

**Stanisław Stryczek\*, Andrzej Gonet\*, Rafał Wiśniowski\***

## **KIERUNKI ROZWOJU METOD GEOINŻYNIERYJNYCH\*\***

### **1. WSTĘP**

Deficyt terenów przydatnych pod względem geomechanicznym do realizacji obiektów budowlano-inżynierskich, przy równocześnie wysokich kosztach wykonywania prac związanych z polepszeniem właściwości fizykomechanicznych gruntów, stał się bodźcem do poszukiwań stosunkowo tanich, a przy tym skutecznych metod geoinżynierskich, pozwalających na osiągnięcie założonego celu.

Jedną z możliwych metod geoinżynierskich umożliwiających polepszenie właściwości fizykomechanicznych podłoża pod obiektami budowlano-inżynierskimi jest [1, 2, 3, 4, 6, 9, 13]:

- dynamiczne zagęszczenie ośrodka gruntowego,
- wymiana gruntu,
- zbrojenie ośrodka gruntowego i masywu skalnego,
- prekonsolidacja ośrodka gruntowego,
- uszczelnianie i wzmacnianie gruntu i skał,
- stabilizacja i izolacja ośrodka gruntowego i masywu skalnego.

Na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie od wielu lat prowadzona jest działalność naukowo-badawcza, jak i dydaktyczna, zmierzająca do propagowania i kreowania nowych rozwiązań w zakresie upowszechniania aplikacji technik i technologii oraz geoinżynierskich, związanych z modyfikacją właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał oraz z technologiami bezwykopowymi.

Dobór metod, środków technicznych oraz technologii w zakresie prac geoinżynierskich wynika z istniejących warunków górniczo-technicznych, które zdeterminowane są przez [8, 9]:

- czynniki geologiczno-hydrogeologiczne,
- właściwości mechaniczne oraz fizykochemiczne gruntów i skał w rejonie prowadzonych prac.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Pracę zrealizowano w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale WNiG w ramach badań własnych

## 2. PROFILOWANIE OŚRODKA GRUNTOWEGO I MASYWU SKALNEGO

Właściwe rozpoznanie podłoża gruntowego oraz znajomość jego fizycznych cech pozwala w praktyce uniknąć błędów, począwszy od etapu projektowania, a na stadium wykonawstwa kończąc. Ocena przydatności gruntu dla potrzeb geoinżynierskich wymaga opracowania opinii geomechanicznej (geotechnicznej). W zależności od znaczenia i wielkości inwestycji oraz od etapu projektowania opinie geomechaniczne mogą mieć różny zakres i formę.

Mogą to być [1, 7, 11, 12]:

- wstępne dane o warunkach gruntowo-wodnych,
- dokumentacje geologiczno inżynierskie,
- dokumentacje z technicznych badań podłoża,
- ekspertyzy.

Opracowania te rozwiązują problemy geomechaniczne i stanowią wytyczne do podejmowania decyzji o lokalizacji, sposobie wykonania, rodzaju konstrukcji, uzbrojeniu terenu, wpływie inwestycji na środowisko itp. Stanowią one integralną część projektów, wyprzedzając i sterując etapami projektowania. W studium przedprojektowym, bo za takie należy uznać opracowanie geomechaniczne, główny nacisk kładzie się na budowę geologiczną, opisaną na podstawie materiałów archiwalnych, wizji lokalnych, kartowania geologicznego czy wierceń badawczych. W projektach technicznych wymagane jest określenie cech fizycznych i mechanicznych gruntów uzyskiwanych za pomocą badań polowych i laboratoryjnych oraz prognoza minimalnych łuków dopuszczalnych dla danej sieci instalacyjnej.

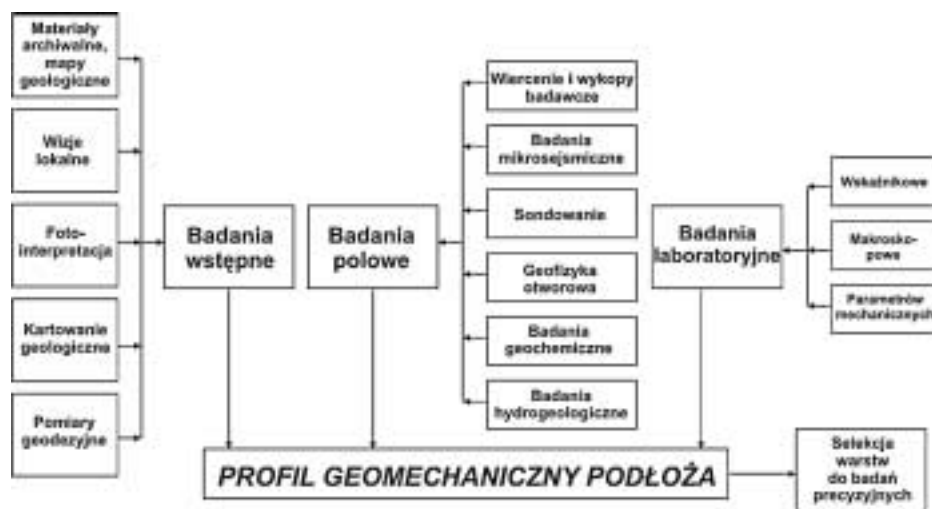
Umownie przyjmuje się następujący podział badań (rys. 1) [1, 9]:

