w przekroju DS-7, który został uznany za reprezentatywny dla warunków panujących po pracach zagęszczających z wykorzystaniem technologii mikrowybuchów, które zostały wykonane w 2014 roku [4].
2. Południowego narożnika zbiornika, w obrębie którego obserwuje się występowanie szczelin. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch przekrojów: DK-10 oraz DK-11, dla których projektowane jest odwodnienie drenami kierunkowymi oraz czterech przekrojów: DS-1, DS-2, DS-3 oraz DS-4, dla których projektowane jest odwodnienie drenami sterowanymi.
3. W rejonach pozostałych zboczy, gdzie projektowane jest odwodnienie drenami kierunkowymi:
  - zbocze północne - przekrój DK-1.
  - zbocze wschodnie - przekroje DK-4, DK-5,
  - zbocze południowo-wschodnie - przekrój DK-8.

Dla oceny zmiany warunków stateczności skarp przed oraz po realizacji projektowanego systemu odwodnienia w postaci drenów kierunkowych oraz drenów sterowanych, w poszczególnych przekrojach przeprowadzono analizę stateczności obejmującą obliczenia płaskie. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu programu SLOPE/W bazującego na metodach równowagi granicznej, wchodzącego w skład pakietu programów geotechnicznych GEOSTUDIO 2012. Do oceny stateczności wykorzystano wyniki uzyskane z następujących metod równowagi granicznej:

- metody Bishopa,
- metody Janbu,
- metody Morgensterna-Price'a.

Do poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu oraz minimalnej wartości wskaźnika stateczności wykorzystano metodę Entry&Exit.

Do oceny stanu zagrożenia zbroczy przyjęto następującą klasyfikację stopnia zagrożenia wystąpieniem procesów osuwiskowych (Nowacki i in., 1999):

- $FS \geq 1.5$  – powstanie osuwisk bardzo mało prawdopodobne,
- $1.3 \leq FS \leq 1.5$  – powstanie osuwisk mało prawdopodobne,
- $1.0 \leq FS \leq 1.3$  – powstanie osuwisk prawdopodobne,
- $FS < 1.0$  – powstanie osuwisk bardzo prawdopodobne.

Przy tak przyjętych kryteriach, wartość wskaźnika stateczności wynoszącą 1.3 można uznać za bezpieczną, natomiast wartość powyżej 1.5 za zapewniającą wysoki stopień bezpieczeństwa.

W obliczeniach przyjęto, aktualny poziom wody w zbiorniku wynoszący +138.0 m n.p.m. Aktualne położenie zwierciadła wody w górotworze przyjęto na podstawie pomiarów piezometrycznych, natomiast położenie zwierciadła po zastosowaniu drenażu na podstawie wytycznych z projektu drenów kierunkowych (przekroje DK1 – DK11) oraz sterowanych (DS1 do DS9).

Geometrię zbocza w poszczególnych przekrojach określano na podstawie aktualnej mapy wyrobiska oraz przekrojów wykorzystanych przy projektowaniu systemu odwodniania, będącego przedmiotem niniejszego opracowania. Interpretację budowy geologicznej wykonano na podstawie sondowań sondą statyczną CPT-u, sondowań sondą dynamiczną DPH oraz materiałów archiwalnych, a także wcześniejszych opracowań dotyczących oceny stateczności wyrobiska w rejonie zbroczy: południowego, wschodniego, północnego oraz zachodniego, w tym analiz stateczności wykonanych po zakończeniu etapu rekultywacji obejmującej wykonanie zagęszczania gruntów zwałowych metodą mikrowybuchów, tj.:

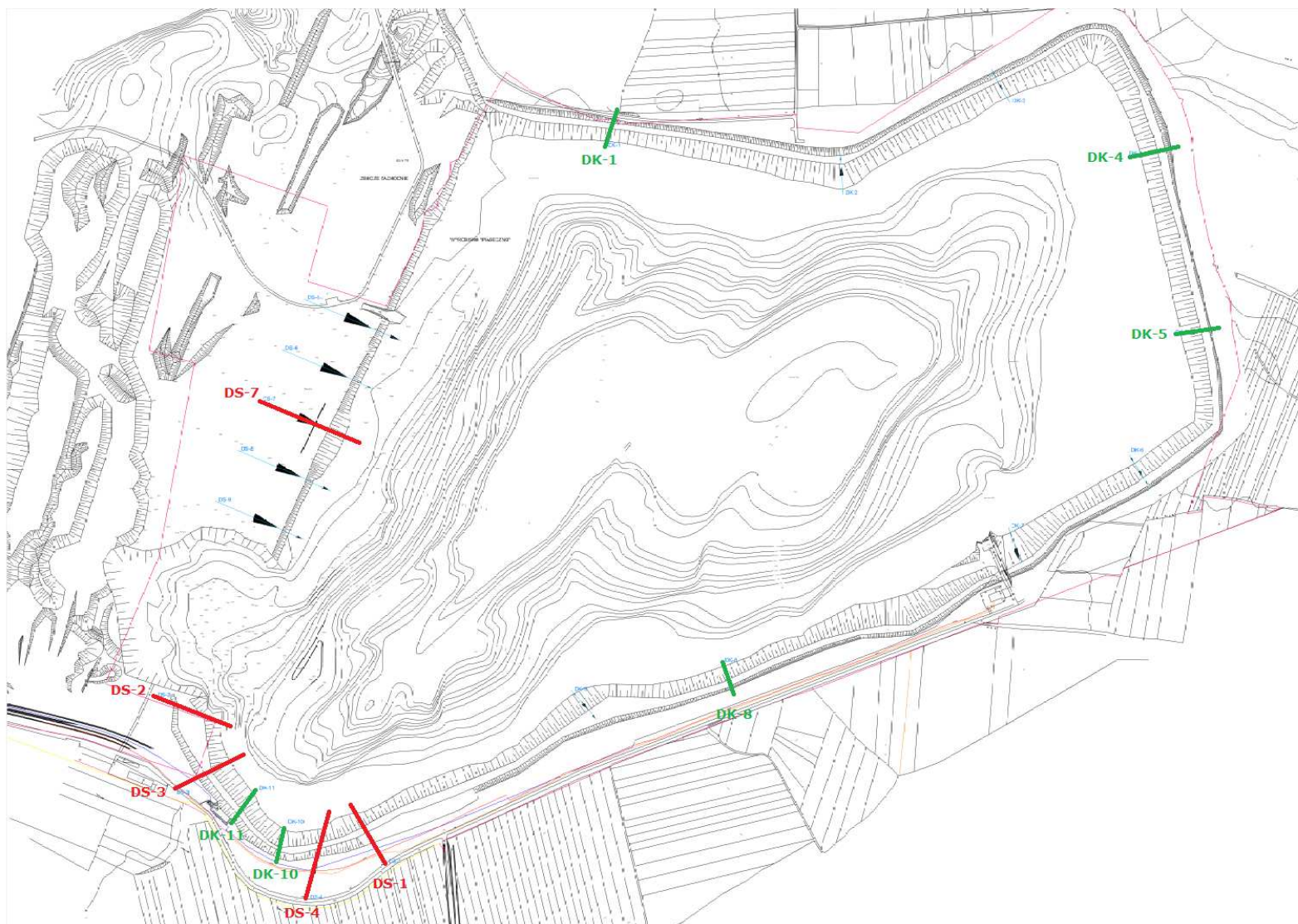
[1] *Aktualizacja geomechanicznej ekspertyzy w zakresie warunków stateczności skarp wyrobiska „Piaseczno”*. Zespół autorski FNiTG w składzie: dr inż. J. Flisiak, dr inż. J. Mazurek, prof. dr hab. inż. St. Rybicki. Kraków, 1997.

[2] *Aktualizacja geomechanicznej ekspertyzy w zakresie warunków stateczności skarp wyrobiska „Piaseczno” w warunkach braku dennej warstwy izolacyjnej*. Zespół autorski FNiTG w składzie: dr inż. J. Flisiak, dr inż. J. Mazurek, prof. dr hab. inż. St. Rybicki. Kraków, 2000.

[3] *Dokumentacja techniczna niezbędnych prac rekultywacyjno-likwidacyjnych wyrobiska Piaseczno – Etap I*. Zespół autorski FNiTG pod kierownictwem prof. dr hab. inż. M. Cały oraz dr inż. J. Flisiaka. Kraków, 2012.

[4] *Dokumentacja techniczna niezbędnych prac rekultywacyjno – likwidacyjnych wyrobiska „Piaseczno” – Etap IIb*. Zespół autorski FNiTG pod kierownictwem prof. dr hab. inż. M. Cały oraz dr inż. J. Flisiaka. Kraków, 2014.



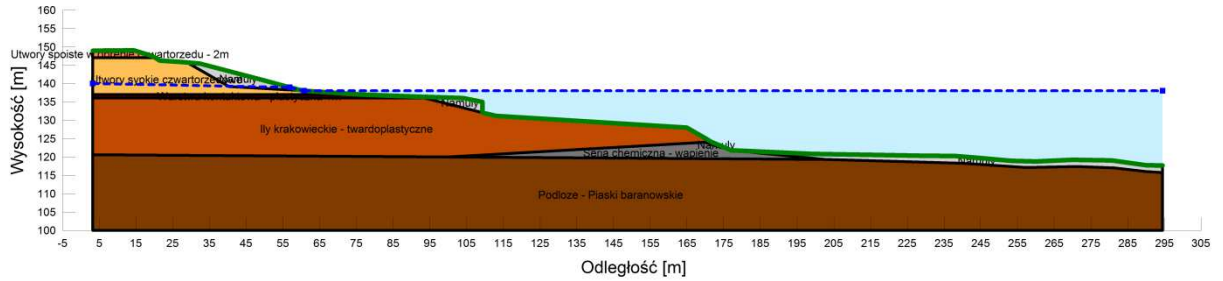


Rys. 13. Lokalizacja przekrojów obliczeniowych

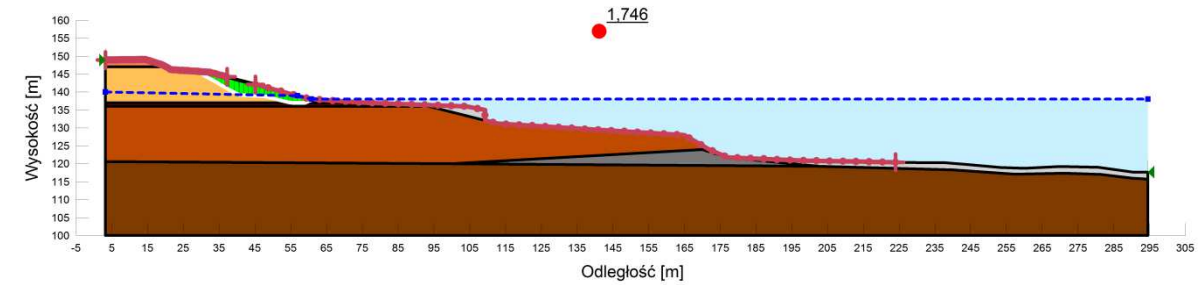
## Analiza stateczności zbocza północnego

Dla oceny warunków stateczności zbocza północnego przeprowadzono obliczenia w przekroju DK-1.

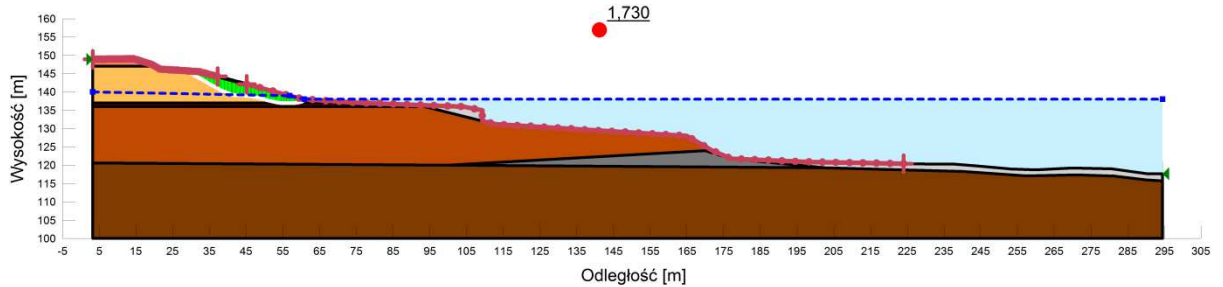
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



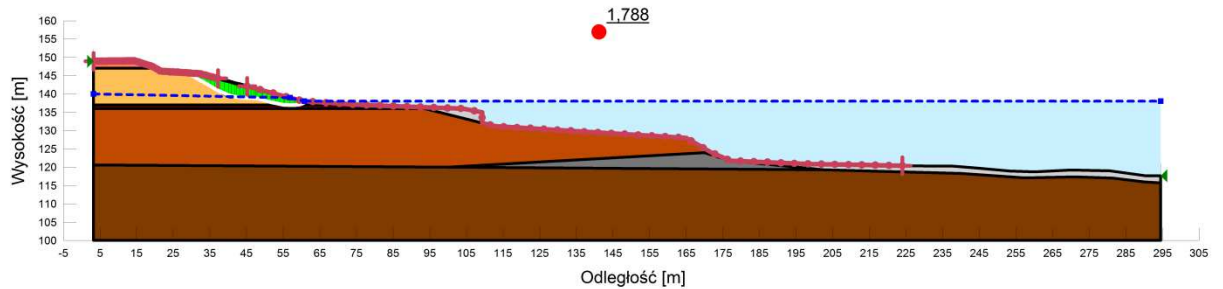
Rys. 14. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-1– stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa – płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

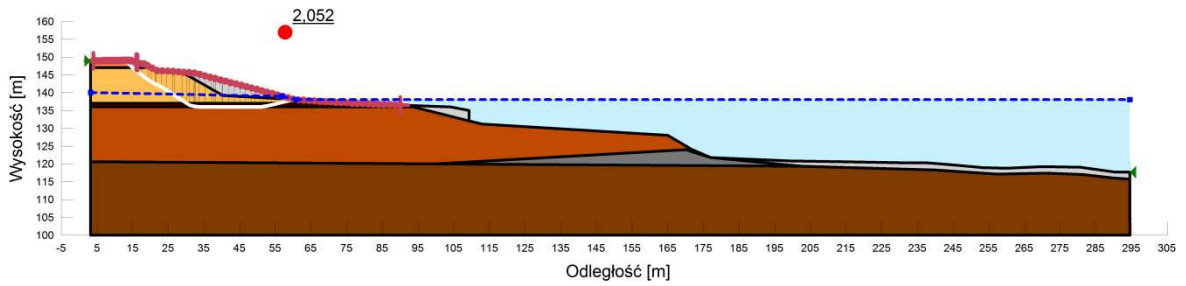


Metoda Janbu – płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

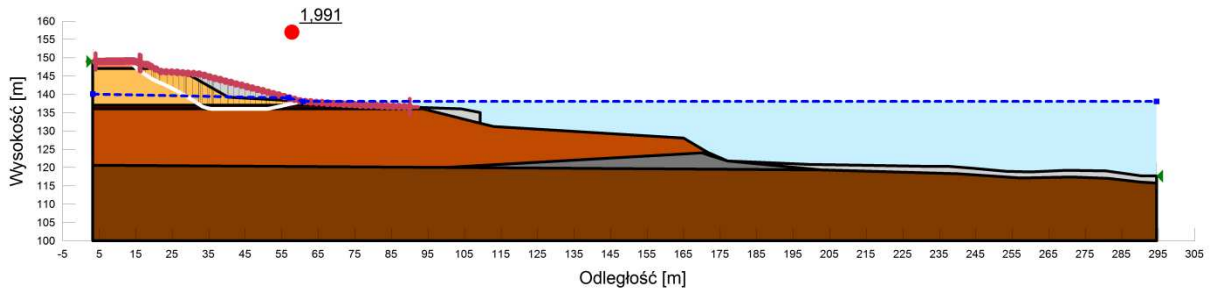


Metoda Morgensterna – Price'a – płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

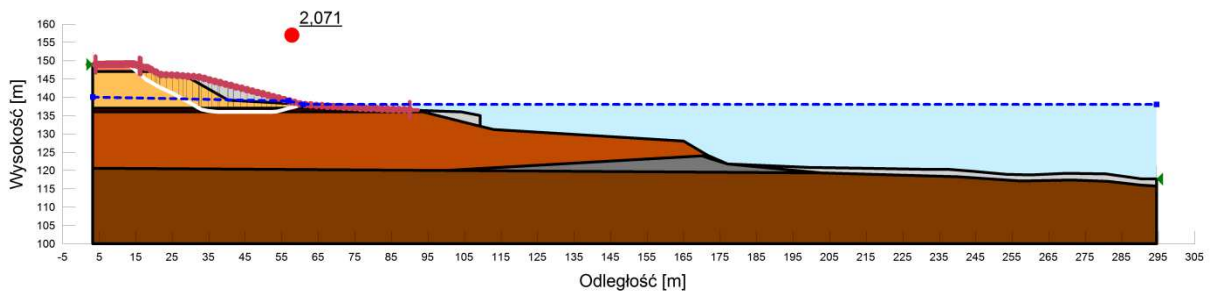
Rys. 15. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



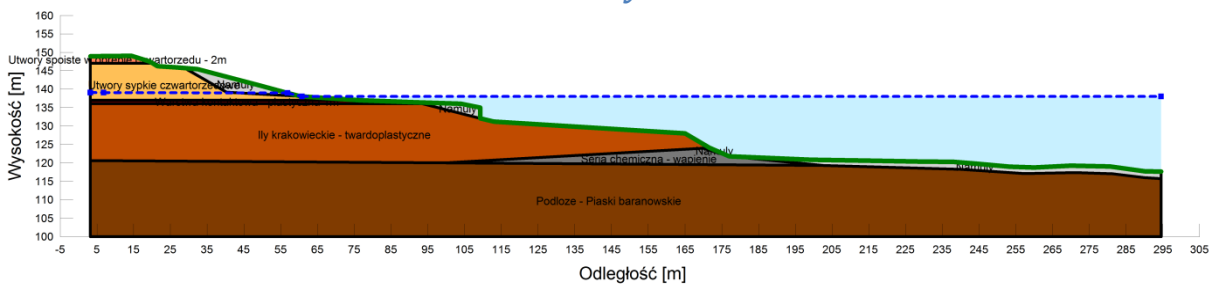
Metoda Janbu



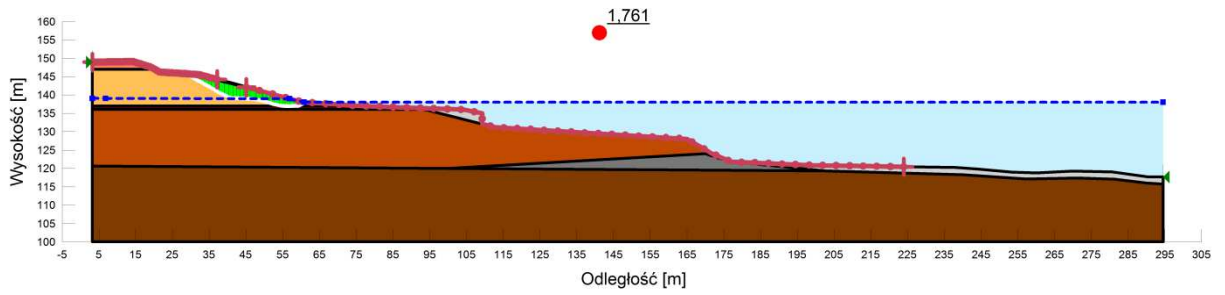
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 16. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

