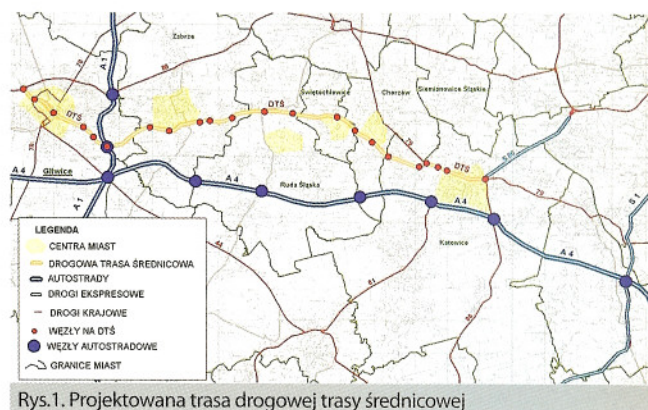


# Wykorzystanie metod geoinżynierii przy realizacji drogowej trasy średnicowej

**W** latach 80. ubiegłego wieku przystąpiono do realizacji tzw. drogowej trasy średnicowej (DTS). W zamyśle ma ona łączyć przeciwległe krańce Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, przebiegając przez środek ogromnej aglomeracji miejskiej. Realizacji inwestycji towarzyszyły przestoje i zmiany w odniesieniu do planowanego pierwotnie przebiegu trasy. Tempo prac wzrosło wyraźnie z początkiem lat 90. Podjęte zostały również prace związane z budową odcinków autostrad A4 i A1. Pomimo tego drogowa trasa średnicowa należy nadal do najważniejszych inwestycji drogowych na terenie Górnego Śląska. W roku 2006, po oddaniu do użytku odcinka od wiaduktu w ciągu ul. Sokolskiej do ul. Rożdzińskiego, realizacja inwestycji przekroczyła półmetek (rys.1).

Trudności realizacyjne wynikały z wielu przyczyn. Zasadnicze związane były z przebiegiem trasy przez sam środek aglomeracji miejskiej oraz trudnymi, a miejscami bardzo trudnymi warunkami gruntowo-wodnymi. Te ostatnie potęgowała bliskość rzeki Rawy oraz obecność nasypów antropogenicznych na znacznej długości trasy, a także wpływy górnicze. Stąd też, pomimo dobrego przygotowania się do prowadzenia inwestycji, Wykonawca napotkał na liczne problemy natury geotechnicznej, których realizacja była możliwa m.in. dzięki wykorzystaniu wielu metod wzmocnienia gruntów słabonośnych. Problemy te związane były m.in. z: obecnością w podłożu gruntów słabych (mało nośnych i silnie odkształcalnych); formowaniem wysokich skarp i głębokich wykopów; czynnymi oddziaływaniami górniczymi; obecnością pustek pogórnich; sąsiedztwem rzeki Rawy, a także gęstą zabudową staromiejską. W dodatku niektóre odcinki drogowej trasy średnicowej realizowane były przy częściowo ograniczonym ruchu komunikacyjnym.

Lata 80. i 90. ubiegłego wieku to okres bardzo intensywnego rozwoju i wdrażania różnorodnych metod wzmocnienia gruntów słabych w naszym kraju. Wieleletni okres realizacji drogowej trasy



Rys.1. Projektowana trasa drogowej trasy średnicowej

średnicowej, a także zmienność sytuacji geotechnicznych sprzyjały wykorzystaniu coraz to nowszych rozwiązań.

Tej też problematyce poświęcony jest ten artykuł. W rozdziale następnym omówiono warunki gruntowo-wodne w podłożu DTS. W kolejnym natomiast zastosowane metody wzmocnienia podłoża pod nawierzchnią DTS modernizowanych dróg i obiektów inżynierskich z nią związanych. Problematykę tą zilustrowano wybranymi przykładami.