- badania wstępne:
  - wykorzystanie map geologicznych i materiałów archiwalnych,
  - wizje lokalne,
  - fotointerpretacje,
  - kartowanie geologiczne,
  - pomiary geodezyjne itp.;
- badania polowe:
  - podstawowe (wiercenia i wykopy badawcze),
  - uzupełniające (sondowania);
- badania laboratoryjne.

W ostatnim dwudziestolecu dokonał się na świecie zasadniczy zwrot w metodyce profilowania podłoża, zmierzający ku zwiększeniu precyzji, z równoczesną redukcją czasu i kosztów badań. Podstawą stały się sondowania statyczne, zwłaszcza badania CPTU, uzupełniane badaniami dylatometrem Marchettiego. Po obróbce statystycznej wyników, stosując odpowiednie klasyfikacje i wzory korelacyjne, uzyskuje się precyzyjne wydzielenie warstw i dobre oszacowania stanów gruntów oraz ich parametrów mechanicznych.

Biorąc pod uwagę procedury analityczne prognozowania parametrów geomechanicznych podłoża, w pracach geoinżynierskich można wydzielić dwa podejścia, tzn [1, 7]:

- fenomenologiczne,
- deterministyczne (dominujące w chwili obecnej).



Rys. 1. Badania ośrodka gruntowego i masywu skalnego w aspekcie sporządzania dokumentacji geomechanicznej

Istotą nurtu deterministycznego są makroskopowe właściwości mechaniczne gruntów i ich opis (związki konstytutywne) w ramach teorii ośrodków ciągłych (sprężystości, plastyczności itd.).

Ostatnim elementem procedury analitycznej jest rozwiązywanie zagadnień brzegowych stosowanych teorii (np. mikrostrukturalnych, sprzężonych) z wykorzystaniem metod numerycznych.

W geomechanice z metod numerycznych najczęściej stosowane są [1, 7]:

- przyrostowo-iteracyjne procedury MES i MEB,
- uproszczone (np. ścieżki naprężeń efektywnych),
- specjalne (charakterystyki elementów kinematycznych).

Na podstawie właściwości fizykochemicznych podłoża gruntowego dokonuje się wyboru rodzaju metody, zakresu oraz technologii prac geoinżynierskich i wzmacniania, jak również parametrów technologicznych zaczynów uszczelniających.

Przy doborze metod geoinżynierskich konieczne jest również uwzględnienie kryterium ekonomicznego. Analiza ekonomiczna powinna być dokonana na podstawie oceny możliwości realizacji prac i jej opłacalności w różnych przypadkach górniczo-geologicznych. Wynikiem przeprowadzonej analizy jest wybór optymalnego rozwiązania technologicznego dla konkretnych warunków górotworu.

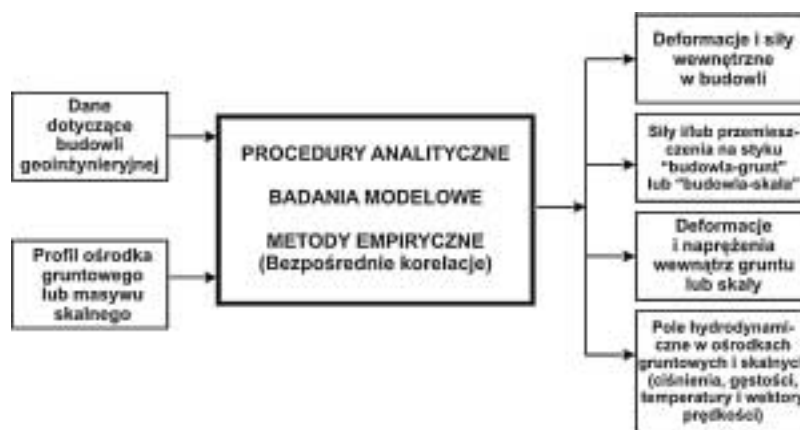
### 3. METODY GEOINŻNIERYJNE MODYFIKUJĄCE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOMECHANICZNE GRUNTÓW I SKAŁ

Dotychczas nie istnieje powszechnie uznana ogólna klasyfikacja skał górotworu, uwzględniająca równocześnie kryteria geologiczne, hydrogeologiczne, górnicze i budowlane.