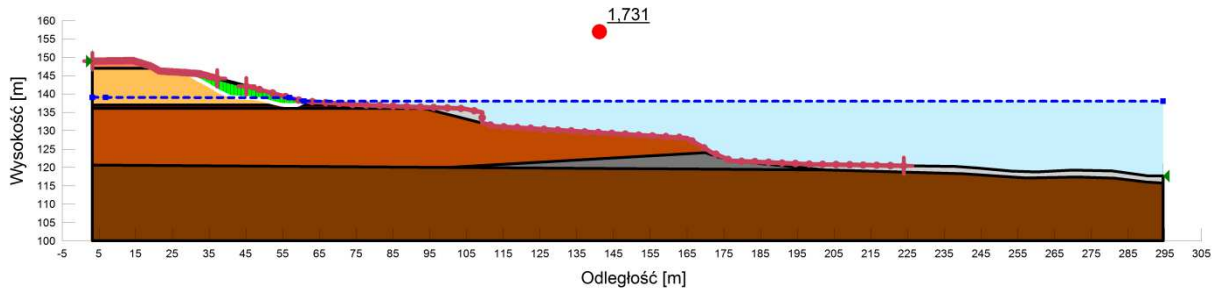
### Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym



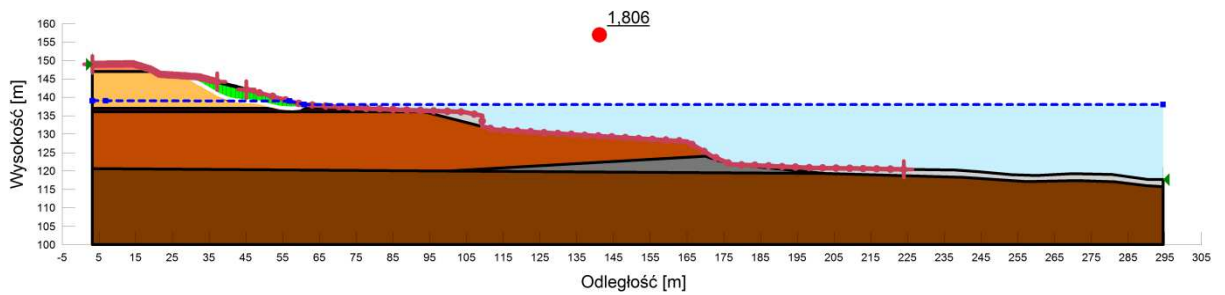
Rys. 17. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-1 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa - płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

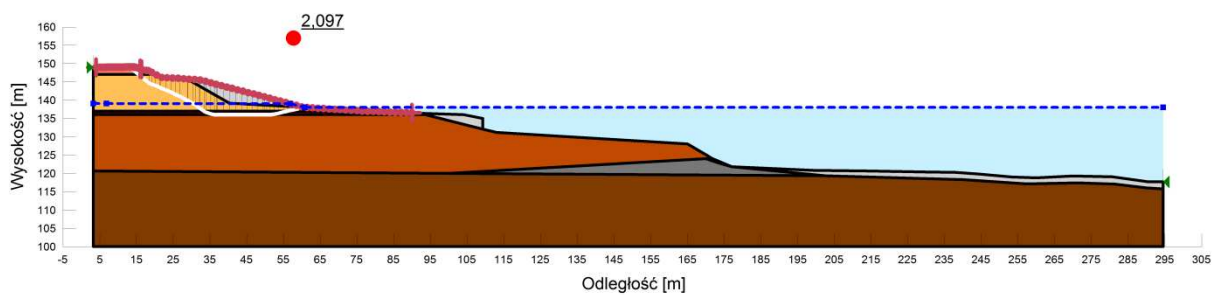


Metoda Janbu - płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

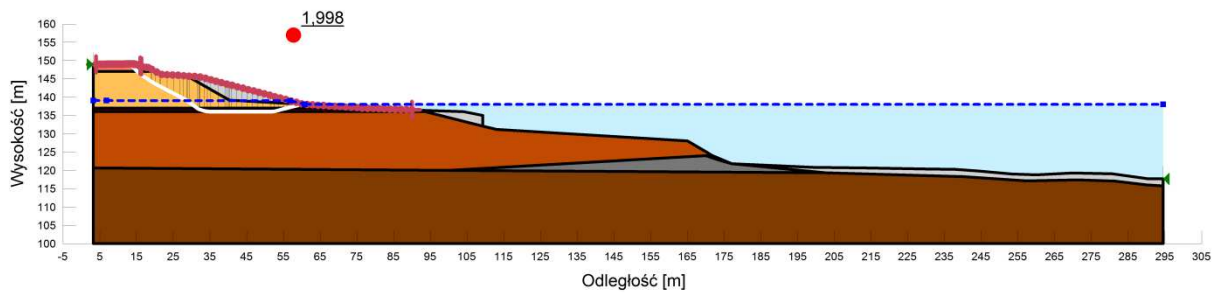


Metoda Morgensterna – Price'a - płytka potencjalna powierzchnia poślizgu

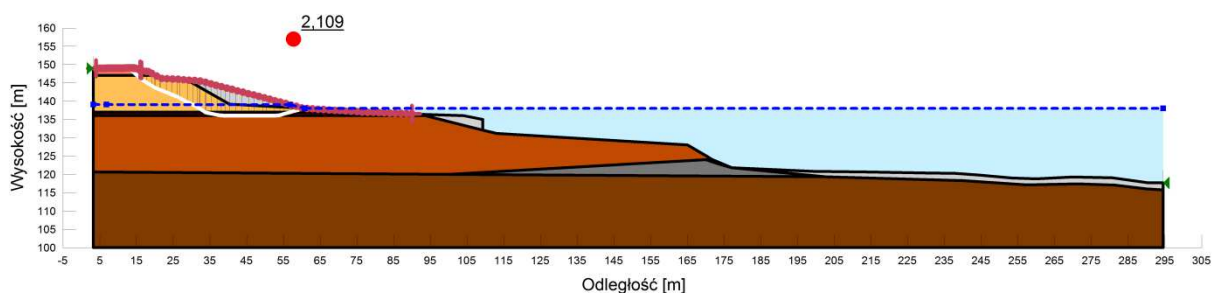
Rys. 18. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



## Metoda Janbu



## Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 19. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 14. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-1

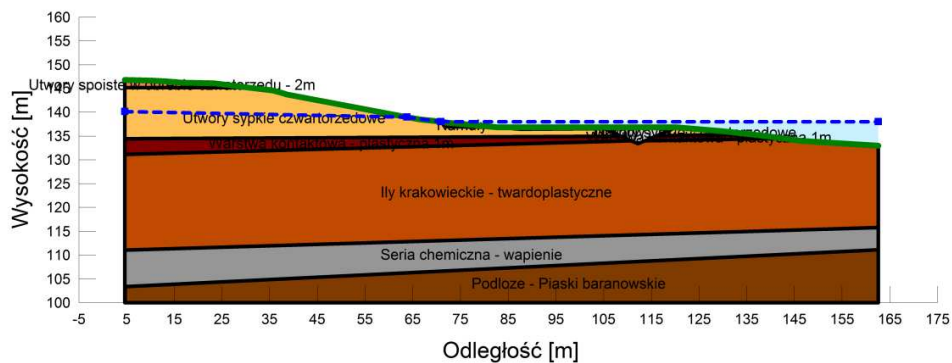
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price'a
Stan aktualny – bez drenażu (płytką powierzchnia)	1.746	1.730	1.788
Stan aktualny – bez drenażu	2.052	1.991	2.071
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym (płytką powierzchnia)	1.761	1.731	1.806
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	2.097	1.998	2.109

## Analiza stateczności zbocza wschodniego

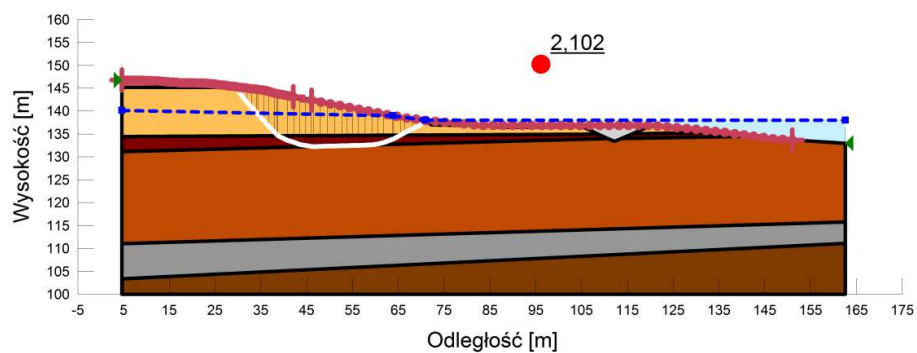
Dla oceny warunków stateczności zbocza wschodniego przeprowadzono obliczenia w przekrojach DK-4 i DK-5.

## Wyniki obliczeń dla przekroju DK-4

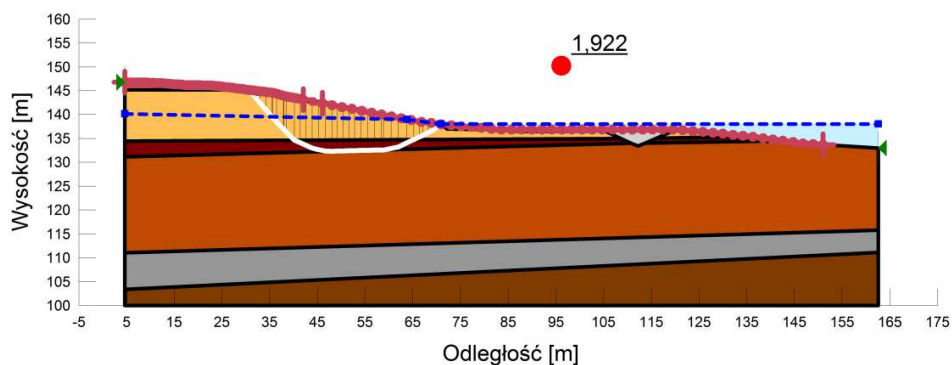
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



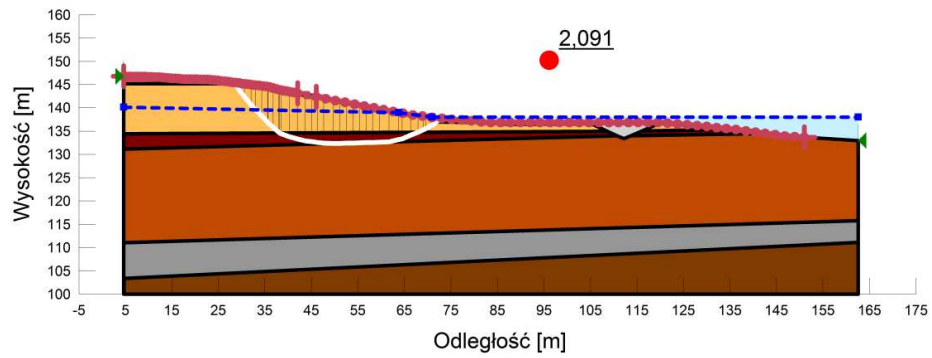
Rys. 20. Geometria zbrocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-4 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



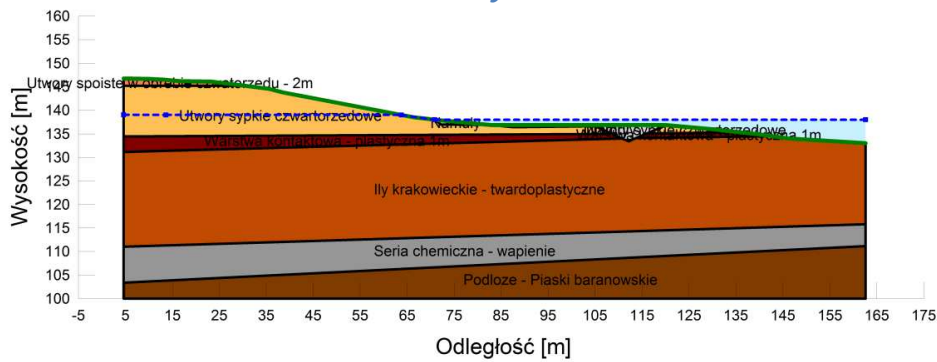
Metoda Janbu



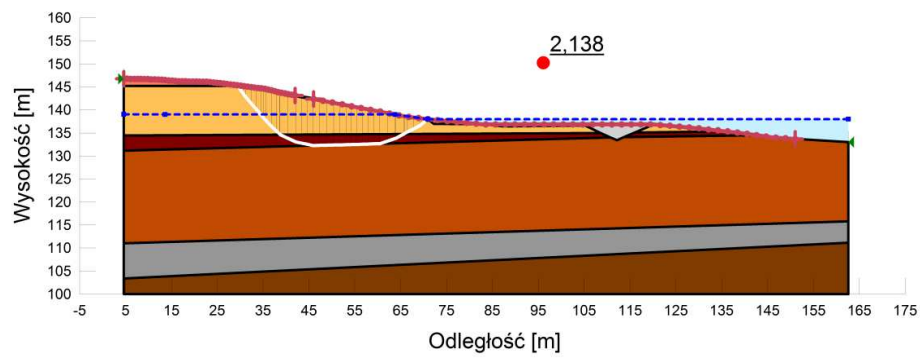
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 21. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

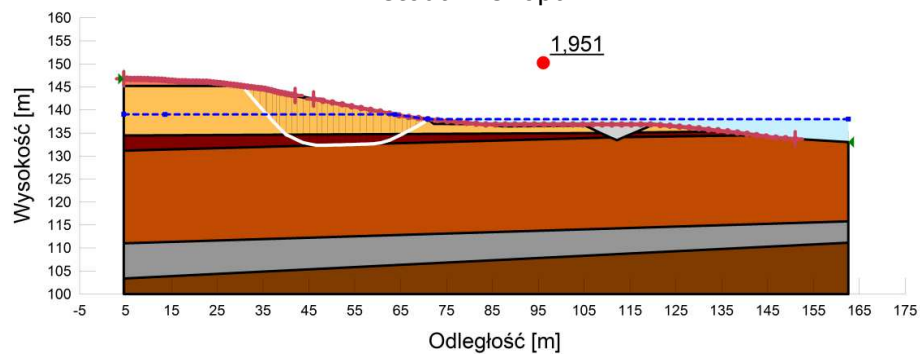
*Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym*



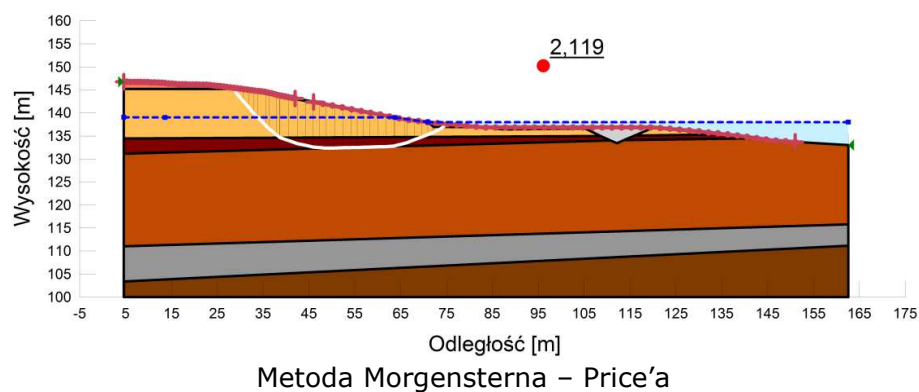
Rys. 22. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-4 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price’a

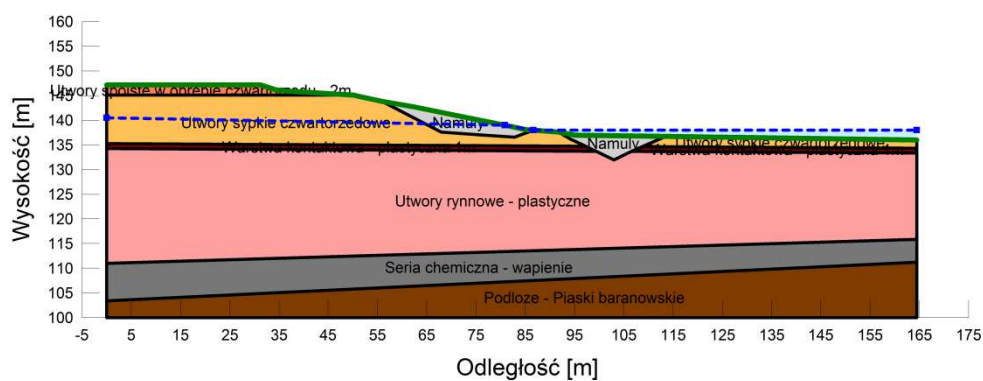
Rys. 23. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 15. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-4

Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	2.102	1.922	2.091
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	2.138	1.951	2.119

