

Konstrukcje oporowe skarp oraz stabilizacja osuwisk – kompleksowa realizacja robót geotechnicznych na linii kolejowej nr 104 odc. E w rejonie Nowego Sącza

Zakres realizacji i ogólny opis projektu

Firma Tergon w ramach modernizacji linii kolejowej nr 104 Chabówka – Nowy Sącz na odc. E Kłęczany – Nowy Sącz na zlecenie firmy Torpol S.A. podjęła się doboru technologii i rozwiązań oraz kompleksowej realizacji robót geotechnicznych stanowiących zabezpieczenia przeciwośuwiskowe oraz obudowę planowanych podcięć skarp.

Przedmiotowy odcinek modernizowanej linii stanowi część układu kolejowego „Podtęże – Piekietko”. Dzięki projektowi „Podtęże – Piekietko”, w połączeniu z realizacją przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. innych zadań objętych Krajowym Programem Kolejowym możliwy będzie dojazd z centrum Krakowa do Zakopanego w czasie 90 – 100 minut, a do Nowego Sącza w czasie około godziny. Najszybsze pociągi pokonają trasę Kraków–Nowy Sącz z prędkością do 160 km/h. Linia będzie wykorzystywana również w ruchu dalekobieżnym, co jest szczególnie istotne w kontekście ruchu turystycznego. Na przedmiotowym odcinku pomiędzy miejscowością Kłęczany – Nowy Sącz, modernizowana linia kolejowa 104 przebiega pomiędzy korytem Dunajca a zboczem pobliskiego wzniesienia. Praktycznie każdy kilometr modernizowanej linii kolejowej z Kłęczan do Nowego Sącza to inżynieryjne wyzwanie. Wielu zaawansowanych prac budowlanych nie widać na pierwszy rzut oka. Dużą część działań obejmuje realizacja wstępnych wzmocnień gruntu. Dadzą one odpowiednią stabilność podcinanych skarp, zabezpieczą tereny zagrożone ruchami osuwiskowymi i pozwolą na bezpieczną eksploatację modernizowanej linii kolejowej.



Rys. nr 1 – Układ „Podtęże – Piekietko”. Pracę na linii kolejowej nr 104 Chabówka – Nowy Sącz.

Firma Tergon w ramach powyższego zadania zrealizowała kompleksowo:

- 9 konstrukcji oporowych stanowiących obudowę podcięcia skarp,
- 6 konstrukcji oporowych stanowiących zabezpieczenie terenów zagrożonych osuwiskowo z uwzględnieniem poprawy ich odwodnienia'
- 3 konstrukcje barier stanowiących zabezpieczenie przed odłamkami skalnymi.

Naszym głównym zadaniem było wykonanie konstrukcji oporowych jako palisad z pali wierconych o średnicy 400mm oraz 500mm wraz z ich zwieńczeniem za pomocą oczepów żelbetowych. Konstrukcje o największym stopniu podcięcia skarp oraz konstrukcje stabilizujące tereny osuwiskowe posiadają dodatkowe wzmocnienie w formie zakotwienia przy pomocy szeregu mikropali kotwiących o długości do 24m. Dodatkowo w celu poprawy stabilizacji terenów najbardziej zagrożonych osuwiskowo wykonaliśmy odwodnienie wgłębne w postaci drenów wierconych o długości do 40m poprawiających warunki gruntowo-wodne. Z uwagi na przebieg modernizowanej linii kolejowej w bliskim sąsiedztwie skarp o tendencji odpajania się okruchów skalnych, firma Tergon zrealizowała bariery zdolne do przychwytywania odłamków skalnych z energią do 750kJ.



Zdj. nr 1 – Widok przykładowej konstrukcji oporowej (KO_K4) stanowiącej zabezpieczenie podcięcia skarpy w Nowym Sączu.