W wymienionych dziedzinach działalności inżynierskiej wykorzystuje się różne metodyki pozwalające jednoznacznie zdefiniować właściwości masywu skalnego ośrodka gruntowego. Analizowane czynniki służą do określania przyczyn i rozmiarów zagrożeń naturalnych oraz zakresu koniecznych prac związanych z izolacją, stabilizacją, wzmocnieniem i uszczelnianiem skał górotworu.

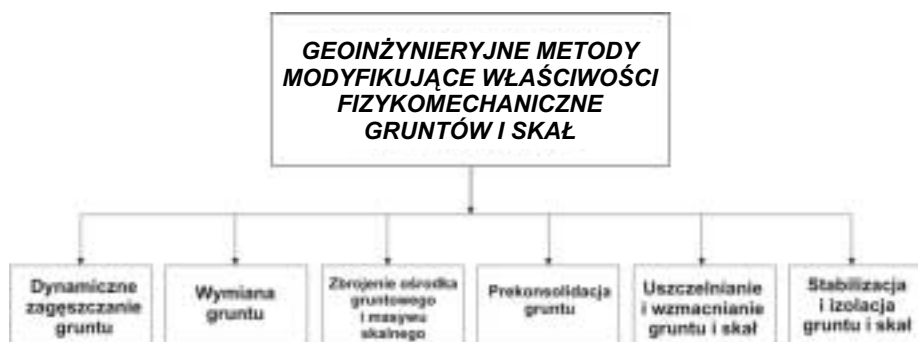
Oprócz wykonywanej analizy czynników natury geologicznej należy również przy projektowaniu prac uszczelniających uwzględnić (rys. 2) [1, 6]:

- procesy zachodzące w skałach górotworu przy wzajemnym oddziaływaniu obiektu inżynierskiego i górotworu,
- prognozy geologiczno-inżynierskie pod kątem możliwości wystąpienia zarówno ilościowego i jakościowego (modele statyczne i dynamiczne) oddziaływania procesów natury geologicznej na realizowany, a następnie eksploatowany obiekt inżynierski.



Rys. 2. Procedura prognozowania wielkości projektowych w geoinżynierii [1]

W działalności inżynierskiej bardzo często prace geoinżynierskie zmierzają do modyfikacji właściwości fizykomechaniczne gruntów i skał (rys. 3) [1, 8, 9].

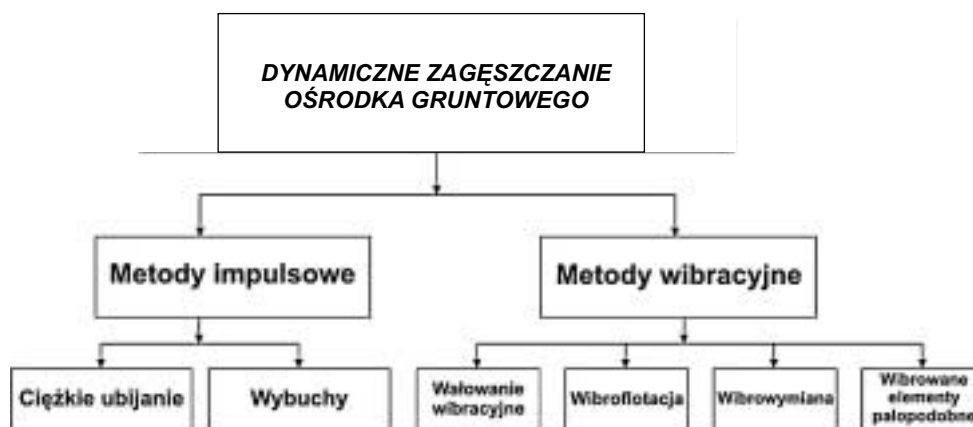


Rys. 3. Podział geoinżynierskich metod zmian właściwości fizykomechanicznych gruntów i skał [1, 8, 9]

Wyróżnia się niżej wymienione prace geoinżynierskie.

**Dynamiczne zagęszczenie** (rys. 4) – istotą tej metody jest zmniejszenie porowatości gruntu wskutek wibracji (metody wałowania wibracyjnego i wibroflotacji) lub impulsów (metody ciężkiego ubijania i wybuchów):

- ciężkie ubijanie (konsolidacja dynamiczna) – zagęszczenie jest następstwem uderzeń ubijaka w powierzchnię podłoża; zapoczątkowana w latach 60. XX w. przez Menarda metoda znalazła powszechne zastosowanie dzięki prostocie, niskim kosztom, skuteczności i zakresowi przydatności (od żwirów po pyły i gliny); jest szczególnie odpowiednia do wzmacniania nasypów antropogenicznych, mniej efektywna w wypadku łąw i gruntów organicznych;
- wybuchy – wśród kilku opcji najbardziej interesujące jest zagęszczenie wybuchami liniowych ładunków w otworach wiertniczych; stosuje się je z powodzeniem do wzmacniania gruntów niespoistych, nasypów antropogenicznych, lessów; w gruntach spoistych są używane do formowania słupów kamiennych; w przeciwieństwie do ciężkiego ubijania miąższość strefy wzmacnianej nie stanowi tu problemu.