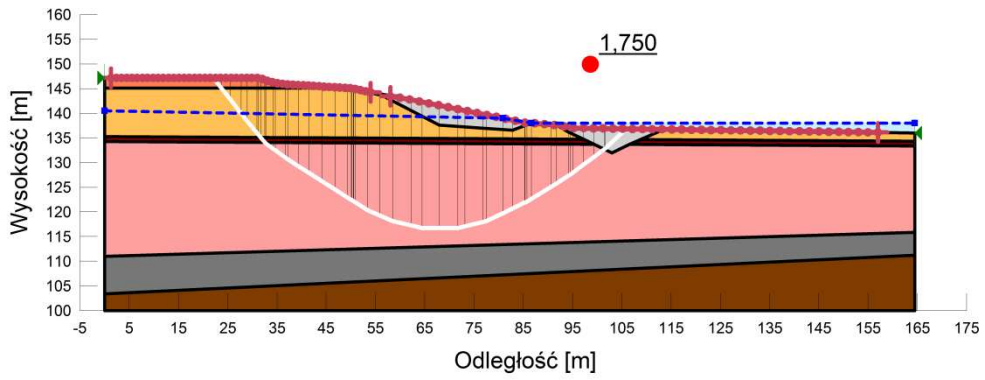
## Wyniki obliczeń w przekroju DK-5

### Obliczenia dla stanu bez drenażu

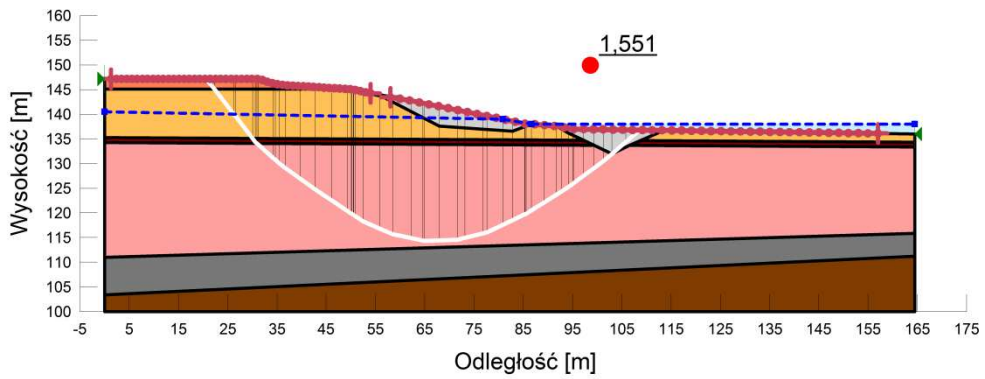


Rys. 24. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-5– stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

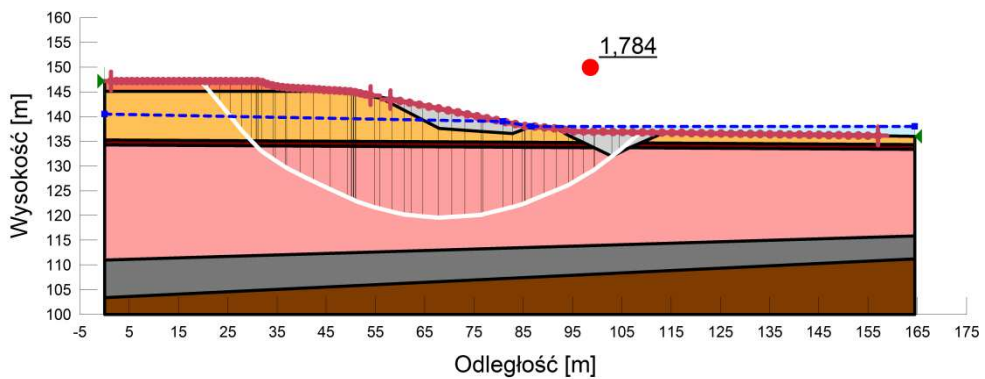




Metoda Bishopa

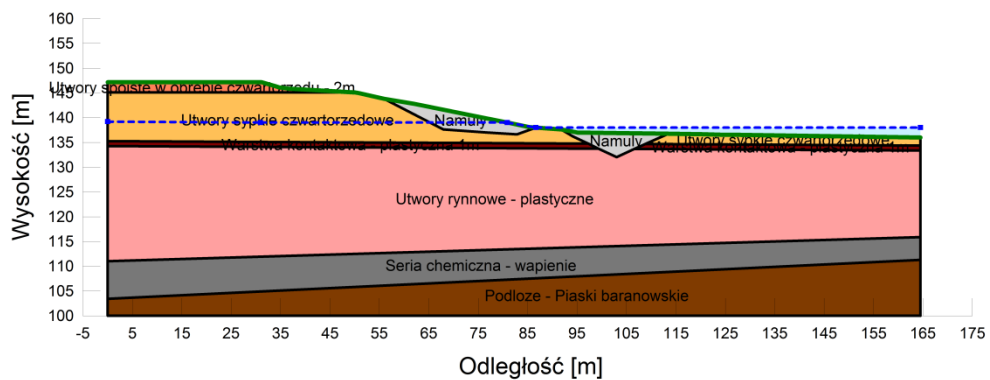


Metoda Janbu

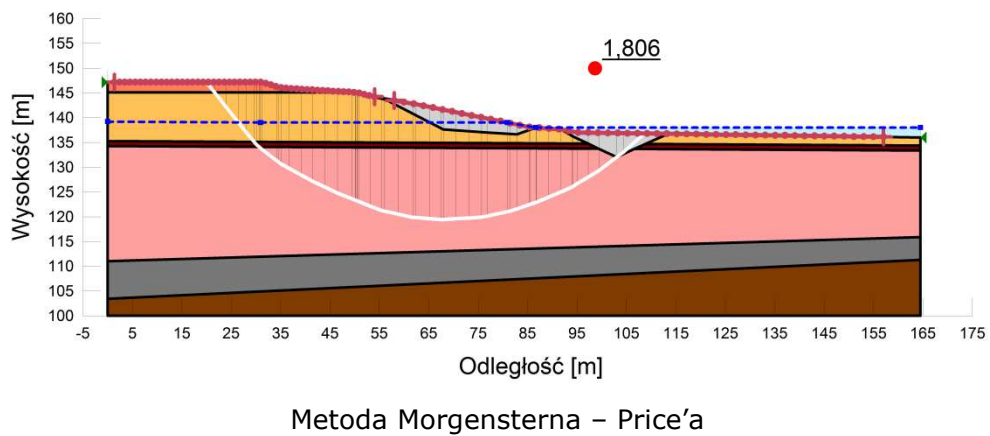
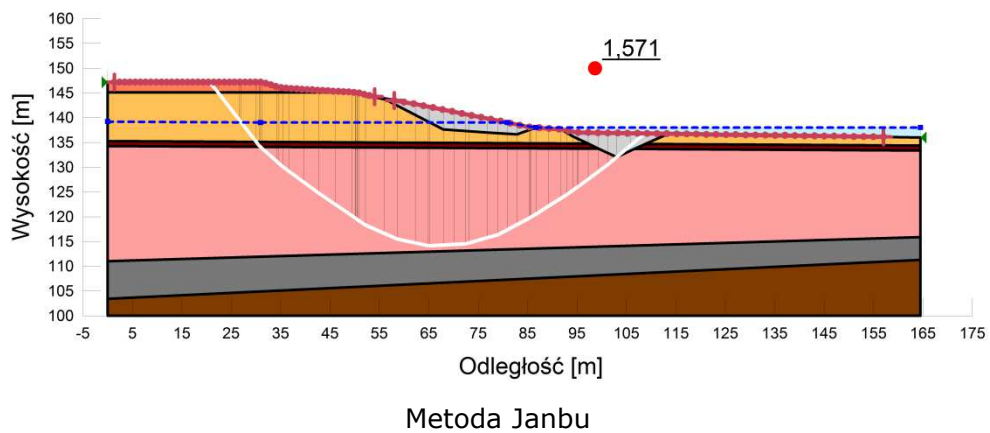
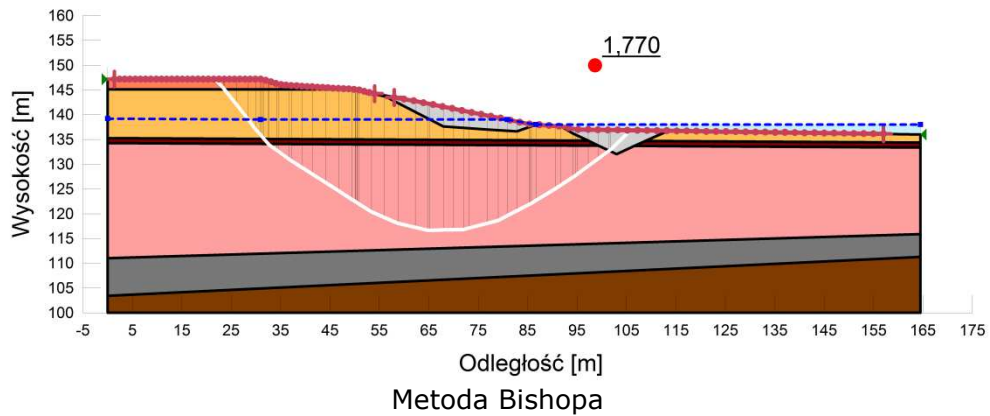


Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 25. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-5 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Rys. 26. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-5 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Rys. 27. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-5 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

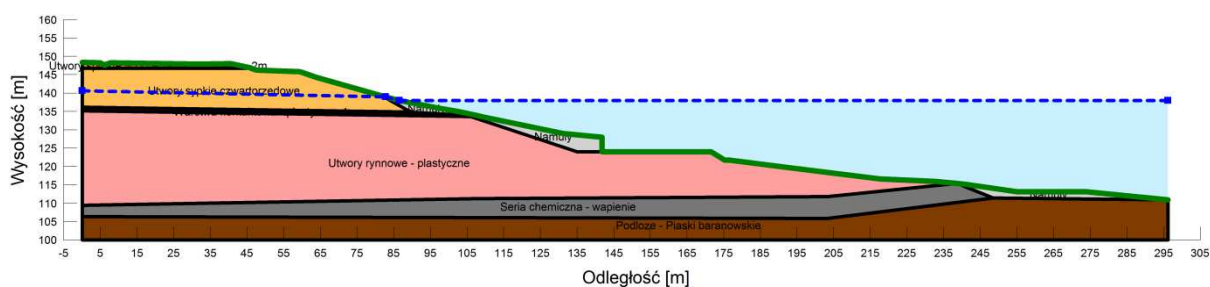
Tabela 16. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-5

Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.750	1.551	1.784
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	1.770	1.571	1.806

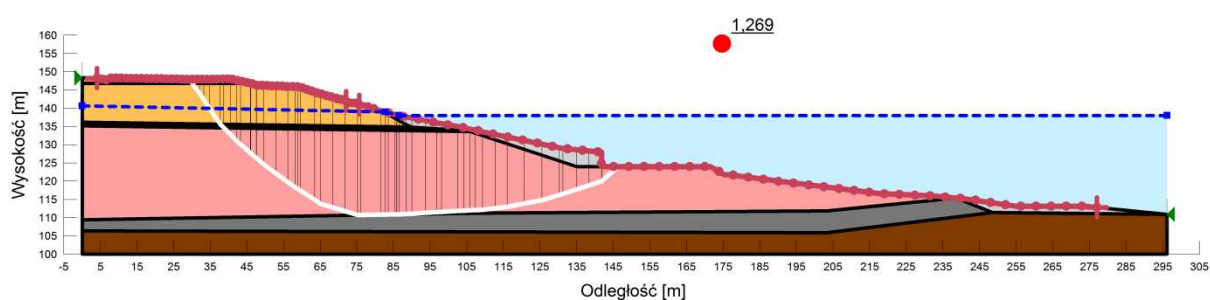
## Analiza stateczności zbocza południowego

Dla oceny warunków stateczności zbocza południowego przeprowadzono obliczenia w przekroju DK-8.

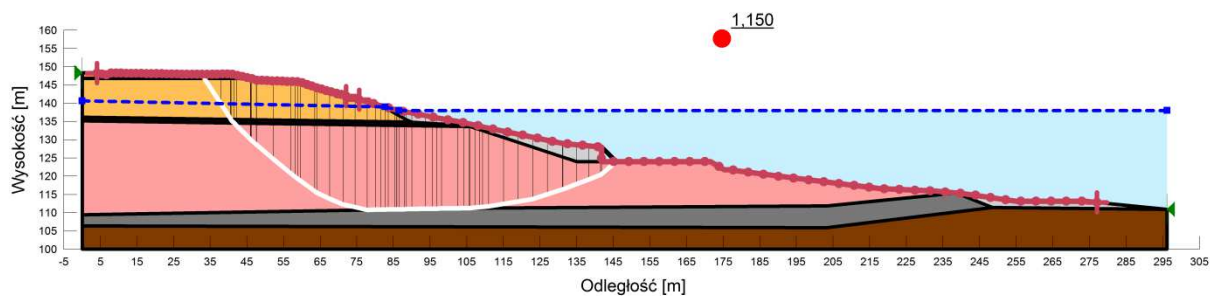
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



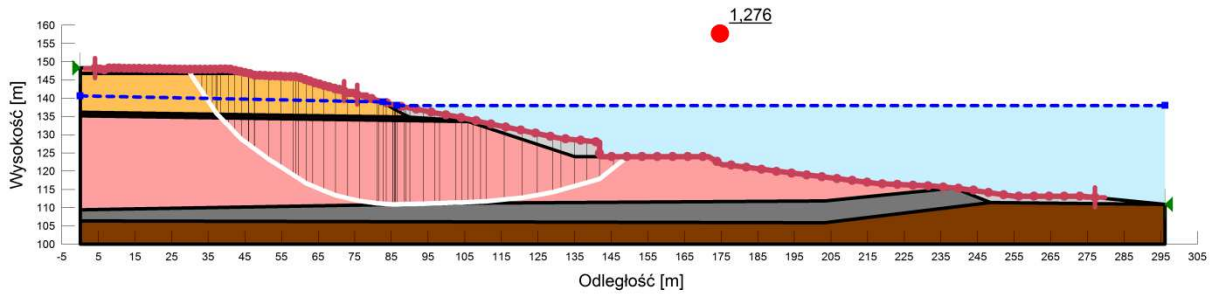
Rys. 28. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-8 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



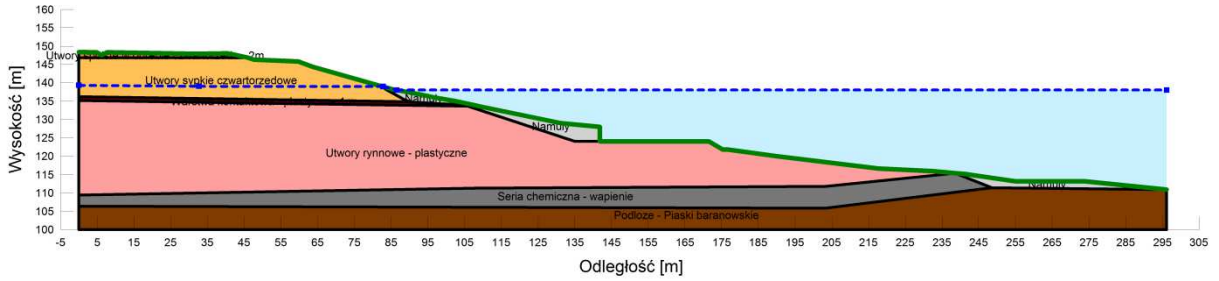
### Metoda Janbu



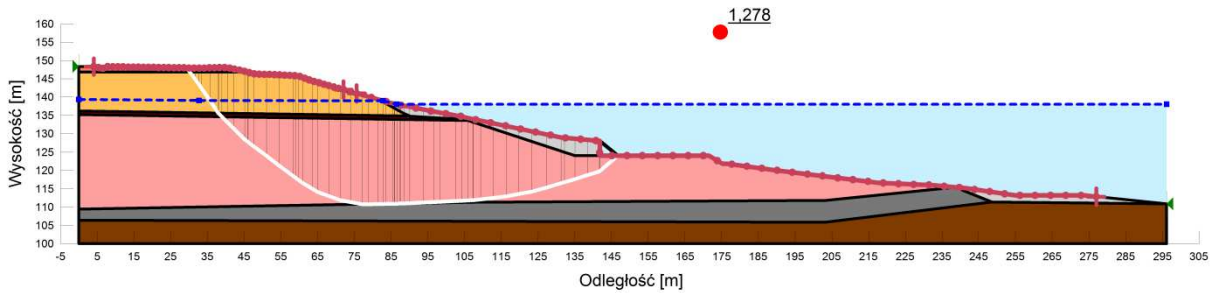
### Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 29. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-8 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

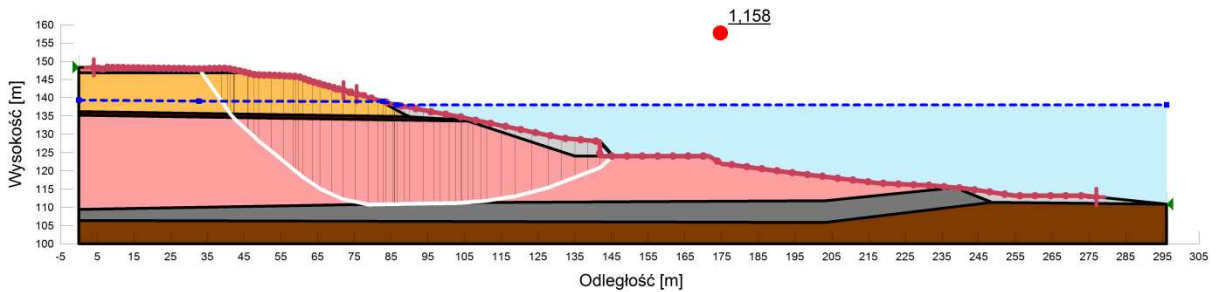
### Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym



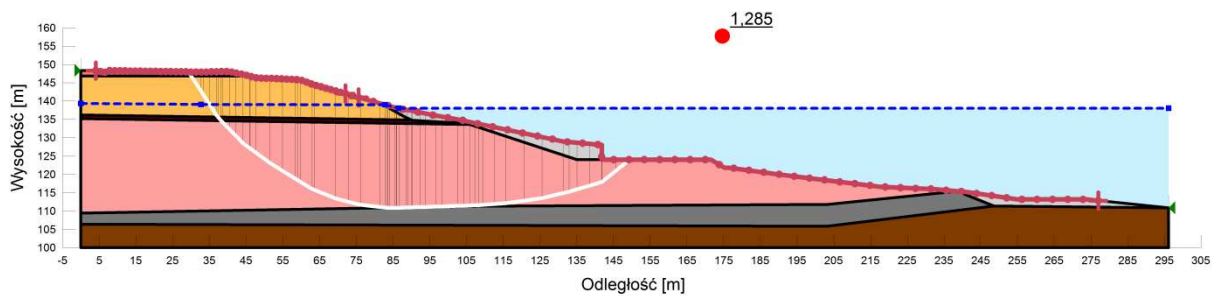
Rys. 30. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-8 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



### Metoda Bishopa



### Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price’a

Rys. 31. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-8 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 17. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-8

Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.269	1.150	1.276
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	1.278	1.158	1.285

## Analiza warunków stateczności rejonu południowo- zachodniego

### Wprowadzenie

Dla oceny warunków stateczności zboczy w rejonie południowo-zachodnim wyrobiska przeprowadzono obliczenia w przekrojach DK-10 i DK-11 oraz DS-1, DS-2, DS-3 i DS-4.