## Warunki gruntowo-wodne w podłożu DTS

Drogowa trasa średnicowa na już zrealizowanym odcinku przebiega zarówno przez obszary do niedawna zabudowane jak i wolne od zabudowy. Znajomość przebiegu trasy nie ustrzegła projektantów m.in. przed poważnymi problemami natury geotechnicznej. Jej znaczna część przebiega przez tereny do niedawna silnie zróżnicowane pod względem morfologicznym (m.in. w następstwie działalności ludzkiej) i trudnodostępne o bardzo niekorzystnej charakterystyce hydrogeologicznej. Przesądzała o tym bliskość rzeki Rawy, z wysokim i zmiennym poziomem lu-



stra wody i obecnością gruntów organicznych w podłożu. Tereny te z tego też powodu, a także z faktu usytuowania w tym rejonie licznych zakładów przemysłowych stały się w sposób „naturalny” miejscem składowania różnorodnych odpadów przemysłowych i komunalnych. Przypowierzchniowe nasypy, w całości praktycznie antropogeniczne, charakteryzowały się zmiennym i bardzo urozmaiconym składem (gleba, piaski, gruz ceglany, łupek węglowy, żużel, plastik itp.) oraz zagęszczeniem (od luźnego z lokalnymi pustkami po zagęszczony), a także miąższością i wiekiem. Ilustrują to przykładowo rysunki 2 i 3, na których za [2] przytoczono przekroje geotechniczne podłoża w rejonie ul. Dąbrowskiego i tzw. łącznika północnego.

Charakterystycznym dla tego obszaru były nierówności oraz oczka wodne i doły po wybranym żwirze lub piasku, zasypane odpadami przemysłowymi.

W przeważającym stopniu podłoże trasy budowały jednak czwartorzędowe grunty rodzime (gliny i piaski), w tym także utwory karbońskie, przykryte zwykle cienką warstwą gruntów nasypowych. Zwracała uwagę duża zmienność gruntów tak w rzucie jak i przekrojach pionowych a także obecność pustek powstałych w następstwie płytkiej eksploatacji górniczej. Przykładem może być rejon ul. Bytomskiej, w którym tylko do głębokości 80 m miała miejsce w przeszłości eksploatacja na trzech poziomach [3].

Biorąc pod uwagę silną degradację przypowierzchniową oraz zróżnicowane warunki morfologiczne, hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie obszaru projektowanej trasy należy zgodzić się z tym, że geotechniczne warunki posadowienia inwestycji były lokalnie trudne i bardzo trudne. Z geotechnicznego punktu widzenia przesadzały o tym tzw. grunty słabe, tj. takie, które z uwagi na niedostateczną nośność i odkształcalność uniemożliwiają lub bardzo ograniczają bezpośrednie posadowienia obiektu budowlanego lub inżynierskiego.

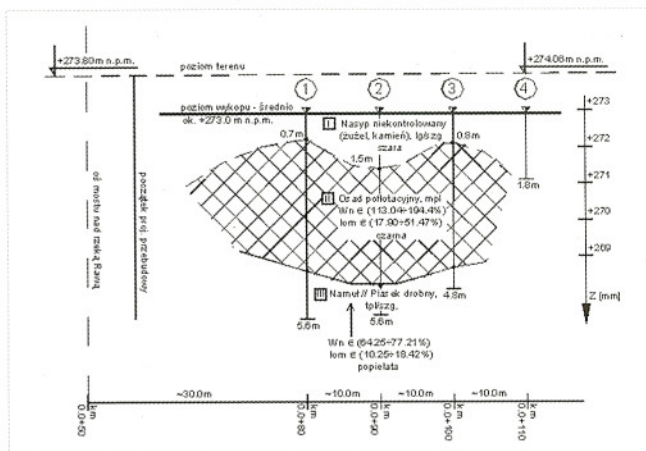
### Przykłady wzmocnienia podłoża DTŚ

Złożone warunki gruntowo-wodne w podłożu projektowanej trasy były projektantom znane. Swoją wiedzę opierali na sporządzonej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej oraz materiałach archiwalnych. Nie oznacza to, że nie występowały sytuacje wymagające dodatkowych badań. Związane były one zasadniczo z obecnością gruntów słabych w podłożu, a wspomniane badania dotyczyły określenia zasięgu ich występowania oraz parametrów geotechnicznych. W większości takich sytuacji konstrukcja projektowanej drogi nie mogła być posadowiona wprost na podłożu rodzimym.