Weryfikacja dokumentacji projektowej i wprowadzone usprawnienia

Budowa konstrukcji oporowych stanowiących zabezpieczenia podcinanych skarp oraz terenów zagrożonych osuwiskowo prowadzona była wg dokumentacji otrzymanej od Zamawiającego, jednakże inżynierowie firmy Tergon każdorazowo przed przystąpieniem do realizacji zleconych prac wykonują szczegółową analizę otrzymanej dokumentacji. Gdy widzimy możliwość usprawnienia prac lub zastosowania rozwiązań w naszej ocenie technologicznie lepszych, proponujemy modyfikacje oraz opracowujemy szczegółowe Projekty Technologiczne – tak było

73+200B1
300.86

balustrada
według odrzutowego opracowania

km 73+225.00

ochronianie ławy gabionowych
według odrzutowego opracowania

73+200A
297.76

73+200A1
296.86

ociep tylny
według odrzutowego opracowania

G+Kw.00

Gl. 4.8

połowa z poli wierzonych
o średnicy 0,4m
według Projektu Technologicznego konstrukcji KO_KB

okropki subwersyjne Ø100mm
Ø18-100 L=1200 rozstaw 2,00 m

Gl. 4.0

12

9

10

połowa z poli wierzonych
o średnicy 0,4m
zbrojona kształtownikiem stalowym IPE 160 S355 L=10 m

[illegible]

Pale fundamentowe – główna konstrukcja nośna

Pale wiercone, w tym pale ze zbrojeniem koszowym oraz profilowym

Głównym elementem nośnym wykonanych konstrukcji oporowych stanowią pale fundamentowe wiercone. Z uwagi na mocno zurbanizowany teren modernizowanej linii kolejowej leżącej na odcinku Klęczany – Nowy Sącz, ukształtowanie terenu, warunki gruntowe, dojazd oraz możliwość bezpiecznej pracy sprzętu, przedmiotowe zadanie wymagało starannego przeanalizowania oraz dobrania odpowiedniej wielkości jednostki wiertniczej. Z uwagi na powyższe trudności, większość konstrukcji oporowych zaprojektowana została w oparciu o pale średnicy 400mm oraz 500mm, których realizacja prowadzona była często z wykorzystaniem lżejszej jednostki (ok. 35t), możliwej do wprowadzenia w trudne, zurbanizowane warunki terenowe.



Zdj. nr 2 – Praca lekkiej jednostki wiertniczej Comacchio MC 30 w ramach wykonywania konstrukcji KO_K8.

W ramach przedmiotowego zadania Tergon wykonał pale fundamentowe w sumarycznych ilościach 2 547 szt. o łącznej długości 24 706 mb wbudowując ok 893t zbrojenia oraz 5 900 m³ mieszanki betonowej. Łącznie zabezpieczono linię kolejową na odcinku 2 327mb w formie palisad z pali z uwagi na planowane podcięcia skarp oraz tereny zagrożone osuwisko.

Nazwa konstrukcji	Lokalizacja [km]	Długość konstrukcji	Średnica wiercenia	Ilość pali	Łączna długość pali
PO_P2	61+815 ÷ 61+828, 61+838,5 ÷ 61+974	148,4 mb	500 mm	149 szt	894,0 mb
KO_K2	62+060 ÷ 62+412	348,7 mb	500 mm	580 szt	6960,0 mb
KO_K3	63+131 ÷ 63+280	149,8 mb	500 mm	250 szt	2000,0 mb
OS10_P1	65+510 ÷ 65+610	96,7 mb	500 mm	65 szt	910,0 mb
OS9_P1	65+638 ÷ 65+760	116,8 mb	500 mm	78 szt	1092,0 mb
OS9_P2	65+760 ÷ 65+880	121,4 mb	500 mm	81 szt	1134,0 mb
PO_P3	71+382 ÷ 71+417	35,5 mb	500 mm	35 szt	280,0 mb
KO_K4	71+440 ÷ 71+571	143,0 mb	500 mm	239 szt	2390,0 mb
KO_K6	72+060 ÷ 72+225	167,5 mb	500 mm	277 szt	2216,0 mb
OS3_P1	72+225 ÷ 72+345	123,5 mb	500 mm	83 szt	830,0 mb
OS4-7_P1	72+492 ÷ 72+900	404,7 mb	500 mm	202 szt	2020,0 mb
PO_P4	72+914 ÷ 73+160	246,6 mb	400 mm	165 szt	1485,0 mb
KO_K7	72+975 ÷ 73+025	50,0 mb	500 mm	83 szt	581,0 mb
KO_K8	73+100 ÷ 73+230	127,8 mb	500 mm	213 szt	1491,0 mb
PO_P5	73+200 ÷ 73+246	46,8 mb	400 mm	47 szt	423,0 mb
		2327,2 mb		2547 szt	24 706,0 mb