Rys. 4. Klasyfikacja metod dynamicznego zagęszczenia ośrodka gruntowego [1, 3, 4, 8, 9]

**Wymiana gruntu** (rys. 5) – koncepcja jest bardzo prosta – usunięcie gruntu słabego i zastąpienie go nasypem budowlanym o większej nośności; uwagę zwracają przede wszystkim poduszki żwirowe, słupy i kolumny kamienne:

- poduszki żwirowe – jest to najprostszy sposób wzmocnienia strefy podłoża, przylegającej do fundament; skuteczność poduszek, zwłaszcza zbrojonych, może być znaczna w wypadku łąw i stóp; konieczne jest jednak stworzenie racjonalnych podstaw wymiarowania;
- słupy kamienne – ta koncepcja głębokiej wymiany gruntu jest obecnie jednym z najefektywniejszych sposobów wzmacniania słabych podłoży spoistych, a przede wszystkim organicznych; słupy są formowane z grubego kruszywa, techniką wibrowymiany, wybijania, wybuchów.



Rys. 5. Klasyfikacja metod wymiany oraz wzmocnienia ośrodka gruntowego [1, 2, 3, 4, 8]

**Zbrojenie masywu gruntowego** (rys. 6) – istotą metod tej grupy jest wzmocnienie podłoża wprowadzonymi do gruntu elementami konstrukcyjnymi; zbrojenie to przenosi naprężenia rozciągające i dużą część naprężeń ścinających, zwiększając tym nośność i sztywność podłoża:

- przepony z geosyntetyków – większość geosyntetyków pracuje jako zbrojenie (najlepiej geosiatki); niektóre mają dodatkowe funkcje (geotekstyliami – osłony, separatora i filtru, geomembrany – izolacji); decyduje to o stosowaniu pierwszych np. jako zbrojenia ziemnych ścian oporowych, drugich jako powłok izolujących;
- mikropale i kotwy gruntowe – cechą wspólną jest koncepcja konstrukcyjna – nośny element (pręt, rura) ze stali lub materiału równoważnego, otoczony iniektem z zaczynu cementowego; różnią je szczegóły i przeznaczenie; mikropale nadają się znakomicie do wzmocnienia podłoża obiektów istniejących, stabilizacji osuwisk i formowania palisad wokół wykopów; biorąc za kryterium technologiczne uformowanie mikropali, można wyróżnić pięć kategorii:
  - 1) formowane iniekcyjnie,
  - 2) iniekowane wielodrutowe,
  - 2) stalowe (wbijane, wciskane, wibrowane),
  - 4) z powiększoną buławą,
  - 5) z rdzeniem stalowym.

Mikropale stosuje się wtedy, gdy warstwa przypowierzchniowa podłoża jest zbudowana z gruntów zróżnicowanych litologicznie tak w profilu pionowym jak i poziomym, oraz wtedy, gdy grunty mają zmienny stopień plastyczności lub zagęszczenia.

Kotwy gruntowe są używane jako zbrojenie ziemnych ścian oporowych lub zabezpieczenie skarp.

Kotwy mogą być:

- bierne bez wstępnego naprężania,
- wstępnie naprężane.

Pierwsze są zespolone na całej długości. Kotwy tego typu nazywane są gwoździami gruntowymi lub też śrubami skalnymi. Kotwy bierne – gwoździe nadają ośrodkowi gruntowemu zdolność przenoszenia znacznych sił rozciągających i ścinających. Kotwy wstępnie naprężane, które zaczyn uszczelniający zespała z gruntem tylko na odcinku końcowym nazywanym buławą. Kotwa gruntowa wstępnie naprężana (tzw. kotwa) jest osadzonym w gruncie elementem rozciągającym, przekazującym obciążenia działające na jej głowicę przez odcinek naprężony, do buławy zespolonej ze stabilnym gruntem – poza bryłą odłamu.