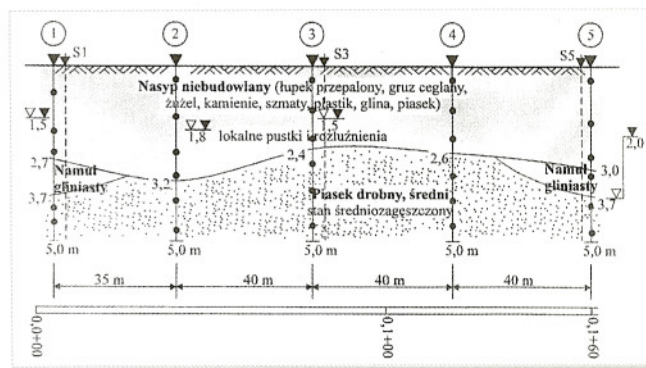
Jeśli już zdefiniowano niekorzystne warunki gruntowo-wodne w podłożu, pojawiał się problem opracowania właściwej dla danej sytuacji koncepcji posadowienia drogi. Otwarta postawa Inwestora i Wykonawcy wobec takie procedury postępowania sprzyjała pozytywnym rozwiązaniom wielu trudnych sytuacji w praktyce. Wybór konkretnej metody wzmocnienia był w każdym przypadku wszechstronnie analizowany. Dodajmy jednak, że na znacznej długości dotychczas zrealizowanego ok. 20-kilometrowego odcinka drogowej trasy średnicowej posadowienie miało miejsce wprost na gruntach rodzimych.

Słabe podłoże gruntowe wzmocniono poprzez zastosowanie następujących metod:

- wymiana gruntów słabonośnych (pełna i częściowa),
- ciężkie ubijanie, wibroflotacja, wibrowymiana, wbijane kolumny kamienne, zagęszczanie powierzchniowe (wibracyjne i statyczne),
- obciążenie wstępne,
- iniekcja strumieniowa,
- gwoździe, kotwy,



Rys. 2. Przekrój geotechniczny w rejonie ul. Dąbrowskiego



Rys. 3. Przekrój geotechniczny w rejonie tzw. łącznika północnego



Fot. 1. Wiadukt nad ul. Szpitalną

- zbrojenie geosyntetykami płaskimi i przestrzennymi oraz łączenie z wykorzystaniem systemów (np. Freyssisol),
- wypełnianie pustek pogórnich.

W pewnych też sytuacjach, dla potrzeb prowadzenia prac ziemnych wykorzystano doraźne odwodnienie oraz ścianki szczelne. Przy budowie niektórych obiektów inżynierskich zastosowano ściany szczelinowe, nowoczesne systemy odwodnienia (np. drenaż francuski) a także posadowienie na palach.

W marę jak prace budowlane nabierały tempa oraz pojawiały się nowe koncepcje wzmocnienia słabego podłoża gruntowego, drogowa trasa średnicowa stawała się de facto miejscem wdrażania różnorodnych metod geoinżynierii do krajowej praktyki budowlanej, stanowiąc tym samym cenne doświadczenie w tym zakresie.

Dla zilustrowania problematyki, której artykuł dotyczy, spośród licznych przypadków wykorzystania różnych metod wzmocnienia gruntów słabych, wybrano dziewięć. Niektóre z nich zostały szerzej opisane w cytowanej przez autora literaturze. Oto one:



### Wiadukt nad ul. Szpitalną w Świętochłowicach

To jedna z pierwszych budowli inżynierskich drogowej trasy średnicowej (rys.4). Przyczółek prawy zrealizowano jeszcze w latach 80., posadawiając go na poduszce z piasku grubego o miąższości 3,0 m i zagęszczeniu  $ID=0,4$ . Przesadziła o tym obecność w warstwie przypowierzchniowej plastycznych glin. Drugi z przyczółków zdecydowano się posadowić także bezpośrednio, lecz bez zakładanej pierwotnie poduszki. Tym razem warunki gruntowe były korzystniejsze, o czym przekonały dodatkowe badania geotechniczne [2].