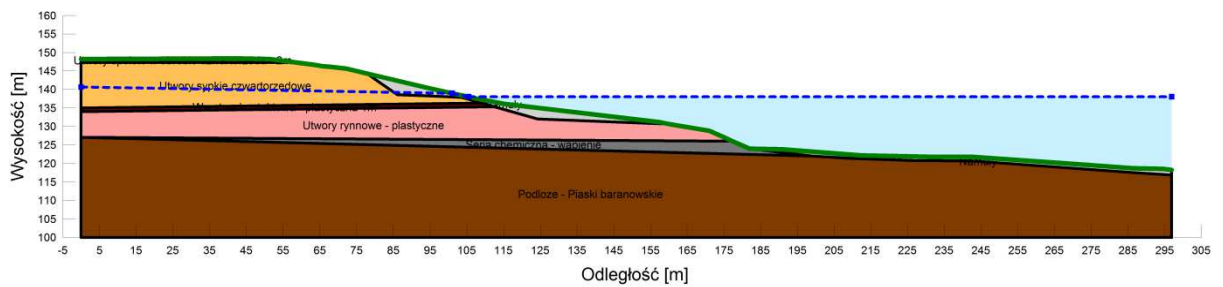
Dla uwzględnienia destrukcyjnego wpływu wody na utwory spoiste, w przekrojach zlokalizowanych w południowym narożniku zbiornika, przyjęto następujące parametry wytrzymałościowe plastycznej warstwy kontaktowej (na podstawie [1]):

- ciężar objętościowy:  $\gamma = 18.5 \text{ [kN/m}^3\text{]}$ ,
- spójność:  $c = 7.5 \text{ [kPa]}$ ,
- kąt tarcia wewnętrznego:  $\varphi = 3.0^\circ$ .

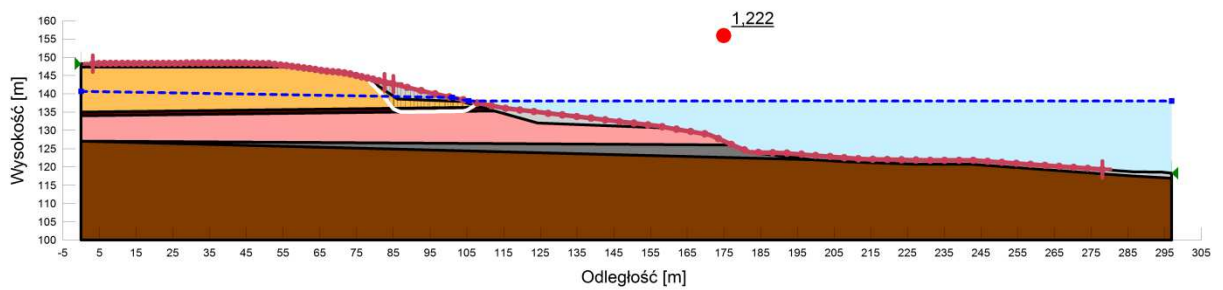
W omawianym rejonie obserwowane były wypływy wody ze skarpy, a także zarejestrowano występowanie szczelin. Objawy te świadczą o obniżeniu parametrów wytrzymałościowych gruntów, co zostało uwzględnione w obliczeniach.

## Wyniki obliczeń w przekroju DK-10

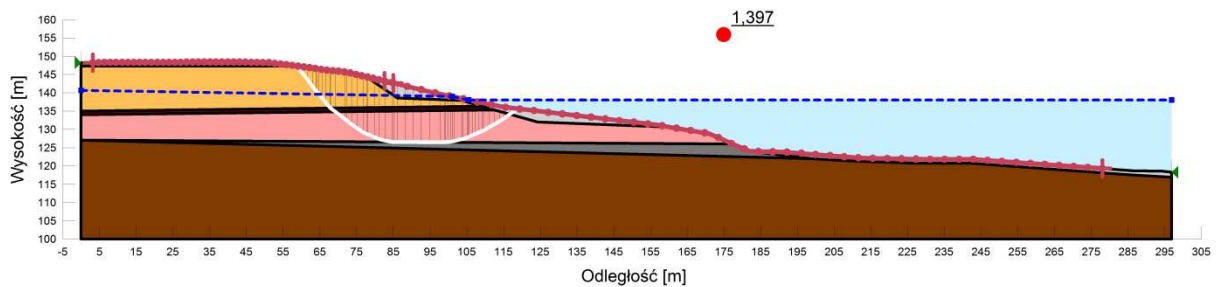
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



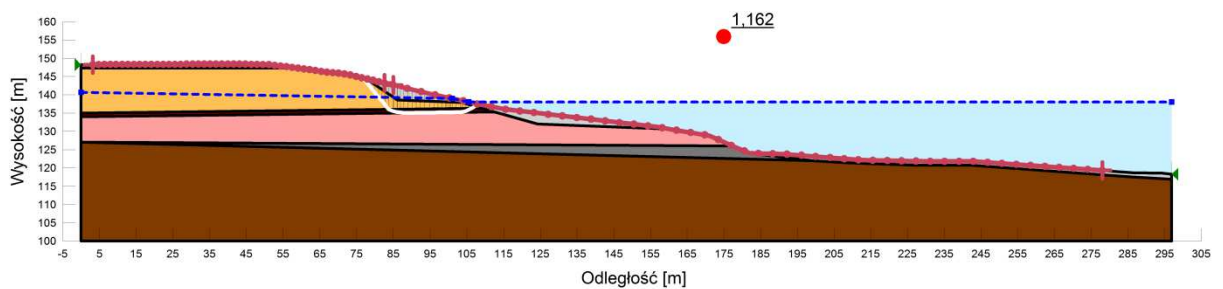
Rys. 32. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-10 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



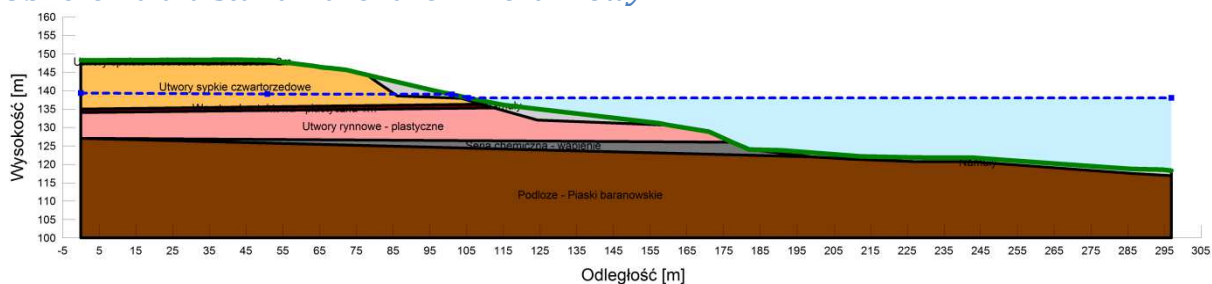
Metoda Janbu



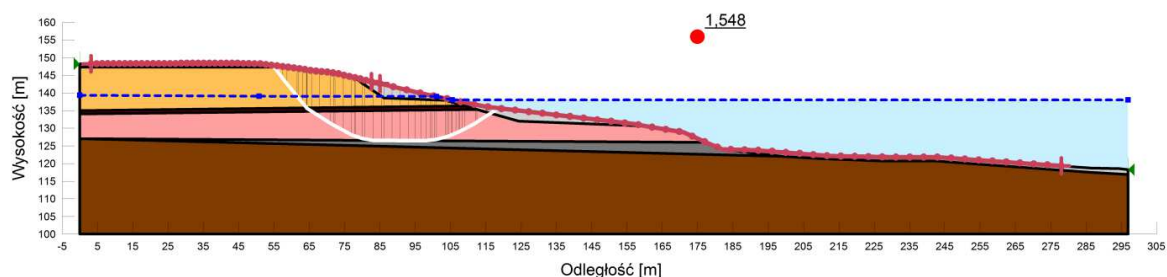
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 33. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-10 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

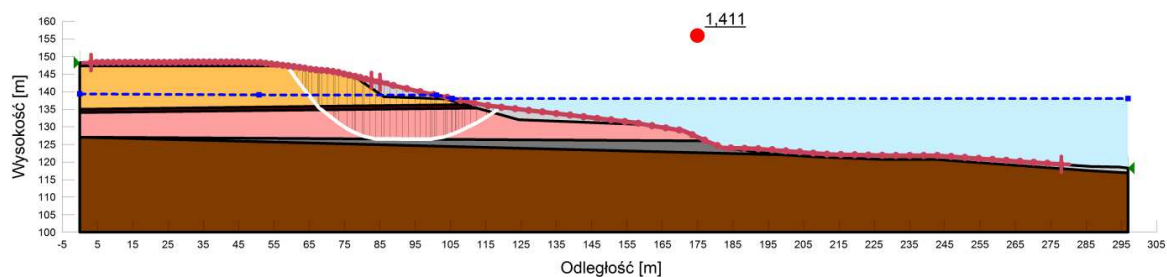
## Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym



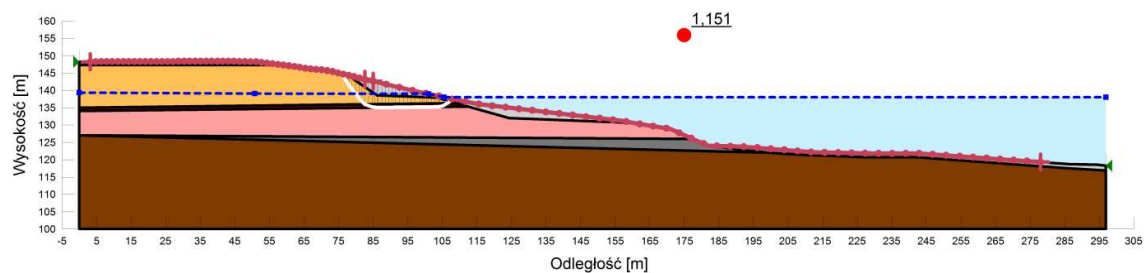
Rys. 34. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-10 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price'a

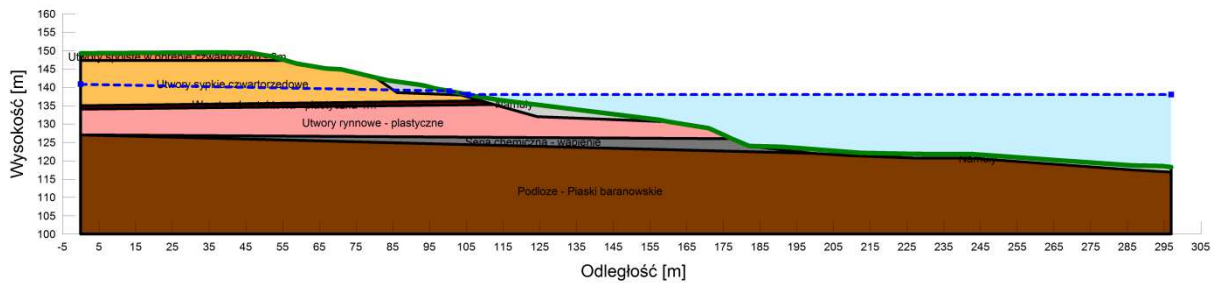
Rys. 35. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-10 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 18. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-10

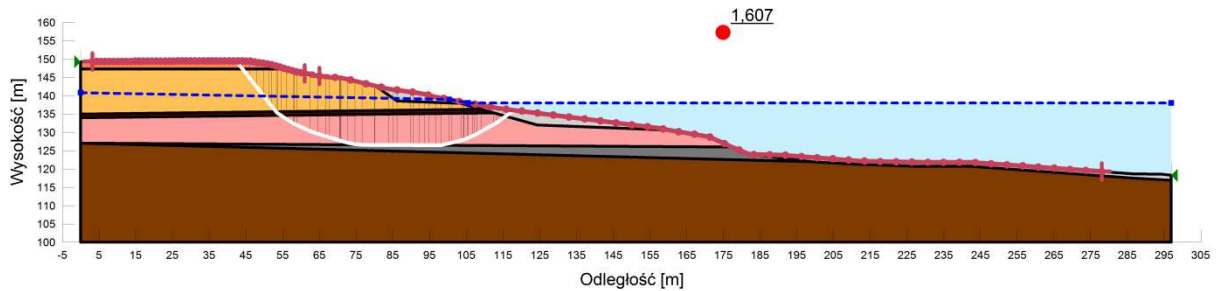
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price'a
Stan aktualny – bez drenażu	1.222	1.397	1.162
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	1.548	1.411	1.151/1.574

## Wyniki obliczeń w przekroju DK-11

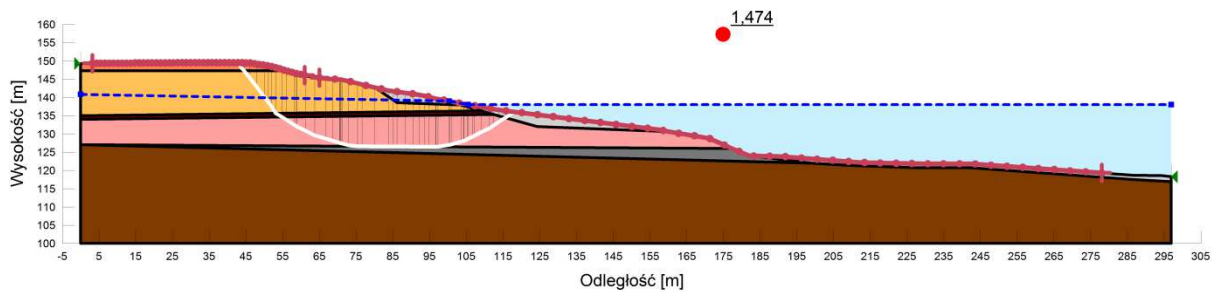
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



Rys. 36. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-11 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

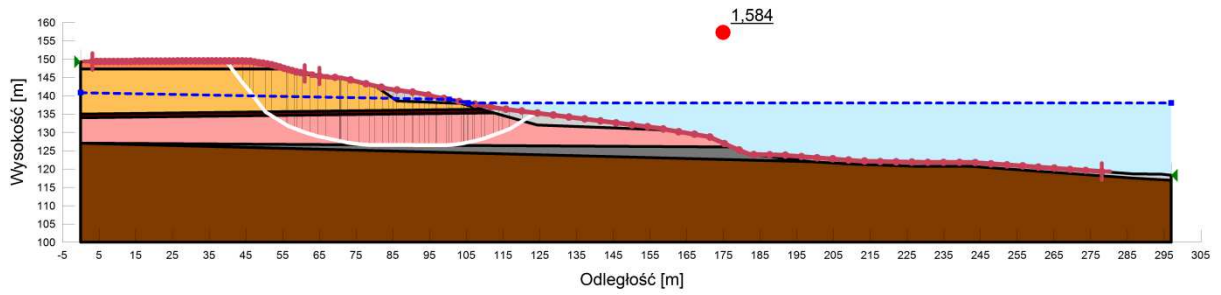


Metoda Bishopa



Metoda Janbu

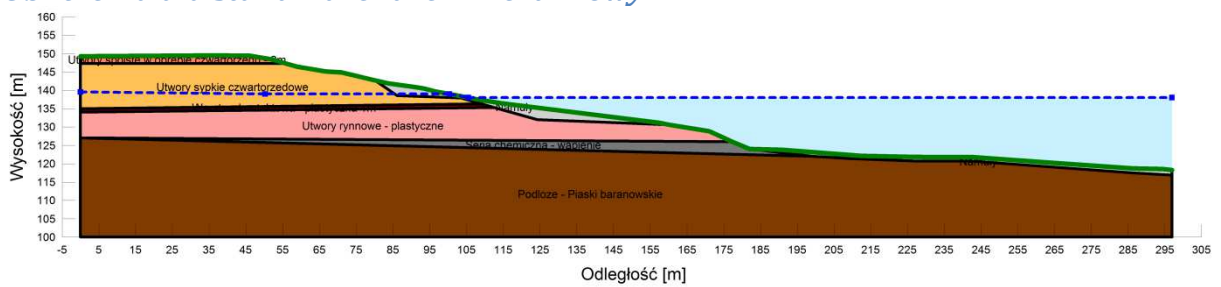




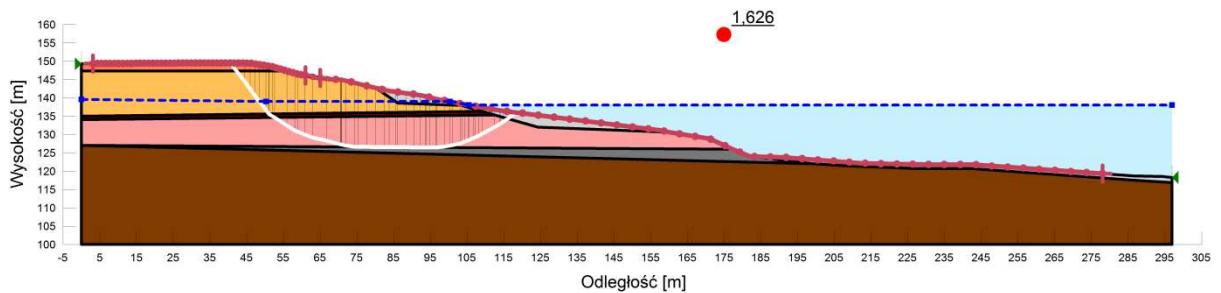
Metoda Morgensterna – Price’a

Rys. 37. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-11 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