Tab. nr 1 – Zbiorcze zestawienie robót palowych konstrukcji oporowych

Harmonogram oraz tempo robót palowych

Z uwagi na dużą ilość robót palowych (24 706mb), oczekiwania Generalnego Wykonawcy – firmy Torpol co do tempa oraz harmonogramu prac, firma Tergon podjęła się realizacji wykonując przedmiotowe roboty palowe w okresie 6 miesięcy od ich rozpoczęcia. By sprostać terminowości zadaniu, firma Tergon wprowadziła do pracy w szczytowym momencie 3 niezależne jednostki wiertnicze, dobrane do panujących warunków gruntowych, możliwej bezpiecznej pracy w trudnych warunkach terenowych, często zurbanizowanych oraz możliwego dojazdu. Wykorzystano do tego zróżnicowany park palownic w zakresie wagowym od ok. 35t, po ok. 50t oraz najcięższą ważącą ok. 90t. Były to odpowiednio maszyny Comacchio MC 30, Comacchio CH 450 oraz RTG RG 22 S, które wykonały m. in. zakres pali w najtrudniejszych warunkach gruntowych, nieopodal kopalni surowców skalnych Klęczany.



Zdj. nr 3 – Zestaw sprzętowy do wiercenia pali Comacchio MC 30 (konstrukcja OS4-7_P1)



Zdj. nr 4 – Zestaw sprzętowy do wiercenia pali Comacchio CH 450 (konstrukcja KO_K2)



Zdj. nr 5 – Zestaw sprzętowy do wiercenia pali RTG RG 22S (konstrukcja KO_K3)

Zakotwienie konstrukcji – wzmocnienie palisad mikropalami kotwiącymi

Konstrukcje oporowe o największym stopniu odstąpienia z uwagi na planowane podcinanie skarp oraz konstrukcje stanowiące zabezpieczenia przeciwsuwiskowe zostały dodatkowo wzmocnione poprzez ich zakotwienie. W tym celu zastosowano szereg mikropali kotwiących wierconych w technologii samowiercącej. W ramach przedmiotowego zadania Tergon wykonał mikropale kotwiące w sumarycznych ilościach 620 szt. o łącznej długości 10 817 mb wbudowując mikropale typu R38, R51, R76 o długościach od L=11,0m do L=24,0m. Zbiorcze zestawienie wykonanych robót dotyczących zakotwienia konstrukcji oporowych przedstawia poniższa tabela:

Nazwa konstrukcji	Typ zakotwienia	Ilość elementów kotwiących	Łączna długość zakotwienia
KO_K2	R51	171 szt	3 019 mb
KO_K3	R51	59 szt	885 mb
KO_K4	R51	68 szt	1 362 mb
KO_K6	R51	51 szt	765 mb
KO_K8	R51	44 szt	484 mb
PO_P3	R76	11 szt	132 mb
PO_P4	R38	82 szt	1 230 mb
PO_P5	R38	23 szt	276 mb
OS10_P1	R76	32 szt	768 mb
OS9_P1	R76	39 szt	936 mb
OS9_P2	R76	40 szt	960 mb
		620 szt	10 817 mb

Tab. nr 2 – Zbiorcze zestawienie elementów zakotwienia konstrukcji oporowych

W ramach wykonywania zakotwienia, firma Tergon opracowała autorskie Projekty Technologiczne. Szczególną uwagę poświęcono konstrukcjom zabezpieczającym planowane podcięcia skarp, których lokalizacja znajdowała się w terenie zurbanizowanym, w centrum Nowego Sącza. Analiza możliwości zakotwienia obejmowała konieczność uwzględnienia terenu objętego decyzjami administracyjnymi, budową podłoża gruntowego, możliwościami organizacyjnymi oraz redukcją uciążliwości pracy. Zakotwienia konstrukcji lokowano w żelbetowych oczepach zwieńczających, zarówno w oczepach przykrywających wierzch palisady, jak i pośrednich oczepach zwieńczających lokowanych na powierzchni bocznej palisady.