### Łącznik południowy

Na ponad 100 metrowym odcinku, stosunkowo płytko pod powierzchnią terenu, występowała warstwa torfu. Rozważano: pełną wymianę gruntów słabych, zbrojenie podłoża kolumnami kamiennymi oraz przeponomi z geotekstyli [1]. Ostatecznie wybrano koncepcję trzecią. Wzmocnienie składało się z 3 mat, z których dwie przedzielone 5 cm warstwą piasku, umieszczone zostały pod nawierzchnią, jako przepona górna. Trzecią umieszczono pod warstwą mrozoodporną, jako przeponę dolną. Warto wspomnieć, że ten fragment trasy realizowano w okresie, gdy na rynek krajowy docierały dopiero powszechne dzisiaj wysokiej klasy i różnego rodzaju geosiatki.

### Łącznik północny

Klasykny przekrój dla tego odcinka przedstawia rys.3. Podłoże nasypowe na odcinku ponad 600 m zdecydowano się wzmocnić geosiatkami, ułożonymi w formie materaca grubości 25 cm [2]. Materiałem wypełniającym materac był przepalony lupek kopalniany. Na długości ok.150 m dodatkowo, ze względu na lokalne pustki, jeszcze przed ułożeniem wspomnianego materaca, wykonano powierzchniowe dogęszczanie metodą ciężkiego ubijania, wykorzystując jedno z pierwszych w kraju i największe wówczas urządzenie pod nazwą DYZAG [4].

### Estakada w ciągu DTŚ nad ul. Bracką w Katowicach

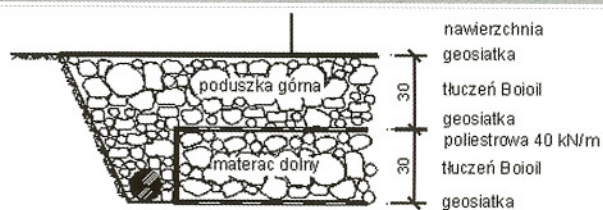
W kilka lat po zrealizowaniu obydwu łączników przystąpiono do budowy estakady nad ulicą Bracką, wyprowadzającej ruch samochodowy w kierunku centrum Katowic. Dojazd od strony Chorzowa wymagał wykonania nasypu o maksymalnej wysokości 6,89 m. Estakadę posadowiono na palach. Nasyp o długości 237 m ma szerokość w koronie od 27 m – 29 m, przy nachyleniu skarp 1:1,5. Warunki gruntowo-wodne w podłożu były złożone i lokalnie bardzo niekorzystne (nasypy niekontrolowane, podścielone soczewkami torfów). Dodatkowymi utrudnieniami były: podziemna infrastruktura (m.in. żelbetowy kanał), zabudowa mieszkalna, rzeka Rawa. Stąd też zdecydowano się na wykorzystanie trzech różnych technologii wzmocnienia strefy przypowierzchniowej podłoża przedmiotowego nasypu: wbijane kolumny kamienne pokryte dodatkowo geosiatką, ciężkie ubijanie z zastosowaniem urządzenia DYZAG, a w pasmach sąsiadujących z wrażliwymi na wstrząsy obiektami zastosowano kolumny kamienne wykonane techniką wibrowymiany [3].

### Podłoże nawierzchni ul. Dąbrowskiego i DTŚ w rejonie ulicy Wolności

To przykłady bardzo trudnych lokalnie warunków gruntowych, nieprecyzyjnie zdefiniowanych w dokumentacji wyjściowej. O słabości podłoża w obydwu w przypadku przesądził niejednorodny pod względem składu i stanu fizycznego materiał odpadowy. W pierwszym przypadku była to warstwa żużla o miąższości co najmniej 15 m i zasięgu występowania ok. 100 m, w drugim odpad poflotacyjny z pobliskiej huty (rys.2). Wspomniane odpa-



Fot. 2. Wiadukt nad ul. Bracką (w środku) z widocznymi łącznikami: południowym (po prawej) i północnym (po lewej)



Rys. 4. Wzmocnienie podłoża nawierzchni DTŚ w ul. Dąbrowskiego i w rejonie ul. Wolności w Chorzowie – koncepcja wzmocnienia



Fot. 3., 4. Wzmocnienie podłoża nawierzchni DTŚ w ul. Dąbrowskiego i w rejonie ul. Wolności w Chorzowie – stan obecny



Fot. 5. Chorzów, ul. Raclawicka. Nasyp drogowy z pionowymi skarpami wykonanymi z wykorzystaniem systemu Freyssisol



dy gromadzono przed laty w nierównościach terenowych.