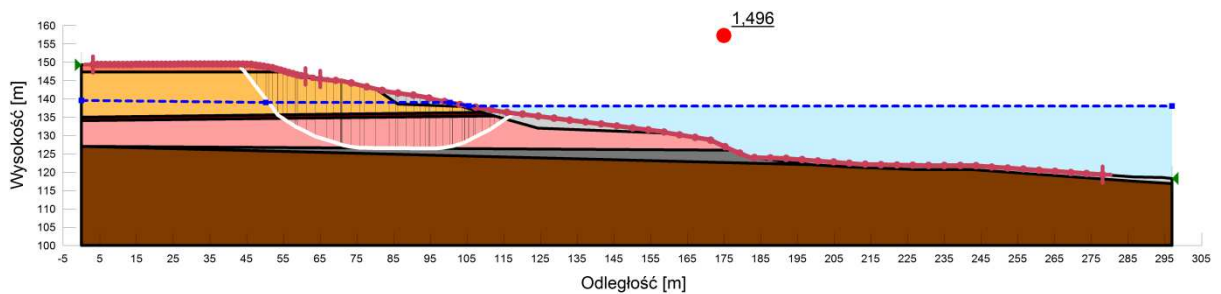
*Obliczenia dla stanu z drenażem kierunkowym*



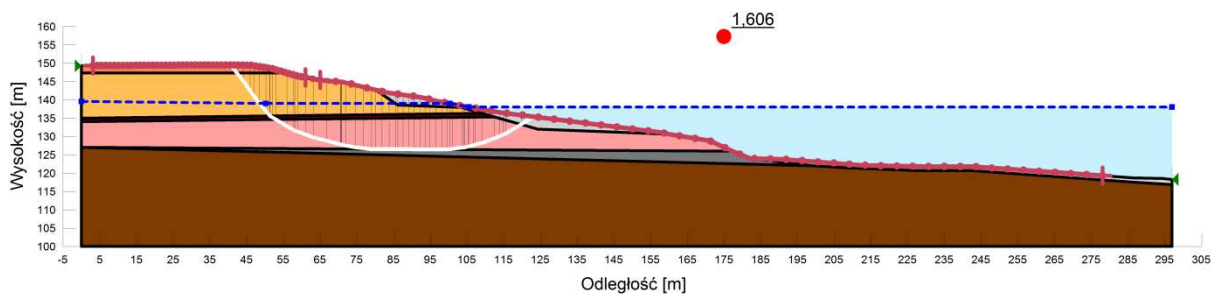
Rys. 38. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DK-11– stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



### Metoda Morgensterna – Price’a

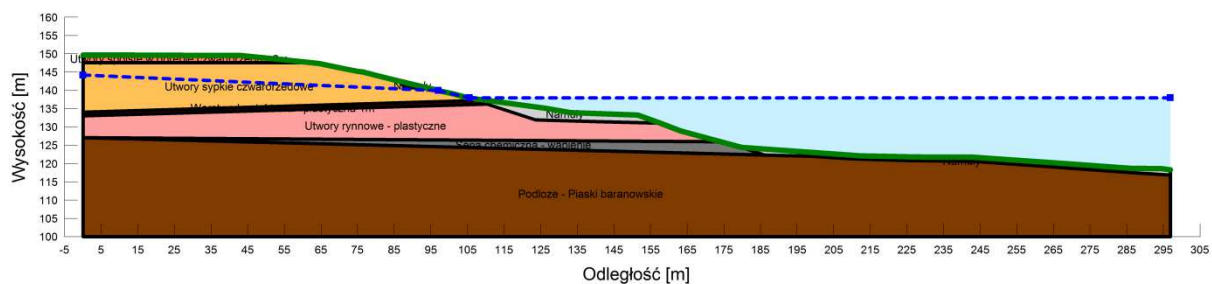
Rys. 39. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DK-11 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 19. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DK-11

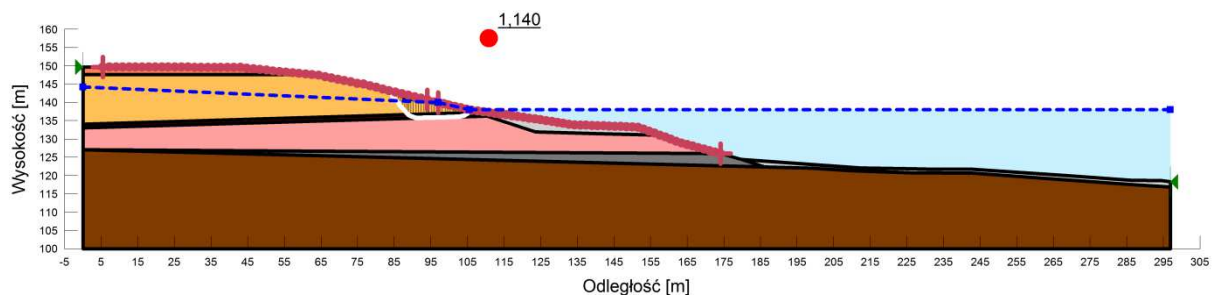
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.607	1.474	1.584
Stan prognozowany – z drenażem kierunkowym	1.626	1.496	1.606

## Wyniki obliczeń w przekroju DS-1

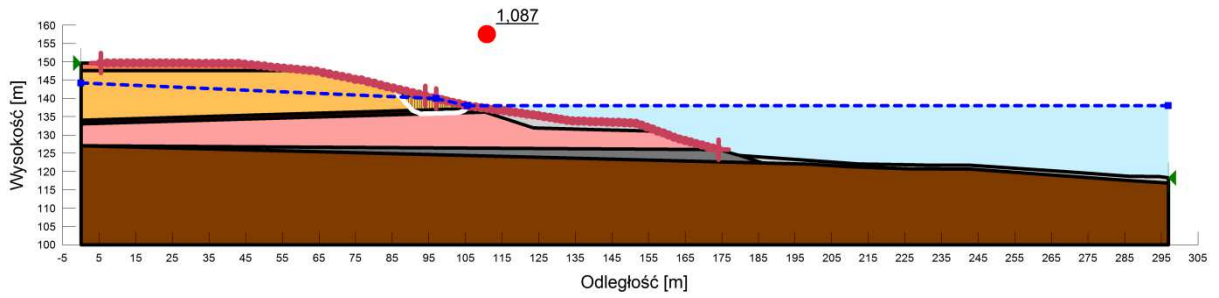
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



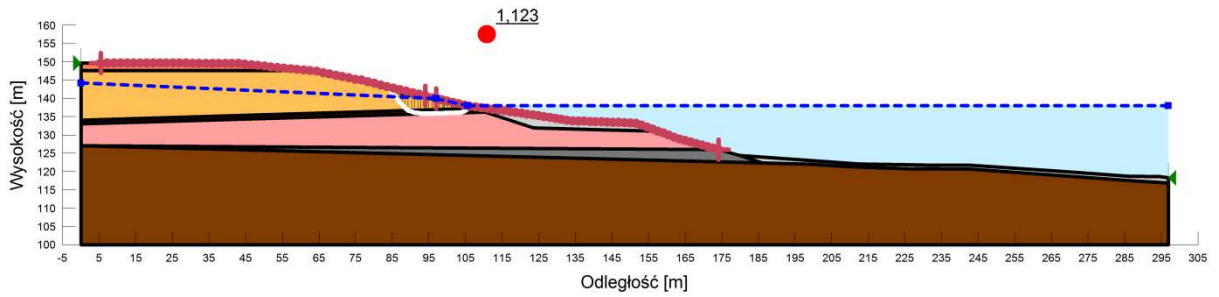
Rys. 40. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-1 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



### Metoda Bishopa



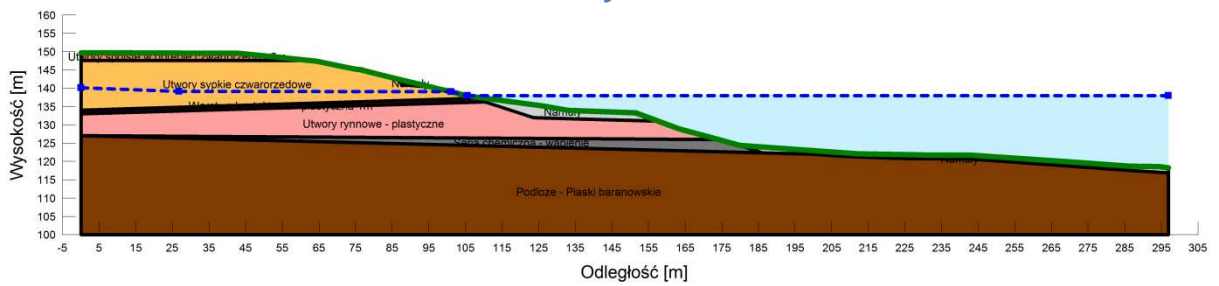
Metoda Janbu



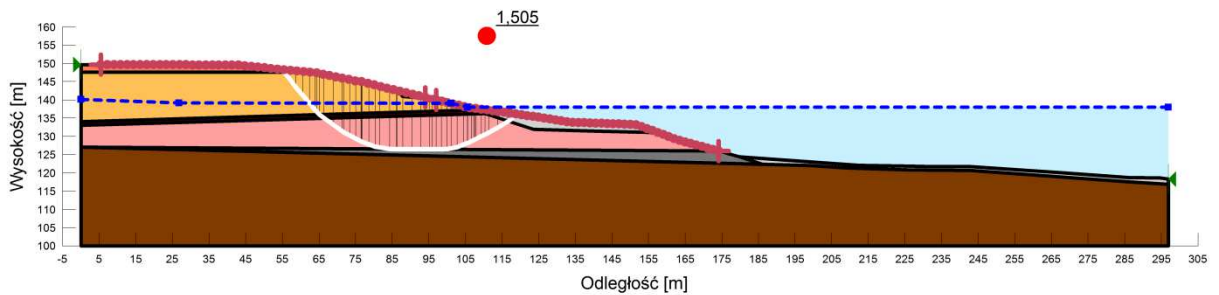
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 41. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

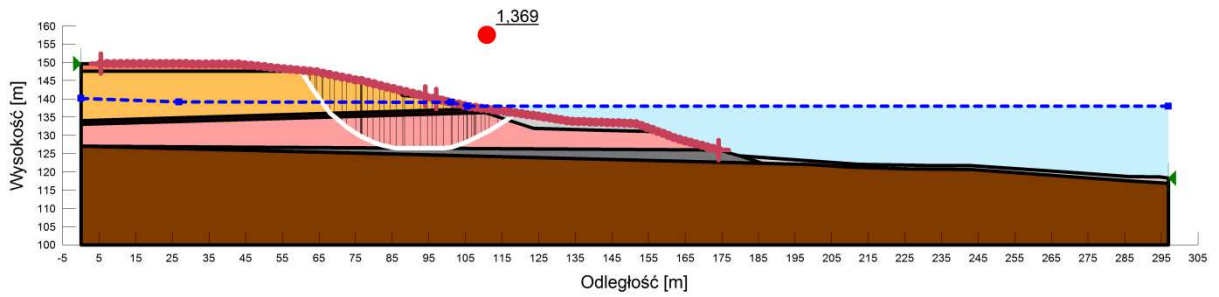
*Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym*



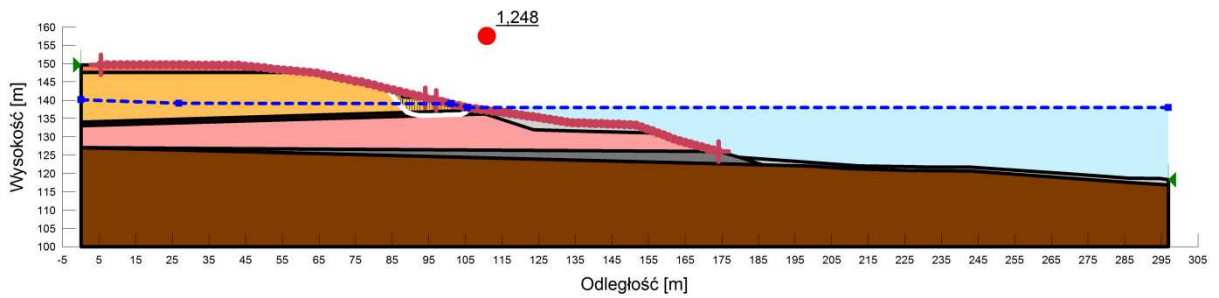
Rys. 42. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-1 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price’a

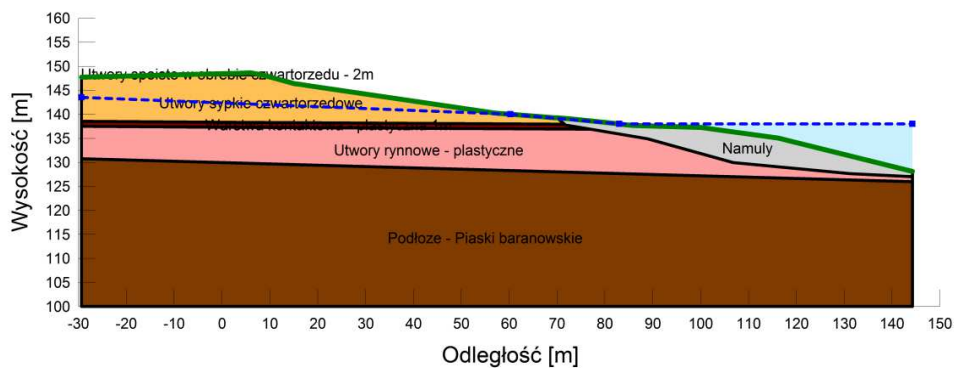
Rys. 43. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-1 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 20. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-1

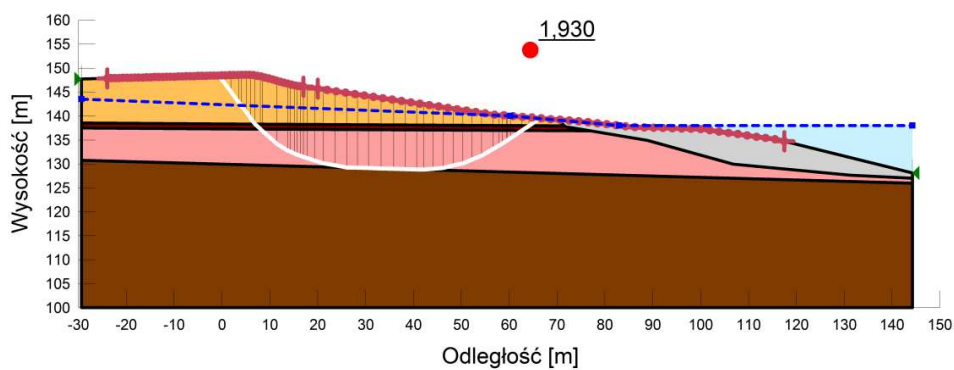
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.140	1.087	1.123
Stan prognozowany – z drenażem sterowanym	1.505	1.369	1.248/1.528

## Wyniki obliczeń w przekroju DS-2

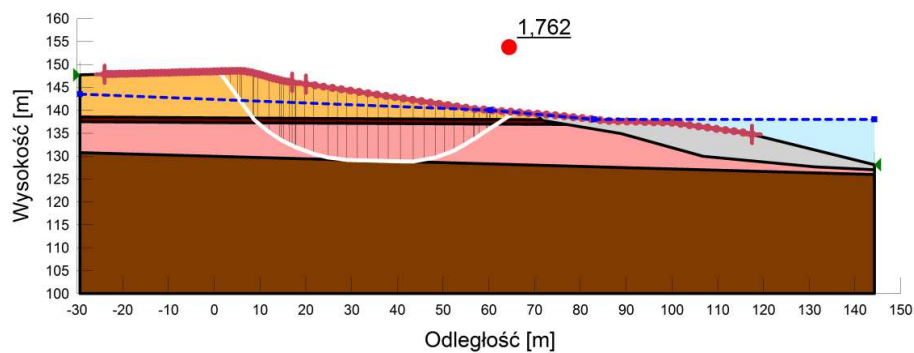
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



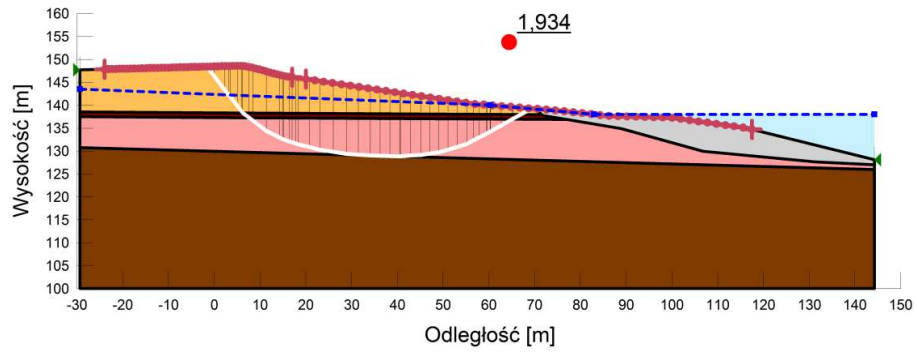
Rys. 44. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-2 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



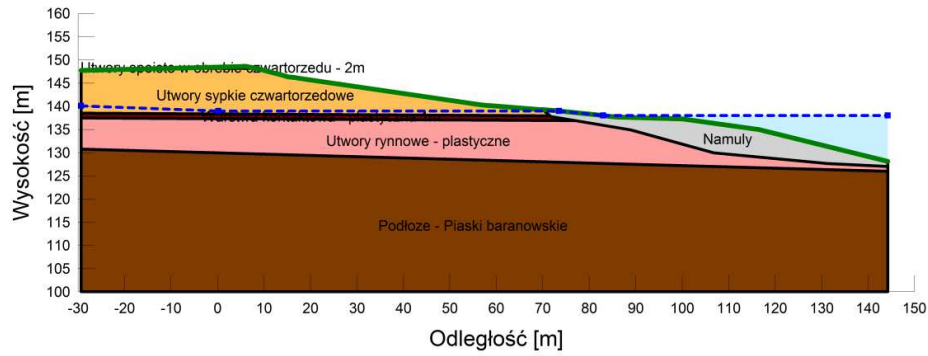
Metoda Janbu



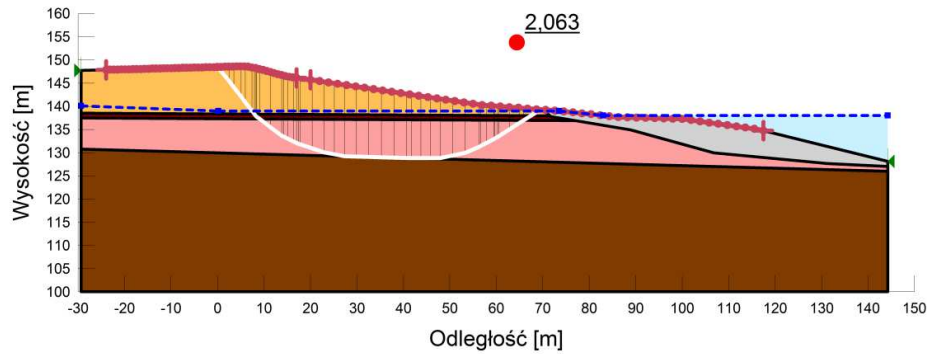
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 45. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-2 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