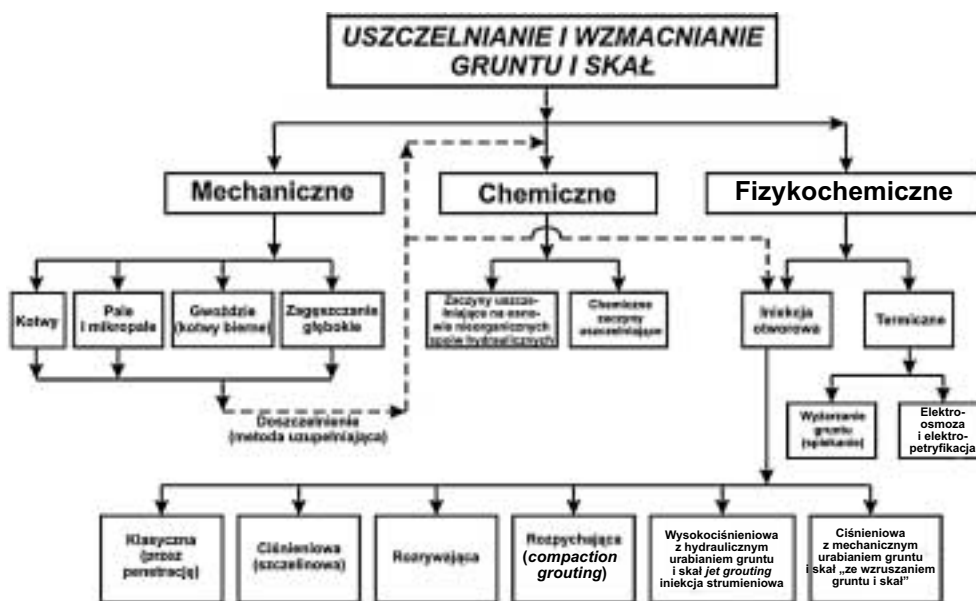
Rys. 6. Klasyfikacja typów zbrojenia ośrodka gruntowego [1, 6, 9, 11, 12]

**Prekonsolidacja** (rys. 7) – wstępna konsolidacja podłoża przed rozpoczęciem budowy obiektu jest powszechnie stosowana na świecie do wzmocnienia słabych podłoży spoistych i organicznych budowli ziemnych, zbiorników na paliwa, rzadziej budynków. Może być realizowana przez wstępne obciążenie balastem lub redukcję ciśnienia wody w porach (elektroosmoza, dreny). Racjonalna jest kombinacja obciążenia wstępnego z geodrenami.

**Uszczelnianie i wzmocnianie** (rys. 8) – wybór metody wynika przede wszystkim z rodzaju uszczelnionego ośrodka i jego parametrów fizykomechanicznych. Najczęściej stosowaną metodą jest iniekcja otworowa [9, 10]. Różnorodne warunki geologiczne oraz zróżnicowane własności środowiska skalnego wymagają stosowania różnych metod stabilizacji górotworu. Dobór odpowiedniej metody umożliwia prawidłowe wykorzystanie własności zaczynów uszczelniających, a tym samym zwiększa skuteczność wzmocniania.



Rys. 7. Klasyfikacja metod prekonsolidacji ośrodka gruntowego [1, 9]



Rys. 8. Klasyfikacja metod uszczelniania i wzmocnienia gruntów i skał górotworu

Do metod geoinżynierskich wykorzystujących iniekcję otworową zalicza się (rys. 8) [2, 3, 4, 8, 9] niżej wymienione iniekcje.

- Iniekcja klasyczna (przez penetrację) polega na powolnym wtłaczaniu w luźne grunty różnego rodzaju zacznów uszczelniających, które po określonym czasie wiązania przechodzą z cieczy w ciało stałe i spajają ziarna mineralne gruntów skał z monolit. Iniekcję klasyczną można stosować jedynie w przypadku gruntów o współczynniku filtracji



większym od  $10^{-3}$  m/s (o współczynniku przepuszczalności większym od  $1 \cdot 10^{-11}$  m<sup>2</sup>). Zaczyny wprowadza się w uszczelniony ośrodek przez tzw. rury (przewód) iniekcyjny z perforacją lub rury z otwartym końcem lub przez nieuzbrojony otwór iniekcyjny.

- Iniekcja ciśnieniowa (szczelinowa) najczęściej znajduje zastosowanie przy wzmacnianiu i uszczelnianiu skał szczelinowatych. Zaczyny uszczelniające włacza się przez specjalne uszczelki (nabojnice) iniekcyjne założone do otworów odwierconych w skale. Skuteczność zabiegów iniekcyjnych, wykonywanych w celu wzmacniania i uszczelniania spękanych i szczelinowatych skał, zależy w dużej mierze od prawidłowego zaprojektowania parametrów procesu iniekcyjnego.

Ciśnienie, pod jakim włacza się zaczyny uszczelniające w masyw skalny, jest funkcją trzech wielkości:

- 1) wymiaru szczelin lub przestrzeni międzyziarnowych,
- 2) możliwego lub koniecznego zasięgu uszczelnianej strefy uszczelnień w funkcji odległości od otworu tłoczego,
- 3) lepkości i gęstości zaczynu uszczelniającego.