W obydwu też przypadkach rozważano wibroflotację i częścią wymianę a także wzmocnienie geosiatkami, by ostatecznie wybrać podobne rozwiązanie [2]. Koncepcja zaprezentowana na rys.6a, sprowadzała się do wykonania podwójnej poduszki z tłucznia, zbrojonej geosiatkami. Górna z nich pokryta jest geosiatką, dzielącą wzmocnienie od nawierzchni. Na rys.6b pokazano stan obecny ul. Dąbrowskiego (dojazdowa do drogowej trasy średnicowej) i fragmentu drogowej trasy średnicowej w sąsiedztwie ul. Wolności.

**Rejon ul. Bytomskiej**

Pozostałości po płytkiej eksploatacji górniczej stwarzały bardzo poważne zagrożenie dla stateczności podpór obiektu inżynierskiego (rys.7a) a także budowanego w sąsiedztwie obiektu administracyjno – socjalnego (rys.7b). Obydwa obiekty posadowiono bezpośrednio. Jednakże drugi, ze względu na pozostałości po płytkiej eksploatacji górniczej, po uprzednim wzmocnieniu polegającym na wypełnieniu pustek zaczynem popiołowo-wodnym z dodatkiem cementu, wtłaczanym przez wywiercone otwory kontrolne. Warto wspomnieć, że pustek tych nie wykryto klasycznymi wierceniami. Uczyniono to badaniami elektrooporowymi, po zasygnalizowanych lokalnych zapadliskach już podczas prac przygotowawczych. Do pięciu otworów o głębokości do ok. 70 m wtłoczono łącznie ok. 7000 m<sup>3</sup> zaczynu [3].

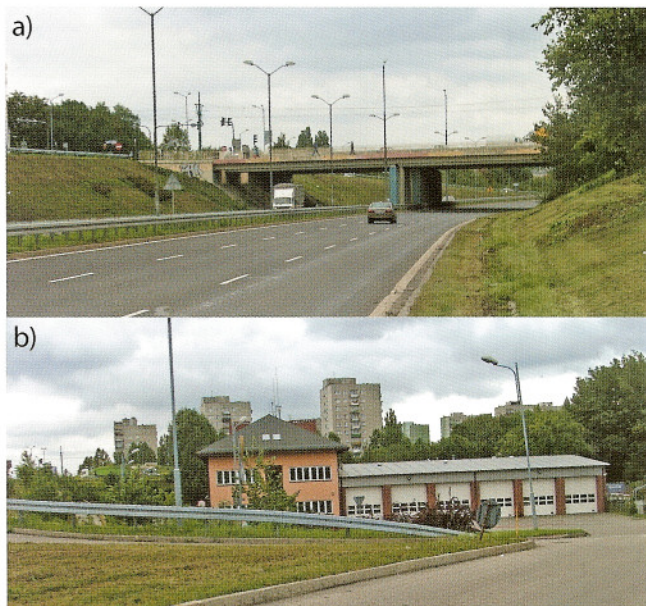
**Stabilizacja stromych skarp DTŚ i dróg dojazdowych**

Na wysokości ul. Cichej, w sąsiedztwie obiektów sportowych K.S. Ruch w Chorzowie trasa drogowej trasy średnicowej przebiegała w wykopie o wysokości skarp do 6,0 m. Przy nachyleniu skarpy 1:1 istniejące warunki hydrogeologiczne stwarzały możliwość lokalnych osuwisk, nie mówiąc już o powierzchniowej erozji skarp. Po szczegółowym przeanalizowaniu zagadnienia, zdecydowano się na wglębne zabezpieczenie skarp za pomocą gwoździowania. Elementem wzmocnienia były również geosiatki, rozłożone powierzchniowo i połączone z wcześniej wykonanymi w trzech poziomach gwoździami [2].