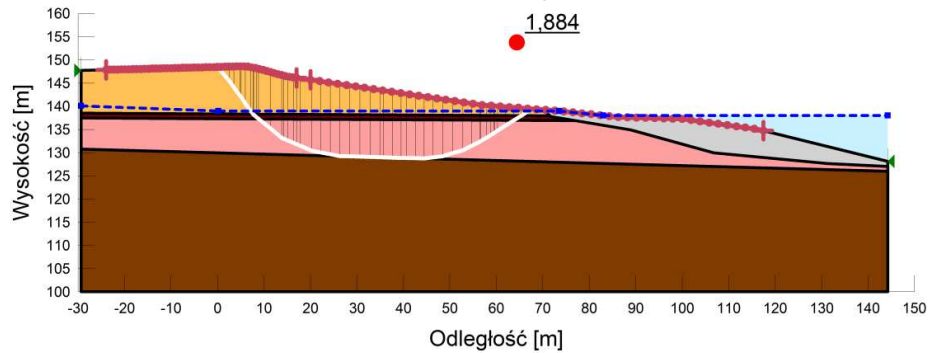
*Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym*



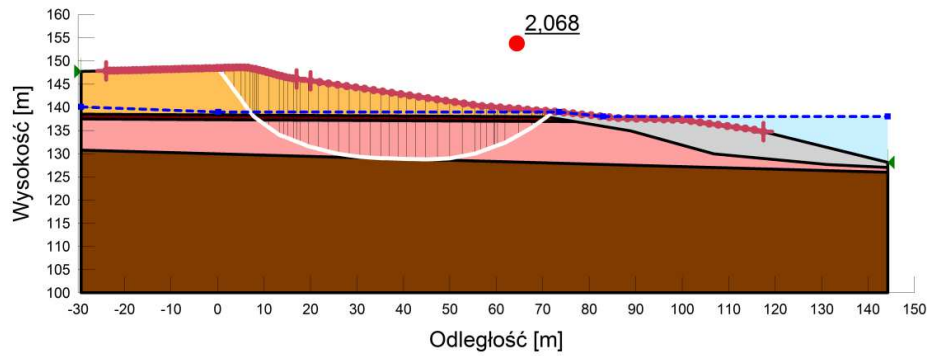
**Rys. 1. 1.** Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-2 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price’a

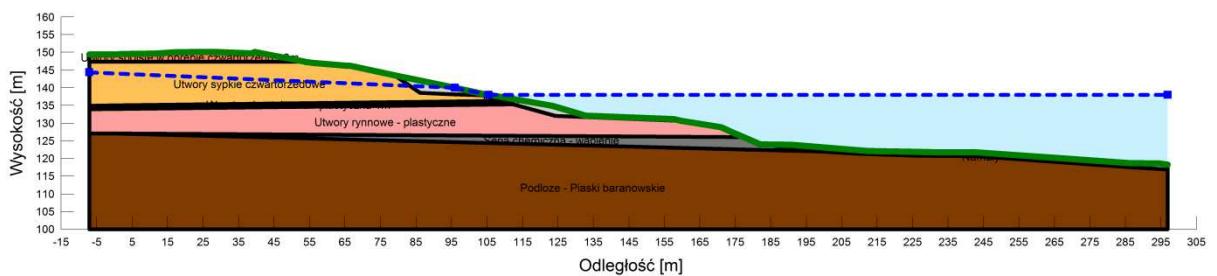
Rys. 46. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-2 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 21. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-2

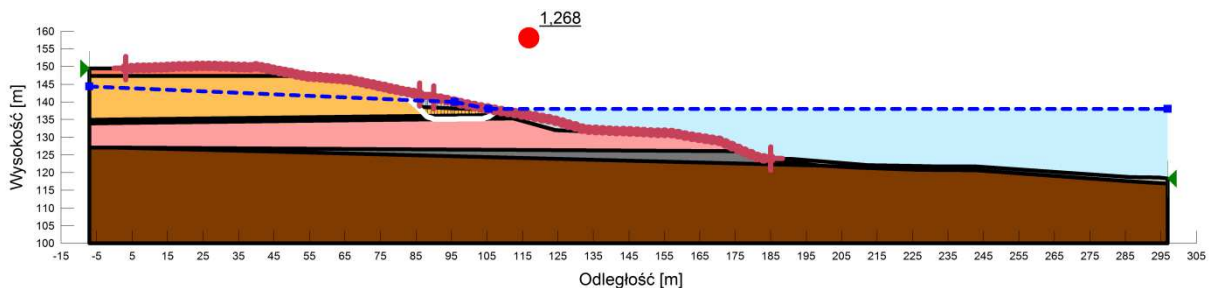
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.930	1.762	1.934
Stan prognozowany – z drenażem sterowanym	2.063	1.884	2.068

## Wyniki obliczeń w przekroju DS-3

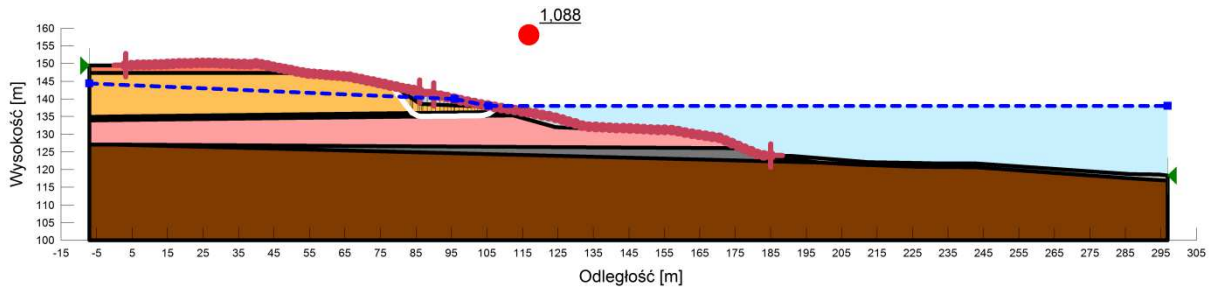
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



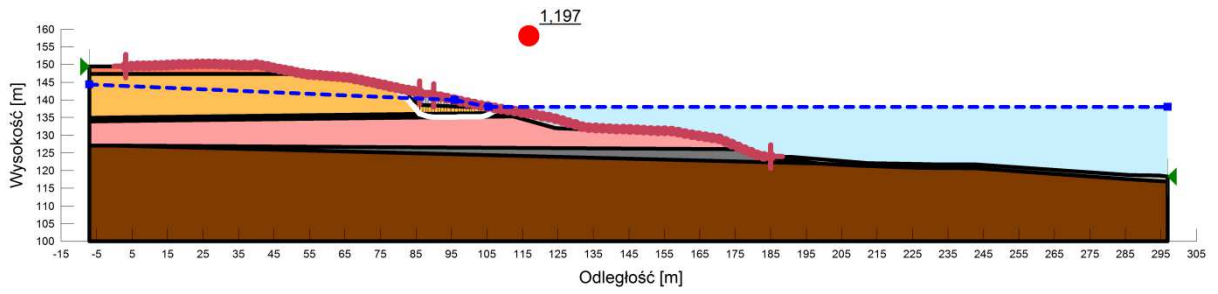
Rys. 47. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-3 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



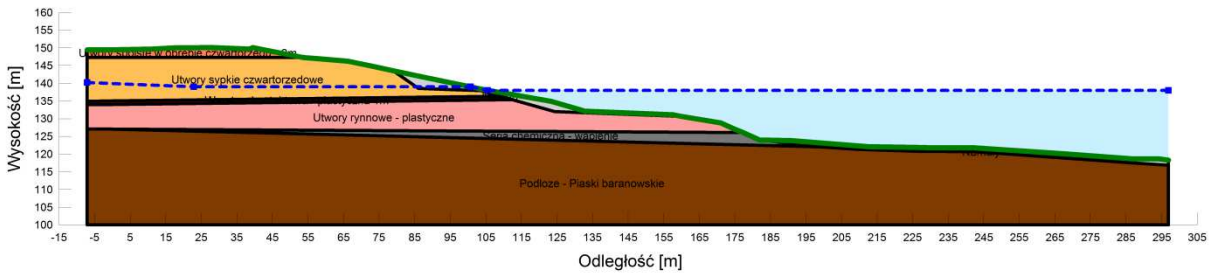
Metoda Janbu



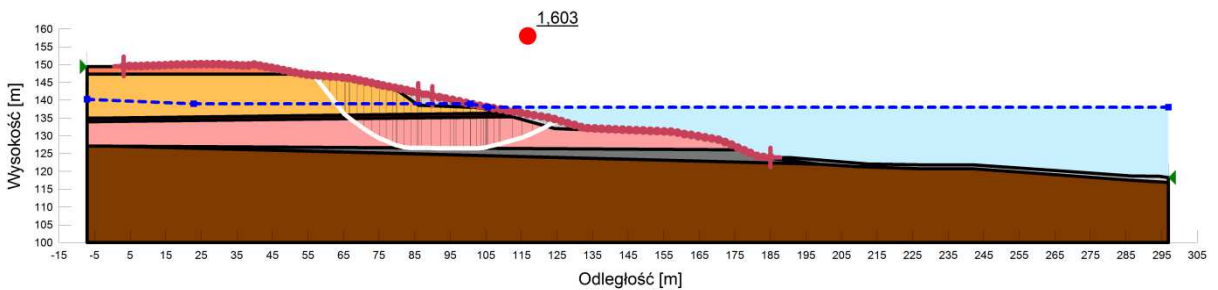
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 48. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-3 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

*Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym*

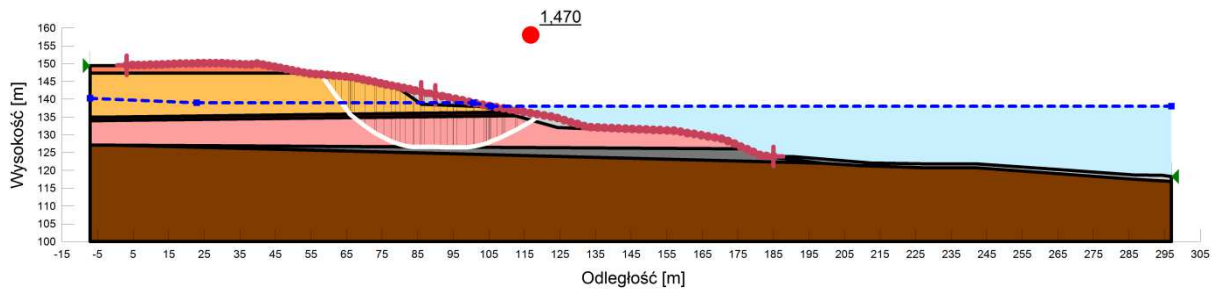


Rys. 49. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-3 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

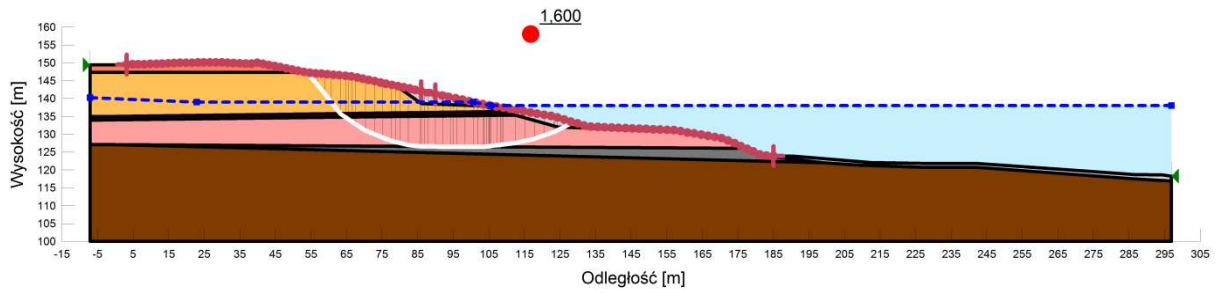


Metoda Bishopa





Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price'a

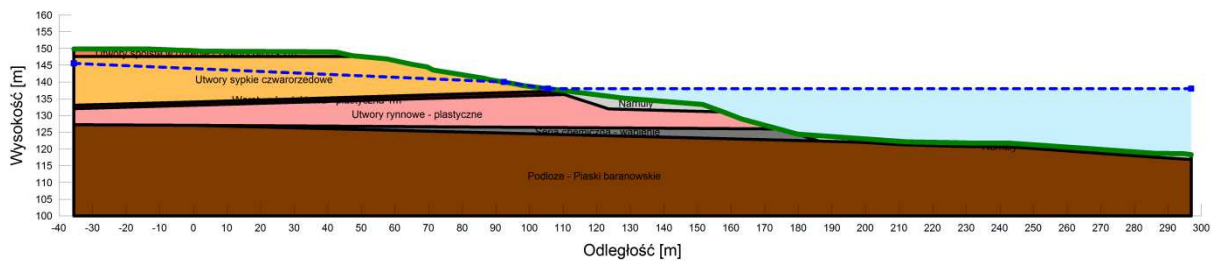
Rys. 50. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-3 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 22. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-3

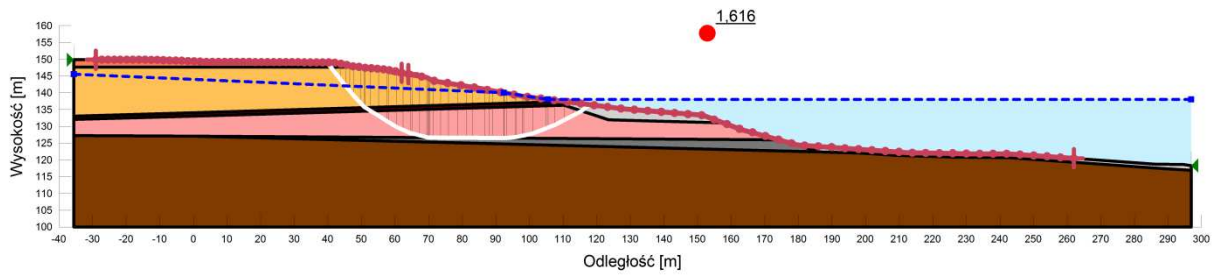
Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price'a
Stan aktualny – bez drenażu	1.268	1.088	1.197
Stan prognozowany – z drenażem sterowanym	1.603	1.470	1.600

## Wyniki obliczeń w przekroju DS-4

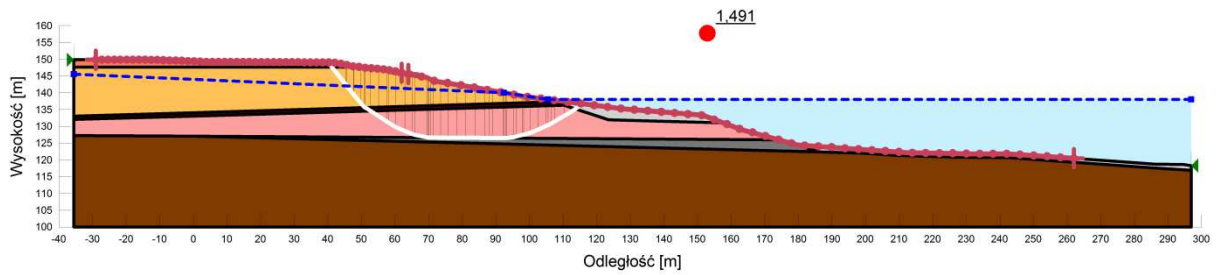
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



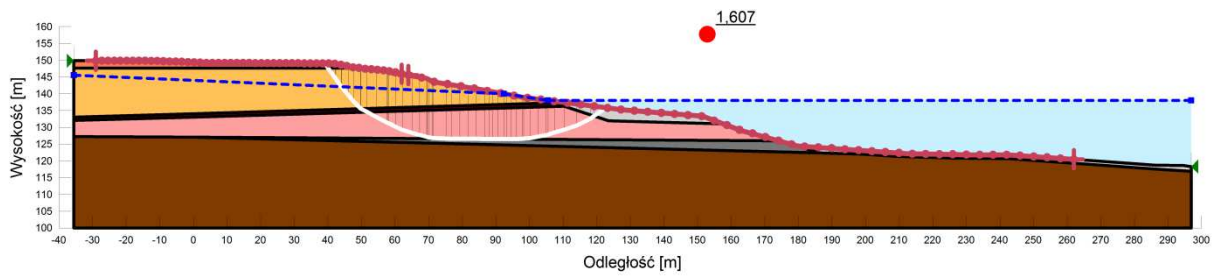
Rys. 51. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-4 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