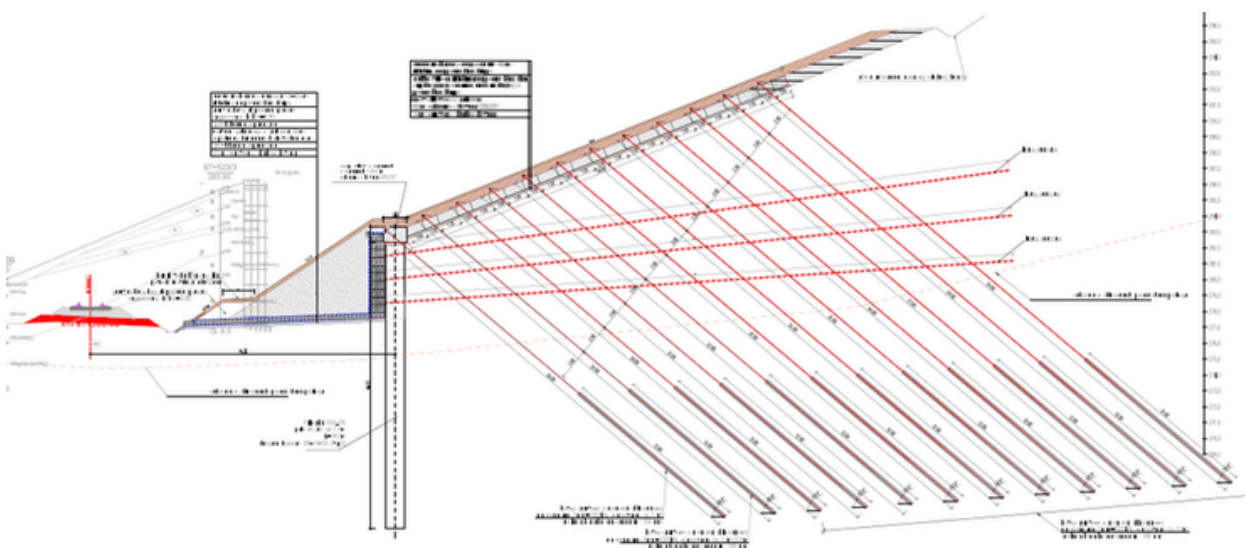
Zdj. nr 6 – Pośredni poziom zakotwienia konstrukcji oporowej (konstrukcja KO_K4)