- Iniekcja rozrywająca (*soilfrac*) [4, 6] – jest najczęściej stosowana w momencie występowania problemów geomechanicznych w specjalistycznym budownictwie podziemnym. Wszędzie tam, gdzie klasyczna iniekcja służąca do przygotowania podłoża pod posadowienie nowych obiektów lub naprawy posadowienia obiektów istniejących nie może być zastosowana, lub gdzie niezbędne jest dokonanie korekty położenia obiektu budowlanych w pionie, iniekcja typu *soilfrac* [4] daje nowe możliwości zastosowań. W tej technologii zostają wytworzone w gruncie ścieżki iniekcyjne (*fracs*) w które pompowany jest twardniejący zaczyn uszczelniający na osnowie cementu. W połączeniu ze specjalnie do tego celu rozwiniętą techniką pomiarów oraz kontroli możliwe jest unoszenie naprawianych obiektów o dziesiątki centymetrów.

Prace według tej metody obejmują trzy fazy [2, 4, 6]:

- 1) „wbudowanie” rur iniekcyjnych,
- 2) „rozerwanie” podłoża gruntowego,
- 3) iniekcja wielokrotna.

- Iniekcja rozpychająca (*compaction grouting*) [2, 4, 6] polega na właczaniu w podłoże gruntowe stabilnego materiału wypełniającego, który doprowadza do zagęszczenia gruntów niespoistych lub wzmocnienia gruntów spoistych i organicznych. Wprowadzanie wypełniacza w podłoże odbywa się pod ciśnieniem do ok. 4 MPa w czasie podciągania przewodu wiertniczego. Zasadnicze znaczenie dla przebiegu i skuteczności tego typu iniekcji ma umiejętność właściwego doboru wszystkich parametrów procesu, w tym szczególnie składu, ilości i sposobu właczania zaczynu uszczelniającego. Ponadto konieczne są wnikliwe obserwacje przemieszczeń obiektu i podłoża oraz interaktywne projektowanie. Iniekcja rozpychająca może być wykonana w różnych rodzajach gruntu i dla różnych celów.

Najczęstsze zastosowania obejmują między innymi:

- zagęszczanie luźnych gruntów niespoistych stosując tzw. iniekcję zagęszczającą; w przypadku gruntów sypkich i nieznacznie zapyłonych wprowadzenie w podłoże pod ciśnieniem mineralnych wypełniaczy powoduje zmniejszenie porowatości gruntu a tym samym zwiększenie jego stopnia zagęszczenia;

- wzmocnienie gruntów spoistych; w przypadku gruntów spoistych i pylastych wprowadzany w podłoże pod ciśnieniem wypełniacz powoduje wyciskanie wody z porów gruntu oraz, w przypadku używania zaczynu, dodatkowo stabilizuje podłoże za pomocą siatki „kolumn”.
  - iniekcję w strefę kontaktu budowli z gruntem z wykorzystaniem tzw. iniekcji kontaktowej; iniekcja kontaktowa ma zastosowanie w przypadku występowania pod fundamentami lub płytami strefy rozluźnionego gruntu lub nawet pustek, które wypełnia się stabilnym materiałem wypełniacza w celu poprawienia nośności i zahamowania osiadania. Możliwe jest także, w ograniczonym zakresie, kontrolowane podnoszenie fundamentów.
- Iniekcja wysokociśnieniowa z hydraulicznym urabianiem gruntu i skał *jet grouting (soilcrete)*, tzw. iniekcja strumieniowa – wzmocnianie i uszczelnianie ośrodka gruntowego metodami iniekcji konwencjonalnej, ma ograniczony zakres stosowania. Zakres ten zależy od właściwości hydraulicznych gruntów i skał, a zwłaszcza wielkości i drożności kanalików kapilarnych. Przy niskich współczynnikach przepuszczalności skał, wciąganie zaczynów napotyka na duże trudności i staje się niemożliwe w przypadku skał o współczynniku filtracji poniżej  $10^{-7}$  m/s, użycie zaczynów uszczelniających o lepkości nawet zbliżonej do lepkości wody. Największym osiągnięciem technicznym i technologicznym w opracowaniu sposobu na wzmocnianie i uszczelnianie trudno przepuszczalnego ośrodka jest metoda o nazwie *jet grouting* w literaturze krajowej nazywana obecnie jako ciśnieniowo – strumieniowa lub wysokociśnieniowa z hydraulicznym urabianiem skał [4, 6, 8, 9]. Generalnie metoda *jet grouting* polega na zatłaczaniu pod wysokim ciśnieniem zaczynów uszczelniających przez przewód wiertniczo-iniekcyjny zaopatrzonego w jedną lub więcej dysz, przy równoczesnym, stałym podnoszeniu zestawu do góry. Najistotniejszą zaletą metody *jet grouting* jest możliwość wzmocniania i uszczelniania gruntów i skał praktycznie nieprzepuszczalnych dla wody, a więc utworów ilastych, namulów, silnie zailonych piasków, kurzawek itp. Taki ośrodek gruntowy i masyw skalny może zawierać do 50% żwirów o wymiarach ziarn nie przekraczających 30 mm. Zasięg oddziaływania strumienia zaczynu uszczelniającego na skały jest wprost proporcjonalny do prędkości jego wypływu z dysz iniekcyjnych, a tym samym do wielkości jego energii kinetycznej. W momencie wypływu zaczynu przez dysze iniekcyjne, następuje zamiana energii potencjalnej na kinetyczną. Na podstawie przeprowadzonych prób stwierdzono, że ciśnienie zatłaczania zaczynu uszczelniającego powinno wynosić od 25 do 50 MPa. Wówczas wartość mocy oddziaływującej na ośrodek gruntowy lub masyw skalny może wynosić od 13 do 130 kW. A zatem, ciśnienie tłoczenia zaczynu nie jest przenoszone bezpośrednio do ośrodka, w związku z czym zachodzi pytanie czy celowe jest określanie tej metody mianem iniekcji wysokociśnieniowej? Być może, z punktu widzenia zjawisk fizycznych, należałoby rozważyć, jako wielkość kryterialną, wartość parcia dynamicznego oddziaływania zaczynu na uszczelniony ośrodek.
- Iniekcja ciśnieniowa z mechanicznym urabianiem gruntu i skał, tzw. „ze zruszeniem gruntu i skał”, polega na wprowadzeniu w uszczelniający ośrodek przewodu wiertniczego zaopatrzonego na końcu w ostrze (noże obracające lub kształtkę w postaci obręczy). W czasie wyciągania przewodu wiertniczego z otworu iniekcyjnego nadaje się