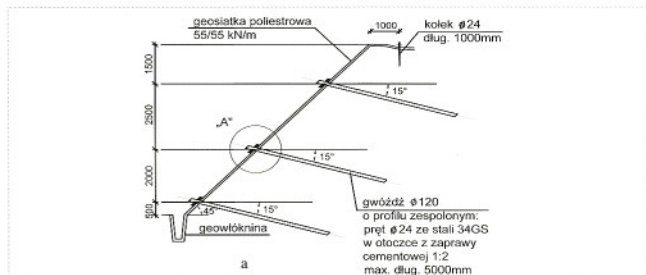
Z innych sposobów zabezpieczenia stateczności skarp nasypów bądź wykopów wykorzystanych przy realizacji drogowej trasy średnicowej można wymienić: siatki zabezpieczające strome skarpy zbudowane z utworów triasowych, klasyczne murki oporowe a także wykorzystane w kilku miejscach systemy zbrojenio-we pod nazwa Freyssisol. Na rys. 9 autor przedstawił pierwsze z tych rozwiązań, wykonane dla zabezpieczenia skarpy nasypu ul. Raclawickiej. Pionowe nachylenie skarp nasypu drogowego, budowanego z myślą o przejściu nad DTŚ, wynikało z potrzeby zachowania ulicy dojazdowej do budynków mieszkalnych.

**Podsumowanie**

Obiekty liniowe wymagają dobrego posadowienia. Ograniczone możliwości kształtowania przebiegu trasy to istotny powód uniknięcia wielu trudnych sytuacji geotechnicznych, w których to posadowienie nabiera szczególnego znaczenia. Dużą szansę dla projektanta stanowią wówczas różnorodne metody ulepszenia podłoża gruntowego. Metody te na dobre weszły do krajowej praktyki budowlanej, jakkolwiek okres, w którym funkcjonują jest stosunkowo krótki. Przedstawiona inwestycja jest pod tym względem dobrym przykładem, gdyż można na niej prześledzić zarówno różnorodność wykorzystanych metod, ich możliwości a także rozwój dziedziny, z którą są utożsamiane tj. geoinżynierii. Na koniec warto dodać, że przyjęte do realizacji rozwiązania spełniły oczekiwania zarówno projektantów i wykonawcy inwestycji. ■



Fot. 6. Wiadukt nad DTŚ w ciągu ul. Bytomskiej (a) i budynek administracyjno-socjalny (b)



Rys. 5. Skarpy wykopu DTŚ w sąsiedztwie ul. Cichej – projekt wzmocnienia



Fot. 7. Skarpy wykopu DTŚ w sąsiedztwie ul. Cichej: a) realizacja projektu; b) stan obecny

**LITERATURA**

[1] Gryczmański M., Sękowski J. (1995): Wzmocnienie nawierzchni Drogowej Trasy Średnicowej nad soczewką torfów. Konferencja Naukowo-Techniczna „AWARIE BUDOWLANE”, Szczecin - Międzyzdroje, t.2, ss. 475-482.  
 [2] Gryczmański M., Sękowski J. (2003): Doświadczenia w budowie dróg na słabych podłożach gruntowych na przykładzie drogowej trasy średnicowej. XLVI Techniczne Dni Drogowe. Szczyrk, Materiały konferencyjne, ss. 67-77.  
 [3] Sękowski J., Józwiak I. (2001): Niespodziewana awaria podłoża gruntowego podczas wznoszenia fundamentów obiektu, wywołana płytką eksploatacją górniczą. XX Konferencja Naukowo-Techniczna. Awary Budowlane. Szczecin-Międzyzdroje, t.2. ss. 531-538.  
 [4] Sękowski J., Sternik K. (1998): Wzmocnienie podłoża drogowego metodą konsolidacji dynamicznej. Drogownictwo, 1, ss. 28-29.

Dr hab. inż. Jerzy Sękowski, prof. PŚ  
 Katedra Geotechniki, Politechnika Śląska, Gliwice