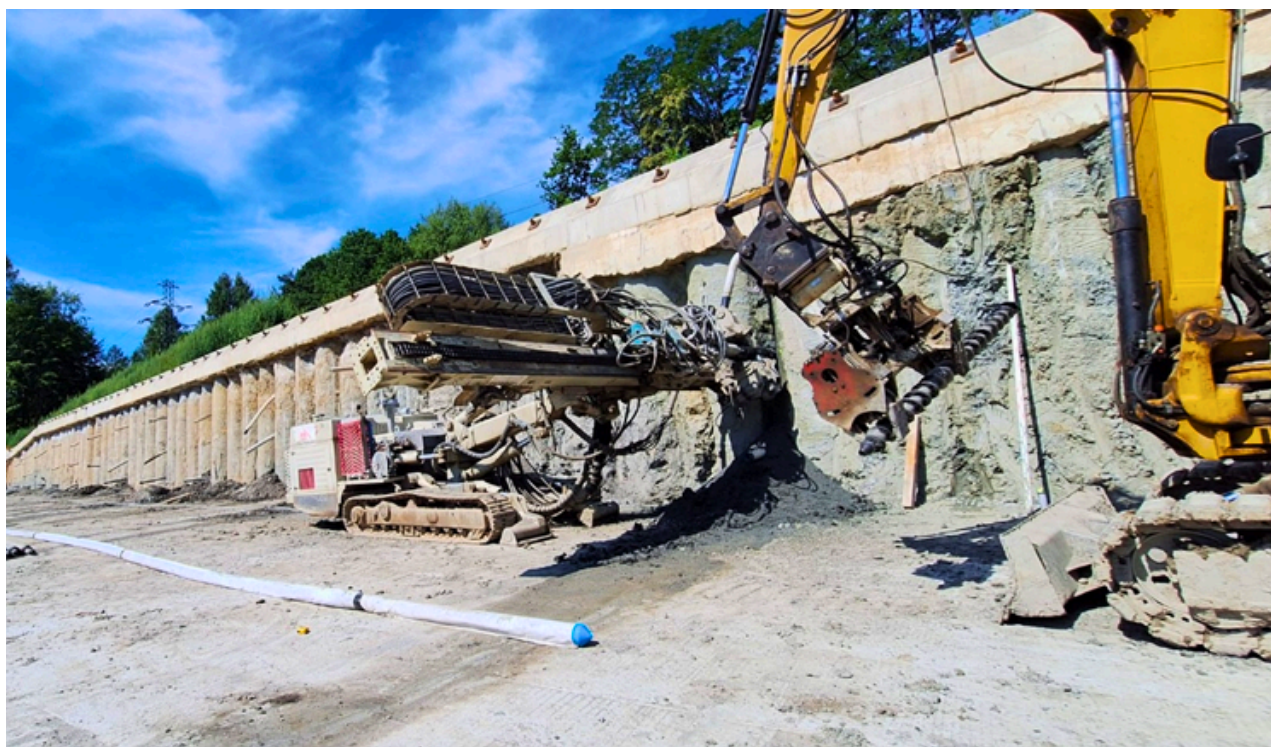
Zdj. nr 7 – Kotwiona konstrukcja oporowa w fazie największego odstąpienia (konstrukcja KO_K4)

Poprawa warunków gruntowo-wodnych – odwodnienie terenu osuwiskowego

W ramach prowadzonych robót Tergon podjął się zadania odwodnienia terenu osuwiskowego w ramach zabezpieczenia obszaru OS2_P5 poprzez zabudowę wgłębnych drenów wierconych. Przedmiotowy zakres robót obejmował zabudowę perforowanych rur drenarskich DN110mm o długości $L=40\text{m}$, które stanowiły głębokie odwodnienie obszaru OS2_P5. Sumaryczna ilość wykonanych drenów wyniosła 120 szt. o łącznej długości 4 800mb zrealizowanych w trzech poziomach odwodnienia.



Rys. nr 4 – Schemat odwadnianej konstrukcji oporowej (obszar OS2_P5)

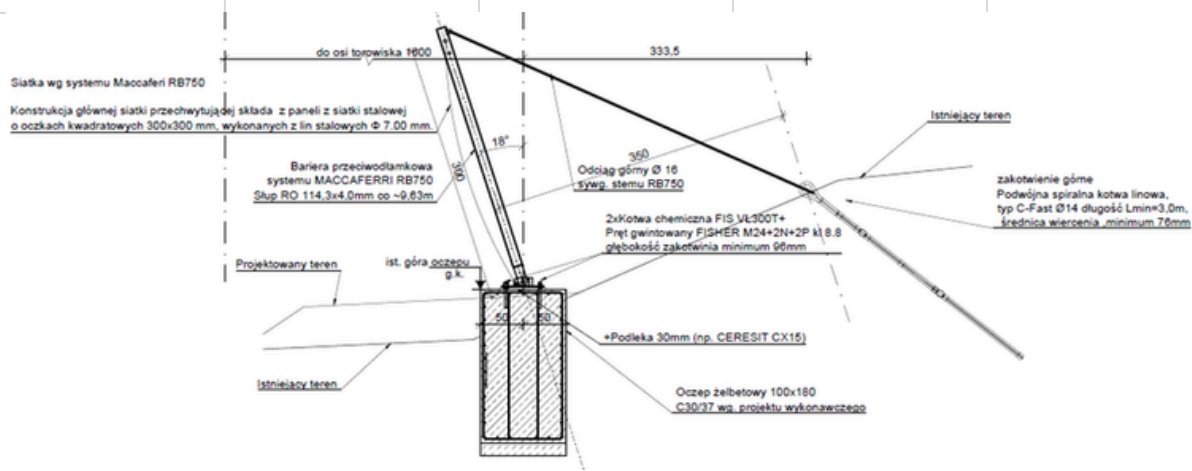


Zdj. nr 8 – Wiercenie drenów wgłębnych długości $L=40\text{m}$ (obszar OS2_P5)