mu ruch obrotowy, wskutek czego następuje zruszanie gruntu lub skał przez noże lub obracającą się kształtkę. Jednocześnie przez końcówkę przewodu wiertniczego włącza się pod ciśnieniem zaczyny uszczelniające przeważnie typu chemicznego. Prędkość obrotowa przewodu wiertniczego jest odpowiednio dostosowana do rodzaju ośrodka, warunków geologicznych i wymaganej objętości zatłaczanego zaczynu uszczelniającego dla powstania bryły o zamierzonych rozmiarach. Zestalone grunty (skały) mają kształt walców, których średnica odpowiada średnicy kształtki umocowanej na przewodzie wiertniczym. Otrzymany w wyniku wzmocnienia górotwór ma znacznie wyższe własności mechaniczne niż otaczający go ośrodek.

Każda z tych metod opiera się na nieco odmiennych podstawach teoretycznych oraz różni się sposobem prowadzenia zabiegów iniekcyjnych.

#### 4. TECHNIKI I TECHNOLOGIE BEZWYKOPOWE

Rozwój gospodarczy, jaki przeżywa świat od początku obecnego stulecia, związany jest z ciągłym wzrostem zapotrzebowania na informację, środki energetyczne oraz stymuluje zwiększone wymagania w dziedzinie komunalnej. Potrzeby te determinują konieczność rozbudowy infrastruktury podziemnych rurociągów (gazowych, wodociągowo-kanalizacyjnych, energetycznych, telekomunikacyjnych). Postęp techniczny, a w tym procesy informatyzacji, automatyzacji i miniaturyzacji pozwoliły na opracowanie nowych technologii budowy i rekonstrukcji rurociągów, której stanowią alternatywę dla dotychczasowych tradycyjnych metod (otwartych wykopów). Oferta powyższa stała się bardzo atrakcyjna, wobec wzrostu liczby przepisów prawnych mających na celu stworzenie optymalnych warunków ochrony środowiska naturalnego. Tak powstała grupa metod nazywana jest technologiami bezwykopowymi.

Metody te stosowane są w celu [5, 14, 15]:

- omięcia naturalnych przeszkód terenowych (tereny górzyste, bagienne, zbiorniki wodne);
- zapewnienia ruchu i eliminacji zakłóceń na traktach komunikacyjnych (drogi samochodowe, linie tramwajowe i kolejowe, żeglowne rzeki);
- przeprowadzania podziemnych instalacji rurowych w terenach zurbanizowanych;
- uniknięcia rozkopywania i przekładania istniejącej na drodze wykonywanego rurociągu podziemnej infrastruktury technicznej (podziemne linie energetyczne, telekomunikacyjne, ciepłownicze itp.);
- ochrony przed skutkami wykopowej ingerencji w środowisko naturalne oraz ochrony dóbr materialnych kultury (ochrona parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody, skansenów, zabytkowych placów, zamków itp.);
- drenażu gruntów (melioracje, oczyszczanie zanieczyszczonych toksycznymi płynami gleb, tworzenie ekranów ochronnych dla zbiorników paliw).