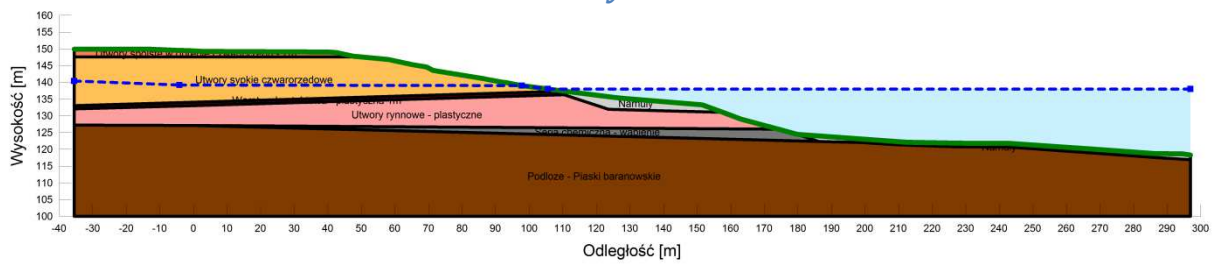
Metoda Janbu



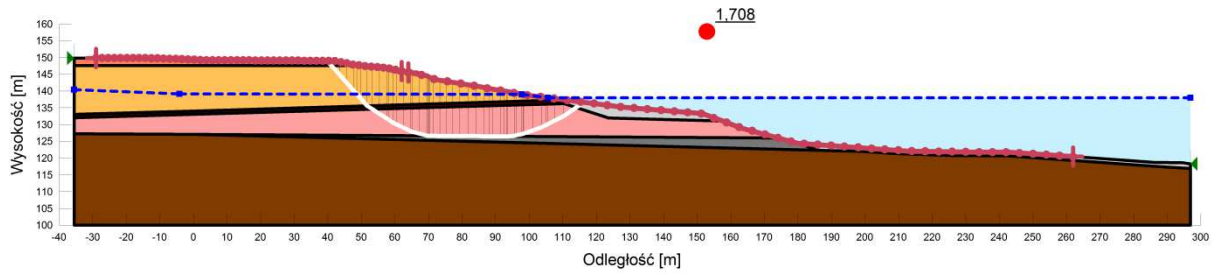
Metoda Morgensterna – Price’a

Rys. 52. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

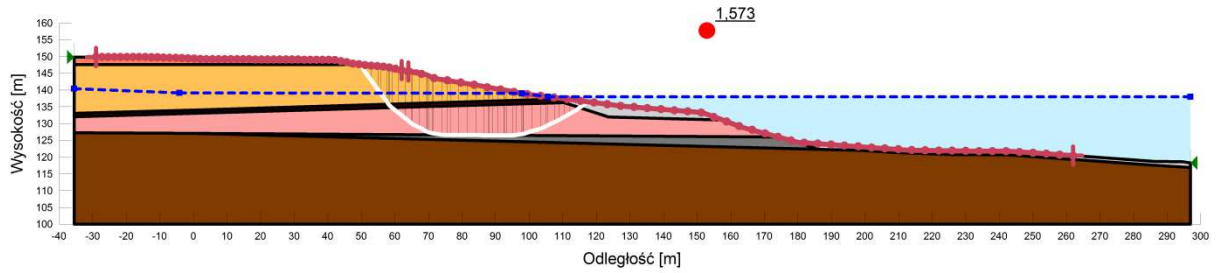
**Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym**



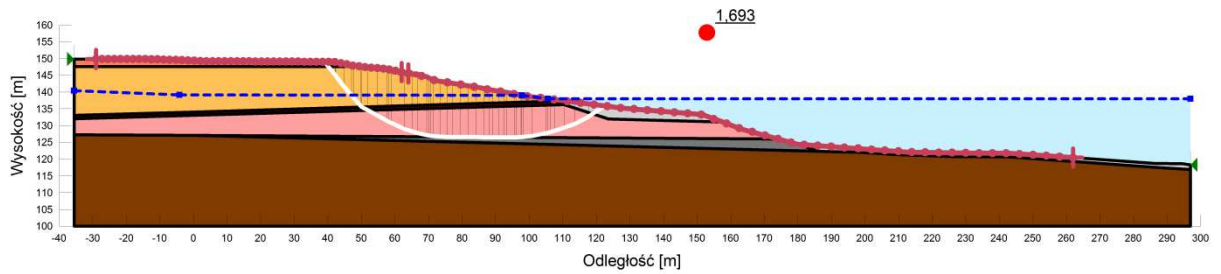
Rys. 53. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-4 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 54. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-4 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

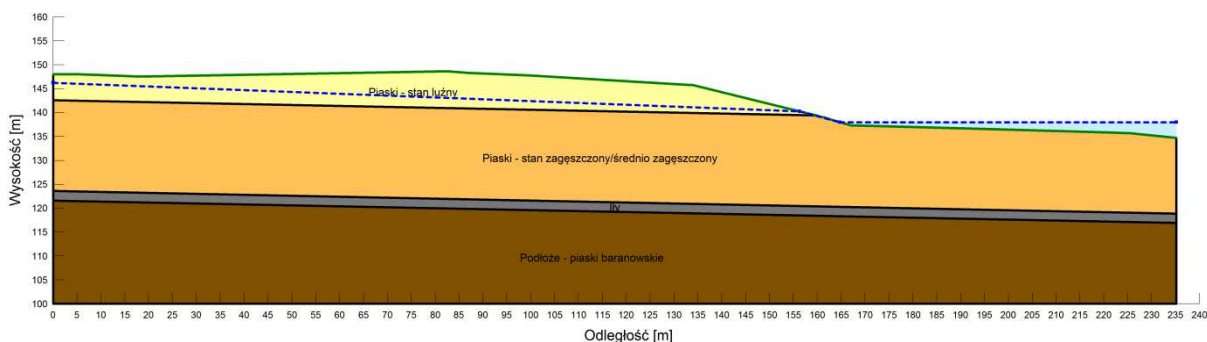
Tabela 23. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-4

Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.616	1.491	1.607
Stan prognozowany – z drenażem skierowanym	1.708	1.573	1.693

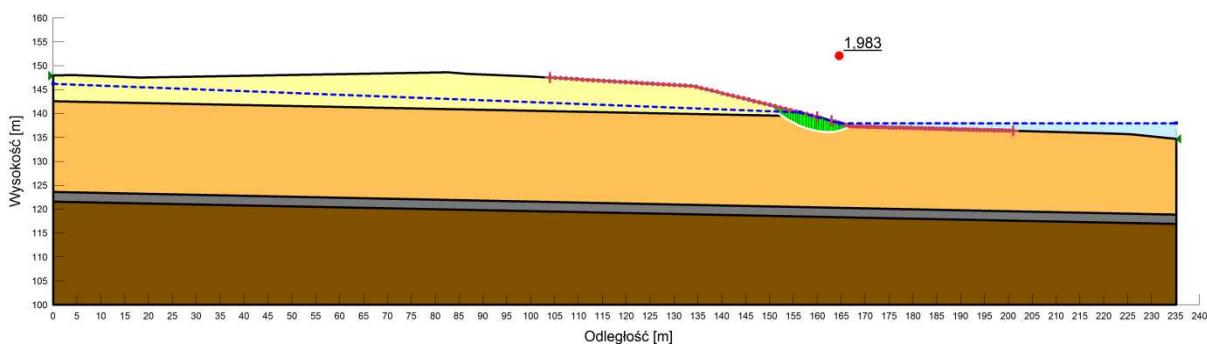
## Analiza warunków stateczności zbocza zachodniego

Dla oceny warunków stateczności zbocza zachodniego, w rejonie w którym w 2014 roku prowadzono zagęszczanie gruntów metodą mikrowybuchów, przeprowadzono obliczenia w przekroju DS-7.

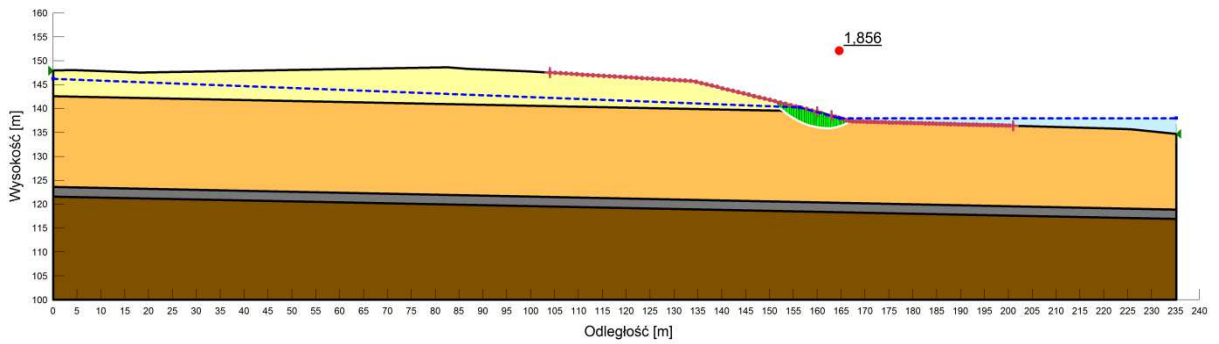
### Obliczenia dla stanu bez drenażu



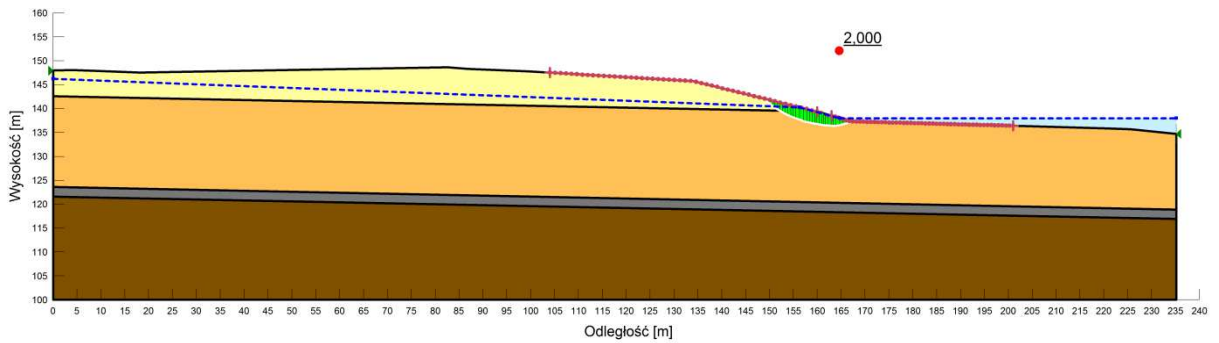
Rys. 55. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-7 – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



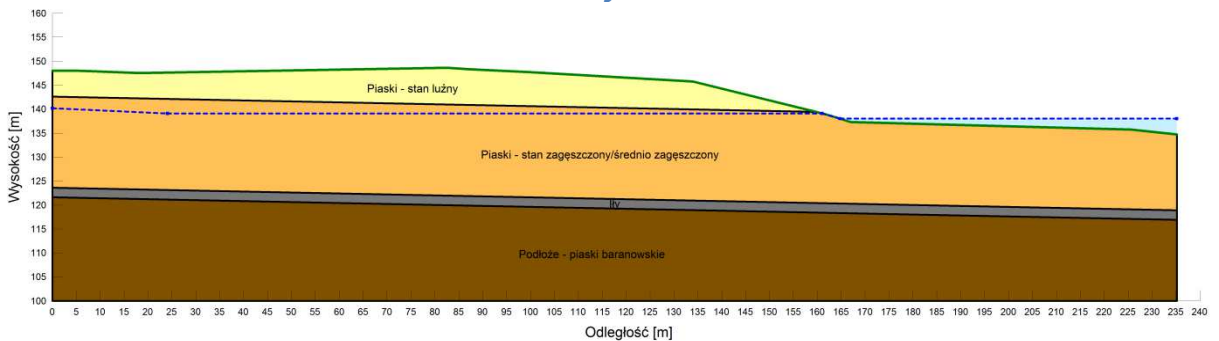
Metoda Janbu



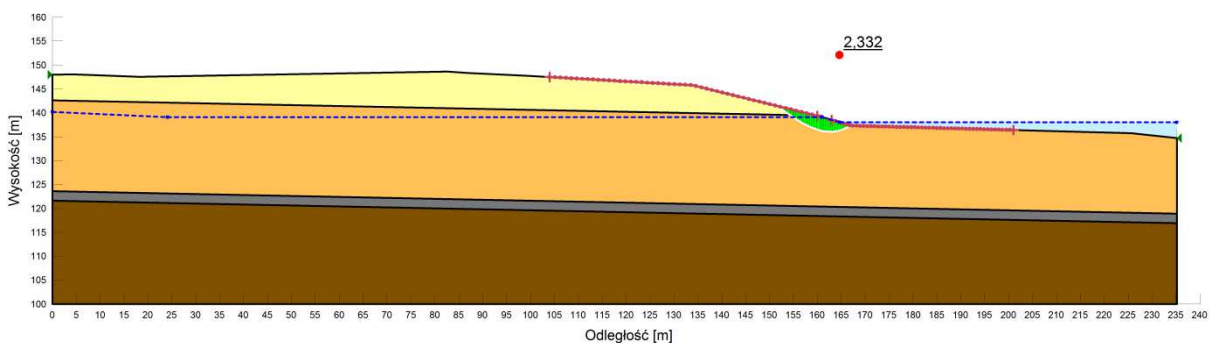
Metoda Morgensterna – Price'a

Rys. 56. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-7 z zastosowaniem metody entry and exit – stan aktualny bez drenażu, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

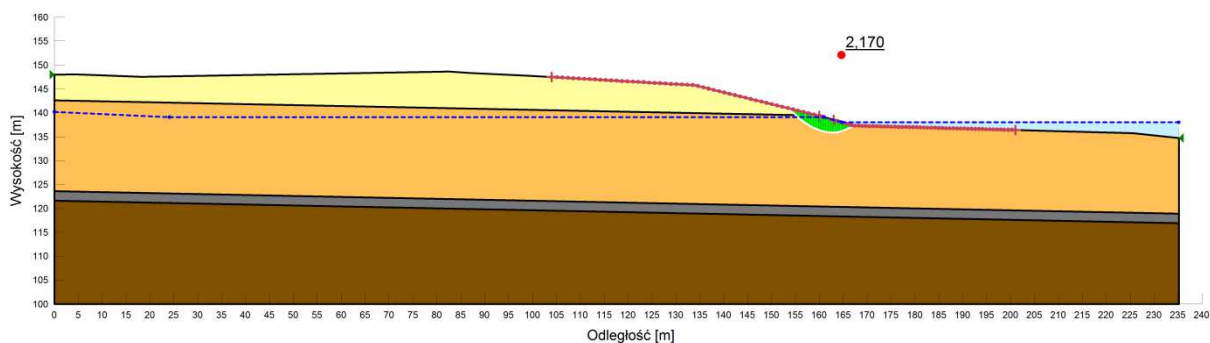
**Obliczenia dla stanu z drenażem sterowanym**



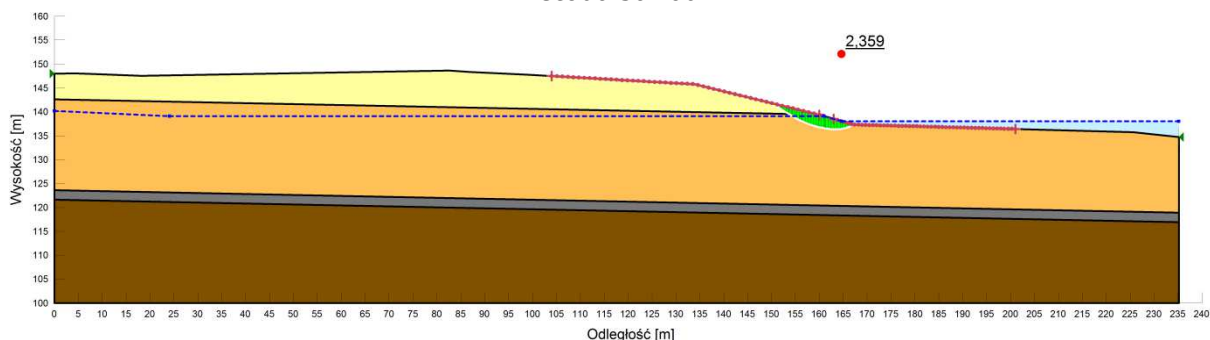
Rys. 57. Geometria zbocza oraz budowa geologiczna w przekroju DS-7 – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.



Metoda Bishopa



Metoda Janbu



Metoda Morgensterna – Price’a

Rys. 58. Wyniki obliczeń stateczności w przekroju DS-7 z zastosowaniem metody entry and exit – stan prognozowany z drenażem, poziom wody w zbiorniku +138.0 m n.p.m.

Tabela 24. Wartości wskaźników stateczności otrzymane dla przekroju DS-7

Metoda poszukiwania potencjalnej powierzchni poślizgu – Entry and Exit	Metoda obliczeniowa - Bishopa	Metoda obliczeniowa - Janbu	Metoda obliczeniowa - Morgensterna – Price’a
Stan aktualny – bez drenażu	1.983	1.856	2.000
Stan prognozowany – z drenażem sterowanym	2.332	2.170	2.359

## Wnioski wynikające z analiz stateczności

Analizy stateczności wykonane dla przekrojów reprezentujących rejony: północnego, wschodniego, południowego, południowo-wschodniego narożnika zbiornika Piaseczno oraz zbocza zachodniego, wykazały generalnie pozytywny wpływ wynikający z zastosowania odwodnienia w postaci drenów poziomych kierunkowych oraz drenów sterowanych.

Wpływ skuteczności drenażu na warunki stateczności w znacznym stopniu zależy od lokalizacji przekroju i związanej z tym budowy geologicznej. W przekrojach zlokalizowanych na zboczach północnym oraz wschodnim (DK-1, DK-4, DK-5), w których przewidziane jest zastosowanie drenów kierunkowych, wpływ drenażu na poprawę

warunków stateczności jest niewielki. Wartość wskaźnika stateczności wzrasta o około 1 – 2% w porównaniu do stanu bez drenażu. We wszystkich przypadkach wartość FS jest większa od 1.7 co wskazuje na bardzo małe prawdopodobieństwo powstania osuwiska (przy obecnym stanie ciśnień w polu hydrodynamicznym).

W przekroju zlokalizowanym na zboczu południowym (DK-8), wartość wskaźnika FS kształtuje się na poziomie od 1.15 do 1.28 przed zastosowaniem drenażu, co wskazuje, że wystąpienie procesów osuwiskowych w tym rejonie jest prawdopodobne. W tym przypadku zastosowanie odwodnienia nie wpływa zasadniczo na poprawę warunków stateczności.

W przekrojach zlokalizowanych w południowo-wschodnim narożniku zbiornika, dla których projektowane jest wykonanie drenów kierunkowych, wzrost wartości wskaźnika FS zasadniczo nie przekracza 2%. Jedynie w przekroju DK-10, po zastosowaniu odwodnienia zmianie ulega kształt oraz głębokość zasięgu potencjalnej powierzchni poślizgu. Wzrost wartości FS jest wtedy znaczący i wynosi 27-35% (w zależności od zastosowanej metody obliczeń). Generalnie wartość FS po zastosowaniu odwodnienia wzrasta do wartości większych od 1.4, przy których wystąpienie procesów osuwiskowych jest mało prawdopodobne.

W przekrojach zlokalizowanych w południowym narożniku zbiornika, dla których projektowane jest wykonanie drenów sterowanych, uzyskano następujące wzrosty procentowe wartości wskaźników stateczności:

- przekrój DS-1: 26-36% (w zależności od zastosowanej metody obliczeń),
- przekrój DS-2: 7%,
- przekrój DS-3: 26-35% (w zależności od zastosowanej metody obliczeń),
- przekrój DS-4: 5-6%.