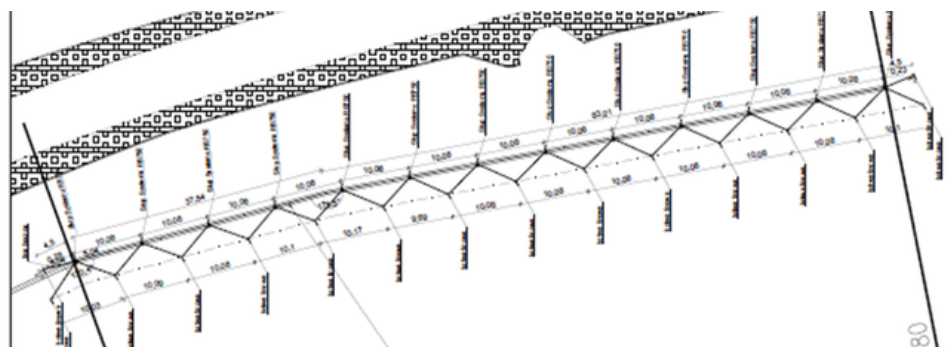
Bariery przeciwołamkowe – przechwycenie okruchów skalnych

W ramach modernizacji linii kolejowej, przebiegającej w bliskim sąsiedztwie stoków skalnych z tendencją do powierzchniowych obrywów, przewidziano zabezpieczenie w postaci barier przeciwołamkowych. Ich lokalizacja znajduje się w bliskim sąsiedztwie kopalni surowców skalnych Klęczany. Przedmiotowe bariery mają na celu przechwycenie odłamu skalnego, przejście energii kinetycznej i jej rozproszenie w specjalnych tłumikach wchodzących w skład urządzenia bariery. W ramach przewidzianych robót Tergon opracował Projekty Technologiczne montażu oraz zabudował bariery na 3 niezależnych odcinkach. Każda z barier o wysokości $H=3,0\text{m}$ pozwala na przejście energii staczającego się odłamu skalnego o wartości 750kJ . Łączna długość zabezpieczanego odcinka linii kolejowej przed staczającymi się odłamkami skalnymi wyniosła 470mb .

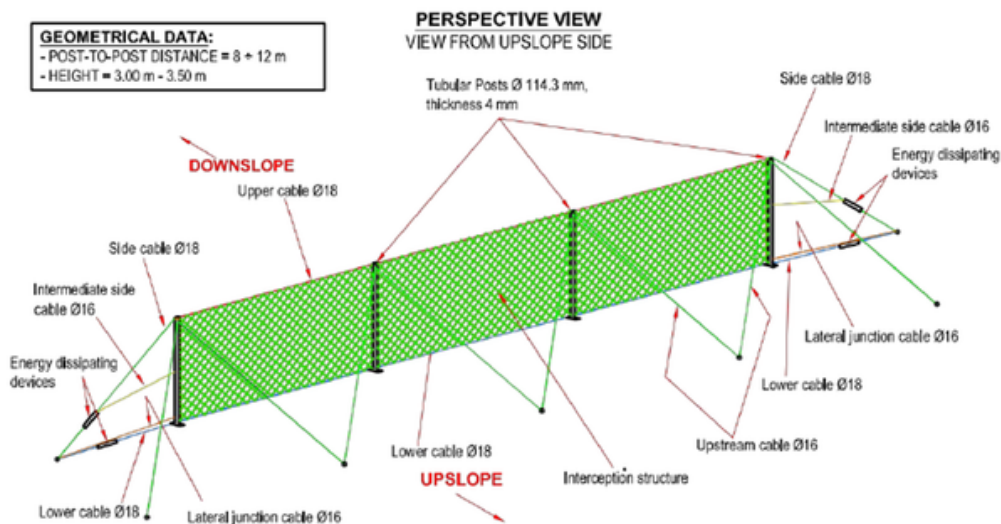
Nazwa konstrukcji	Typ bariery	Typ posadowienia	Wysokość bariery	Długość bariery
OS10_P2	RB750 kJ Plus	Mikropale	3,0 m	250 mb
OS10_P1	RB750 kJ Plus	Oczep żelbetowy	3,0 m	100 mb
OS9_P2	RB750 kJ Plus	Oczep żelbetowy	3,0 m	120 mb
				470 mb