Stosując techniki bezwykopowe, w porównaniu z tradycyjnymi metodami układania rurociągów unika się wielu problemów:

- technicznych (konieczność pokonywania wzniesień, przekładanie nurtów rzek, zamykanie dróg dojazdowych);

- formalnoprawnych (pozwolenia i uzgodnienia branżowe);
- ekonomicznych (koszty dzierżawy dużych powierzchni terenu, rekompensaty za utracone zyski centrów handlowo-usługowych);
- ekologicznych (kary za degradację środowiska naturalnego).

Skrócenie czasu wykonania inwestycji z zastosowaniem metod bezodkrywkowych, w porównaniu z tradycyjnymi technologiami, oraz zwiększona trwałość sieci podziemnych (mniej wrażliwych na zmianę warunków atmosferycznych niż sieci napowierzchniowe) przemawia dodatkowo za celowością stosowania technik bezwykopowych.

Spośród technologii bezwykopowych wyróżnia się (rys. 9) [14, 15]:

- metody budowy rurociągów,
- metody inspekcji rurociągów,
- czynności eksploatacyjne przeprowadzane w rurociągach,
- metody renowacji i wymiany rurociągów.



Rys. 9. Technologie bezwykopowe [5, 14, 15]

Analizując technikę i technologię wykonywania otworu w celu instalacji rurociągu, wyróżniać należy następujące metody:

- przeciskowe,
- przewiertowe:
- mikrotunelowe,
- tarczowe,
- górnicze.

## 5. PODSUMOWANIE

Rozwój gospodarczy, jaki przeżywa świat z zwłaszcza związany z budownictwem komunalnym i hydrotechnicznym, determinują między innymi konieczność rozwoju i modernizacji metod geoinżynierskich. Postęp techniczny pozwolił na opracowanie zupełnie nowych technologii stanowiących alternatywę dla dotychczasowych tradycyjnych metod.

W Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu od 1990 roku prowadzone są prace naukowo-badawcze oraz zajęcia dydaktyczne z zakresu geoinżynierii w zakresie:

- wzmocnienia i uszczelniania gruntów i skał metodami iniekcji otworowej,
  - techniki i technologie bezwykopowych zaczynów uszczelniających,
  - doboru receptur i ich parametrów w funkcji realizowanych zadań geoinżynierskich.
- Opracowane metodyki są z powodzeniem wdrażane w praktyce inżynierskiej.

## LITERATURA

- [1] Gryczmański M.: *Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce*. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/94, Warszawa, 1994
- [2] Keller Polska Sp z o.o.: *Specjalistyczne techniki fundamentowania*. Warszawa, 2002 (materiały katalogowe)
- [3] Keller: *Technologie vibro głębokiego wzmocnienia gruntów*. Prospekt 10-02 PL, Warszawa 2002 (materiały katalogowe)
- [4] Keller: *Technologie soilcrete wzmocnienia i uszczelniania gruntów*. Prospekt 673 PL, Warszawa 2002 (materiały katalogowe)
- [5] Kolonko A.: *Klasyfikacja i przegląd bezwykopowych metod budowy rurociągów podziemnych. Część I, nr 1, część II, nr 3*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, Kraków, 2000
- [6] Michalski T., Krzywkowski P.: *Techniki iniekcijnego wzmocnienia podłoża*. Inżynieria i Budownictwo, nr 12, Warszawa, 1997
- [7] Sawicki A., Świdziński W.: *Moduły geotechniczne, moduły sprężystości i charakterystyki zagęszczania gruntów niespoistych*. Inżynieria i Budownictwo, nr 12, Warszawa, 1997
- [8] Stryczek S.: *Metody geoinżynierskie modyfikujące właściwości fizyczno-mechaniczne ośrodka gruntowego oraz masywu skalnego*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, nr 4, Kraków, 1999
- [9] Stryczek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. Studia, Rozprawy, Monografie, nr 71, Kraków, PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią 2000
- [10] Stryczek S.: *Stabilizacja skarp i zboczy metodami geoinżynierskimi*. Prace naukowo-dydaktyczne, z. 10. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Kraków, 2004
- [11] Stryczek S., Gonet A., Zachwieja R.: *Stosowanie geosyntetyków nieprzepuszczalnych w pracach geoinżynierskich*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 21/1, 2004
- [12] Stryczek S., Zachwieja R.: *Metody geoinżynierskie w zbrojeniach ośrodka gruntowego*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 21/1, 2004
- [13] Tajduś A.: *Geoinżynieria – nowe wyzwania*. Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria, z. 3–4,
- [14] Wiśniowski R., Stryczek S., Jurczyszak-Pawlica K.: *Charakterystyka metod bezwykopowej budowy podziemnych iniekcji rurowych*. Prace naukowo-dydaktyczne, z.10, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Krosno, 2004
- [15] Ziaja J., Wiśniowski R.: *Technologie wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 21/1, 2004