W przekrojach DS-1 oraz DS-3 znacząca poprawa wskaźnika stateczności spowodowana jest zmianą zasięgu oraz głębokości potencjalnej powierzchni poślizgu. Po zastosowaniu odwodnienia wartości wskaźników stateczności były odpowiednio większe od wartości: 1.3 (DS-1), 1.8 (DS-2), 1.4 (DS-3), 1.5 (DS-4), co wskazuje, że po realizacji drenażu wystąpienie w tym rejonie procesów osuwiskowych o dużym zasięgu będzie mało lub bardzo mało prawdopodobne.

W przekroju zlokalizowanym na zboczu zachodnim (zwałowisko), dla którego projektowane jest wykonanie drenów sterowanych, odnotowano około 18% wzrostu wartości wskaźnika FS w porównaniu do wartości dla stanu bez drenażu. Wartości FS są w obu przypadkach większe od 1.8, co świadczy o bardzo mało prawdopodobnym wystąpieniu osuwiska.

Zastosowanie drenażu poziomego we wszystkich analizowanych przekrojach wpływa w różnym stopniu na poprawę warunków stateczności. Należy jednak zwrócić uwagę, że w żadnym z analizowanych przypadków nie wpływa na pogorszenie warunków

stateczności. Pozytywnym skutkiem zastosowania odwodnienia, niemożliwym do uwzględnienia w analizach stateczności, będzie najprawdopodobniej zmniejszenie intensywności zachodzących w zboczach zbiornika procesów sufozyjnych na skutek ograniczenia ciągłych dopływów wody do zbiornika. Zjawisko sufozji wpływa destrukcyjnie na ośrodek gruntowy oraz jego parametry geotechniczne, co z kolei przekłada się bezpośrednio na zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie gruntu oraz w efekcie na pogorszenie warunków stateczności zboczy.



## Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki analizy warunków hydrogeologicznych skłaniają do wniosku, że przyczyną niekorzystnych zjawisk osuwiskowych obserwowanych na zboczach wyrobiska, jest drenujący charakter zbiornika. Przepływ wód podziemnych w kierunku do wyrobiska, przy znacznym gradiencie hydraulicznym, jest przyczyną procesów deformacji zboczy. Procesy osuwiskowe posiadają różną dynamikę a ich nasilenie może wiązać się ze zmianami w polu hydrodynamicznym, takimi jak okresy wzmożonego zasilania atmosferycznego, zmiany rzędnej pompowania, okresy wezbrań i powodzi, itp.

Niewątpliwie, zahamowanie niekorzystnych zjawisk, o których mowa powyżej ustanie wraz z zakończeniem rekultywacji, co wiązało się będzie z definitywnym zakończeniem odwadniania wyrobiska. W chwili obecnej zaprzestanie pompowania wody nie jest możliwe z uwagi na brak sieci melioracyjnej na terenach przyległych do zbiornika, co spowoduje - jak wskazują dotychczasowe wyniki badań - wystąpienie podtopień na lokalnej sieci osadniczej.

W związku z powyższym, uznając że drenujący charakter zbiornika zostanie utrzymany w kolejnych latach, konieczne stało się opracowanie sposobu zatrzymania zachodzących na skarpach wyrobiska niekorzystnych zmian geomorfologicznych. W tym celu, w ramach niniejszej pracy, zaproponowano wykonanie systemu drenażowego, którego zadaniem jest obniżenie zwierciadła wód podziemnych w piętrze czwartorzędowym. Efektem tego ma być poprawa warunków stateczności zboczy wyrobiska „Piaseczno”.

W wyniku przeprowadzonych prac studialnych proponuje się wykonanie systemu drenażowego wykonanego w technologii bezwykopowej, składającego się z dwóch zasadniczych elementów:

1. otworów sterowanych (przewiertów sterowanych) wierconych z powierzchni terenu w kierunku do wyrobiska; otwory zostaną wyposażone w odcinki filtrowe, poprzez wykonanie szczelin w rurach PE,
2. otworów kierunkowych, wierconych z jednostki pływającej; otwory zostaną zafiltrowane filtrami szczeliowymi, wykonanymi ze stali nierdzewnej.

Prace wiertnicze prowadzone będą w granicach nieruchomości gruntowej należącej do Kopalni Siarki „Machów” w likwidacji S. A. Zaproponowana technologia wiercenia wynika z dostępności terenu oraz, przede wszystkim, z warunków bezpieczeństwa prowadzenia robót. Przyjęto na wstępie, że prowadzenie prac ciężkim sprzętem na

skarpach nadwodnych jest niedopuszczalne ze względu na ryzyko osunięcia się fragmentów skarp oraz zagrożenie dla bezpieczeństwa załogi oraz sprzętu.

Proponuje się wykonanie 9 otworów w technologii HDD, tj. przewiertów sterowanych. Otwory wykonywane będą z powierzchni terenu w rejonie narożnika S wyrobiska, a następnie w rejonie zwałowiska wewnętrznego. Odcinek czynny filtra pojedynczego otworu wynosić będzie od 54 do 60 m. Stanowiąc go będą szczeliny wykonane poprzez nacinanie rur PE wodą pod wysokim ciśnieniem. Proponuje się zastosowanie rur PE z pogrubioną ścianką (SDR 5,4), co wynika z rygorystycznych warunków wytrzymałościowych (rury wciągane do przewiertów bez zastosowania kolumny rur osłonowych). Kolumny rur nad- i podfiltrowych oraz filtrowych będą musiały zostać wykonane na specjalne zamówienie, a dostawca będzie musiał zagwarantować odpowiednie parametry wytrzymałościowe rur, w tym także zagwarantować odpowiednie własnościowe materiałów wykorzystywanych do ich produkcji. Zaletą wybranego materiału jest to, że rury PE są odporne na korozję i nie zmieniają właściwości pod wpływem wód zmineralizowanych o obniżonym odczynie pH. Całkowity metraż rur (otworów) przekroczy 1090 mb.

Ponadto, jako uzupełnienie zaproponowanego systemu, proponuje się wykonanie 11 prostych otworów kierunkowych poziomych (lekko nachylonych). Otwory wykonywane będą z jednostki pływającej, a rury filtrowe wprowadzane będą do odwiertów przy wykorzystaniu kolumny technicznej osłonowej. Odcinki czynne filtrów posiadać będą miały długość od 24 do 36 m. Jako materiał wykorzystany do produkcji rur filtrowych proponuje się austenityczną stal nierdzewną, kwasoodporną, stabilizowaną dodatkowo tytanem. Takie rozwiązanie wynika z konieczności bezawaryjnej pracy drenów w warunkach występowania różnego rodzaju naprężeń w trakcie wykonywania jak i długoletniej eksploatacji. Długość pojedynczego otworu to ok. 50 m. Całkowity metraż wiercenia i zabudowy otworów, w tym przypadku, przekroczy 550 mb. Otwory kierunkowe poziome, wiercone z powierzchni lustra wody, wykonywane będą w rejonach wyrobiska, gdzie - ze względu na ograniczenia przestrzenne - nie jest możliwe wykonanie wierceń sterowanych (HDD).

Z racji na warunki hydrogeologiczne, zasięg oddziaływania drenu, w przypadku utworów nasypowych (zwałowych) wynosi ok. 100 m, a w przypadku drenażu utworów rodzimych ok. 350 m. Biorąc to pod uwagę zaproponowano rozmieszczenie otworów w odległości od 100 do 350 m od siebie, co gwarantuje wzajemne współdziałanie drenów. W narożniku S odkrywki otwory będą zagęszczone oraz zdublowane, co oznacza zastosowanie zarówno otworów wykonywanych z powierzchni terenu (otwory sterowane) jak i z powierzchni zbiornika (otwory kierunkowe). Jest to rejon występowania czynnego

osuwiska, które musi zostać ustabilizowane i zabezpieczone w pierwszej kolejności - ze względu na lokalizację w tym rejonie kluczowych elementów infrastruktury powierzchniowej.

Wyniki analizy warunków stateczności zostały omówione szczegółowo w treści pracy. Generalnie należy stwierdzić, że odwodnienie skarp poprawia warunki geotechniczne. Obliczenia wskazują, że wartość wskaźnika stateczności po zastosowaniu drenażu poziomego wzrośnie, we wszystkich analizowanych przekrojach, od kilku do kilkudziesięciu procent.

Zaletą proponowanego rozwiązania jest grawitacyjny, bezkosztowy, sposób odprowadzenia wody do zbiornika Piaseczno. Po wykonaniu otworów drenażowych koszty utrzymania systemu ograniczą się do serwisowania otworów oraz ich ewentualnej renowacji przy pomocy metod stosownych powszechnie w technice sanitarnej.

Zaproponowany w niniejszej pracy system niestety nie umożliwi bezpośredniego odwodnienia piętra neogeńskiego. Odwodnienie tego piętra możliwe byłoby obecnie - tj. przy zwierciadle wody w zbiorniku na rzędnej +138 m npm - jedynie przez studnie wiercone pionowe, wyposażone w agregaty pompowe. Taki sposób odwodnienia jest kosztochłonny, a w obecnym stadium likwidacji przedsiębiorstwa jest mało realny. Obniżenie zwierciadła wody w piętrze neogeńskim przez zaproponowany system otworów drenażowych poziomych nastąpi tylko wtedy, gdy w danym rejonie oddziaływania drenu występować będzie bezpośredni kontakt poziomu czwartorzędowego z poziomem neogeńskim (przez tzw. okna hydrogeologiczne). Występowanie takiego typu kontaktu hydraulicznego nie jest wykluczone, choćby z racji na przeprowadzone roboty górnicze. Jednakże podkreślić należy, że występowanie kontaktu bezpośredniego ogranicza się prawdopodobnie jedynie do granic byłej odkrywki „Piaseczno”.

W niniejszej dokumentacji technicznej, z uwagi na konieczną niezawodność pracy systemu drenażowego, zaproponowano zastosowanie materiałów wysokiej jakości. Wymagania jakościowe oraz specyfikacje techniczne konstrukcji drenów zestawione są w poszczególnych tabelach oraz opisie techniki i technologii. Biorąc pod uwagę zapisy umowy (§2) zdefiniowane przez inwestora, wykonawca niniejszej dokumentacji zastrzega sobie prawo sprawowania nadzoru autorskiego, w tym także zaopiniowania Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ) oraz udziału w pracach komisji przetargowej.

Zaproponowany sposób zabezpieczenia wyrobiska wymaga przeprowadzenia specjalistycznych prac wiertniczych. Potencjalni wykonawcy oraz dostawy materiałów

muszą posiadać niezbędne doświadczenie, potwierdzone referencjami. Ze względu na fakt, dwutorowego prowadzenia prac wiertniczych, tj. w zakresie wierceń poziomych z lustra wody, jak i wierceń sterowanych z powierzchni terenu, prace mogą prowadzić - niezależnie - dwie wyspecjalizowane w robotach bezwykopowych firmy wiertnicze. Zaleca się jednak powierzenie robót wykonawcom związanym umową konsorcjum, ewentualnie jednej wyspecjalizowanej firmie posiadającej wyspecjalizowanych dostawców i podwykonawców, od których wymagać należy niezbędnego doświadczenia oraz referencji. W ramach prowadzonego nadzoru, konieczne będzie także prowadzenie koordynacji prac wiertniczych.

- KONIEC OPISU -

## Spis wykorzystanych materiałów źródłowych

1. Żyłkowa Z. - Dokumentacja hydrogeologiczna studni odwadniających w Piasecznie k/Tarnobrzega; Z., 1957
2. Koleciński A. - ,Dokumentacja geolog. złoża siarki w Piasecznie koło Koprzywnicy — kat. B Część II; X 1958
3. Dokumentacja powykonawcza odwodnienia Kopalni Siarki Piaseczno,
  - o Część I (mapy) - za okres VII 1957 r.- XII 1959 r.; S. Kurdyka, 1959
  - o Część II Profile i przekroje) - za okres VI 1957 r. — VI 1958 r.; S. Kurdyka, 1958
  - o Część III. (Zestawienie ilości odpompowanej wody z Kopalni Piaseczno) za okres VI 1957 r. — XII 1959 r.; S. Kurdyka, 1960
  - o Część IV (Profile i przekroje) za okres VII.1958 r.— XII.1959 r.; S. Kurdyka, 1959
  - o Część V. (Hydrochemizm wód pompowanych z kopalni); A. Przybysz, 1960
4. Danielewicz i in.- Dok. geologiczna złoża siarki rodzimej w Piasecznie wraz z filarem Wisły; Część I, II/1, II/2; B. 1963
5. Świerkosz W. - Dok. geolog. złoża piasków kwarcytowych przydatnych dla przemysłu szklarskiego Piaseczno w kat. C<sub>1</sub>; 1972
6. Piskorz S., Molenda B. i in. - Dokumentacja geologiczna w kat. C<sub>1</sub>+B złoża siarki Piaseczno wraz z filarem Wisły; 1981
7. Dokumentacja warunków hydrogeologicznych w rejonie odkrywki Piaseczno według stanu na rok 1987; PG Kraków, 1988
8. Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska "Piaseczno"; PUP "Sigma" BP
  - o ETAP I Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej, 2005
  - o ETAP II Rekultywacja wyrobiska byłej Kopalni, 2006
9. Dokumentacja geologiczna rozpoznania budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych zwałowiska wewnętrznego wyrobiska "Piaseczno"; OBR PS "Siarkopol", 1997
10. Flisiak J., Mazurek J., Rybicki S.: Aktualizacja geomechanicznej ekspertyzy w zakresie warunków stateczności skarp wyrobiska „Piaseczno”. FNiTG, Kraków, 1997
11. Flisiak J., Mazurek J., Rybicki S.: Aktualizacja geomechanicznej ekspertyzy w zakresie warunków stateczności skarp wyrobiska „Piaseczno” w warunkach braku dennej warstwy izolacyjnej. FNiTG, Kraków, 2000
12. Kirejczyk J. (red.) i in., 2000 - Aktualizacja programu likwidacji wyrobiska "Piaseczno".OBR PS "Siarkopol" Tarnobrzeg, AGH Kraków, HYDROPROJEKT – Warszawa Sp.z o.o., Warszawa;
13. Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki

- "Piaseczno". Etap I. Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej – PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg 2005r.
14. Program likwidacji Kopalni Siarki "Machów" skonsolidowanego przedsiębiorstwa w obszarach "Machów-Piaseczno", "Jeziórko", "Grzybów". Kopalnia Siarki Machów Tarnobrzeg, maj 2005 r.
  15. Projekt techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki "Piaseczno". Etap II Rekultywacja wyrobiska byłej kopalni – PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg 2006r.
  16. Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w rejonie likwidowanego wyrobiska byłej Kopalni Siarki „Piaseczno”- stan prognozowany w związku z przewidywaną zmianą poziomu odwadniania i po jej całkowitym zakończeniu; PUP SIGMA BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg, 2006
  17. Ekspertyza określająca zakres prac w wyrobisku byłej Kopalni Siarki "Piaseczno" gwarantujących bezpieczeństwo ekologiczne skojarzonej likwidacji wyrobisk "Machów" i "Piaseczno" oraz rekreacyjny charakter przyszłego zbiornika wodnego "Piaseczno"- Et. I grudzień,2006 r. (Opracowanie końcowe Hydroprojekt i PUP "Sigma BP").
  18. Ekspertyza dotycząca możliwych sposobów ograniczenia dopływu wód neogeńskich do zbiornika w likwidowanym wyrobisku Kopalni Siarki "Piaseczno".
    - o Etap I: Ekspertyza określająca zakres prac w wyrobisku byłej Kopalni Siarki "Piaseczno" gwarantujących bezpieczeństwo ekologiczne skojarzonej likwidacji wyrobisk "Machów" i "Piaseczno" oraz rekreacyjny charakter przyszłego zbiornika wodnego "Piaseczno". HYDROPROJEKT – Warszawa Sp.z o.o., PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg, grudzień'2006 r.
    - o Etap II Założenia techniczno-technologiczne dla wskazanych sposobów ograniczenia dopływu wód neogeńskich do likwidowanego wyrobiska "Piaseczno". Marzec, 2007 r. (Opracowanie PUP Sigma BP Sp. z o.o.).
  19. Aneks Nr 2 do Projektu technicznego prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki "Piaseczno". Etap I. Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej - PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg 2007 r.
  20. Ekspertyza określająca warunki techniczno-ekonomiczne wariantowego sposobu zabezpieczenia terenów w zasięgu leja depresji w zależności od różnych poziomów docelowego lustra wody w wyrobisku "Piaseczno". PUP Sigma BP sp. z o.o. Tarnobrzeg, lipiec'2009 r.
  21. Przebudowa stanowiska pompowego na poziom +140 m n.p.m.. PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg, sierpień 2009 r.
  22. Aneks Nr 3 do Projektu techniczny prac zabezpieczających i rekultywacji wyrobiska byłej Kopalni Siarki "Piaseczno". Etap I. Uporządkowanie, profilowanie skarp wyrobiska i izolacja wychodni serii chemicznej – PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg 2010r.
  23. Analiza zmian środowiskowych w rejonie likwidowanych wyrobisk "Machów" i "Piaseczno" – PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg 2011r.
  24. Wykonanie prac i badań w celu określenia sposobu kontynuowania robót rekultywacyjnych wyrobiska byłej Kopalni Siarki "Piaseczno" w związku z zaistniałymi deformacjami skarp tworzonego zbiornika wodnego - PIG Warszawa, FNI TG Kraków, PUP Sigma BP Sp. z o.o. Tarnobrzeg, ZUG Geotech Sp. z o.o. Rzeszów 2011r.
  25. Dokumentacja geologiczno-inżynierska w celu ustalenia przyczyn powstania osuwiska na zachodniej skarpcie zbiornika "Piaseczno" uformowanej w gruntach zwałowiska wewnętrznego byłej kopalni Siarki "Piaseczno"; PIG Warszawa (oraz Decyzja Starosty Sandomierskiego o przyjęciu dokumentacji (oryginał), 2011

26. Wytyczne dla dalszego prowadzenia monitoringu środowiska w końcowej fazie likwidacji kopalń siarki "Machów" i "Piaseczno" - FNITG Kraków 2011r.
27. Cała M., Flisiak J. i inni: Dokumentacja techniczna niezbędnych prac rekultywacyjno-likwidacyjnych wyrobiska Piaseczno – Etap I. Zespół autorski FNITG, Kraków, 2012
28. Cała M., Flisiak J. i inni: Dokumentacja techniczna niezbędnych prac rekultywacyjno – likwidacyjnych wyrobiska „Piaseczno” – Etap IIb. Zespół autorski FNITG, Kraków, 2014

## **ZAŁACZNIKI**