Rys. nr 5 – Schemat bariery przeciwołamkowej z Projektu Technologicznego (obszar OS9_P2)

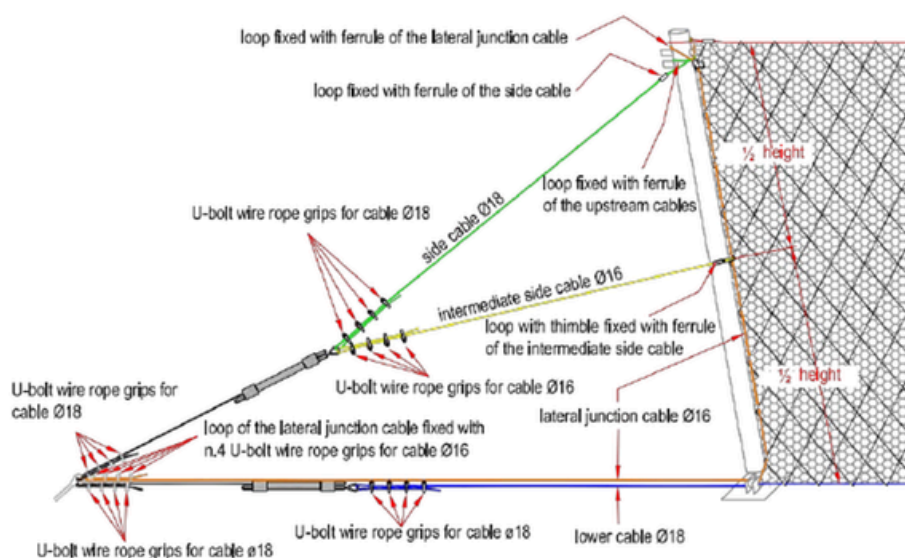


Rys. nr 6 – Schemat planu montażu odcinków bariery z Projektu Technologicznego (obszar OS9_P2)



Rys. nr 7 – Schemat montażu bariery typu RB750

LAYOUT OF CABLES NEXT TO THE LATERAL POST



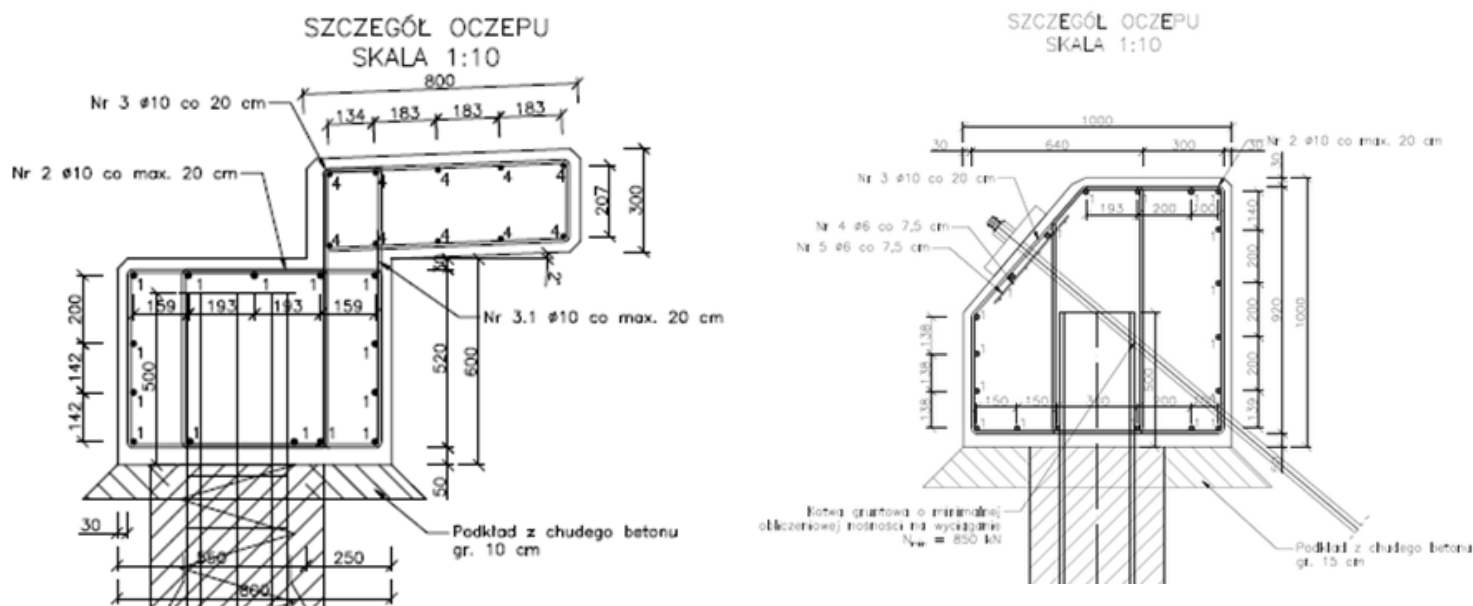
Rys. nr 8 – Schemat urządzeń rozpraszających energię



Zdj. nr 9 – Montaż bariery typu RB750 (obszar OS9_P2)

Roboty żelbetowe – oczepy zwieńczające palisady z pali

W ramach kompleksowej realizacji robót, firma Tergon zrealizowała oczepy żelbetowe zwieńczające palisady z pali wraz z wykonaniem gzymsów i montażem desek gzymsowych przykrywających oraz zabezpieczających elewację murów oporowych w postaci koszy gabionowych. Przedmiotowy zakres robót obejmował wykonanie oczepów zwieńczających o łącznej długości 2 352 mb zabudowując ok. 200 t prefabrykowanej stali zbrojeniowej, ok. 1 970 m³ mieszanki betonowej oraz ok. 990 mb prefabrykowanej deski gzymsowej.



Rys. nr 8 – Typowe przekroje żelbetowych oczepów zwieńczających (konstrukcja KO_K6, OS9_P1).

Architektura oraz estetyka konstrukcji oporowych

Przedmiotowe palisady jako konstrukcje oporowe oprócz głównej swojej funkcji konstrukcyjnej stanowią również element architektoniczny w krajobrazie modernizowanej linii kolejowej. Powyższe w szczególności dotyczy konstrukcji leżących w części zurbanizowanej - samym centrum Nowego Sącza. Konstrukcje oporowe zrealizowane przez Tergon dostosowano do ich obliczania w formie koszy gabionów wypełnionych kamieniem. Tak powstała konstrukcja stanowi niepowtarzalny element architektoniczny, nadając rangi inżynierskim wyzwaniom geotechnicznym.



Zdj. nr 10 – Montaż stelaża do oblicowania konstrukcji oporowej (konstrukcja KO_K2)



Zdj. nr 11 – Montaż deski gzymsowej okrywającej oblicowanie z koszy gabionowych (konstrukcja KO_K4)



Zdj. nr 12 – Widok ukończonej konstrukcji oporowej (konstrukcja KO_K4)

Podsumowanie – wnioski z realizacji

Wykonanie konstrukcji oporowych stanowiących zabezpieczenia planowanych podcięć skarp i terenów zagrożonych osuwiskowo z pewnością należało do projektów bardzo złożonych technologicznie i logistycznie, co w powiązaniu z naciskiem na terminy stanowiło duże wyzwanie realizacyjne. O wyjątkowym charakterze tego zadania decydowały, m. in. skomplikowane warunki gruntowe, w tym wiercenie w tak zwanym fliszu karpackim, zróżnicowanie zastosowanych technologii robót, praca sprzętu ciężkiego w trudno dostępnych oraz zurbanizowanych terenach.

To właśnie różnorodność oraz kompleksowość powierzonych firmie Tergon robót stanowiły o wyjątkowości tej realizacji.