

## Wybrane zagadnienia geotechniczne posadowienia urządzeń wiertniczych

### Selected geotechnical issues related to the foundation of drilling rigs

Kazimierz Macnar<sup>1</sup>, Andrzej Gonet<sup>2</sup>, Stanisław Stryczek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Exalo Drilling S.A., <sup>2</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia geotechniczne występujące przy posadowieniu urządzeń wiertniczych do realizacji robót geologicznych objętych m.in. „planem ruchu zakładu wykonującego roboty geologiczne”, w aspekcie projektowania i wykonawstwa ich fundamentów oraz placu manewrowo-składowego wiertni. W konstrukcji urządzenia wiertniczego można wyróżnić co najmniej dwie zasadnicze strefy wymagające często osobnego fundamentowania poszczególnych maszyn: strefę przy otworze wiertniczym, obejmującą podzespoły dźwigowe, maszt i napęd przewodu wiertniczego, oraz strefę tzw. hali maszyn, obejmującą agregaty napędowe wraz z elementami systemu płuczkowego. Fundament pod maszyną przeznaczony jest do montażu na nim konkretnego rodzaju maszyny celem przenoszenia na grunt obciążeń statycznych oraz dynamicznych generowanych w czasie ruchu tej maszyny. W szczególności dokonano przeglądu obowiązujących przepisów prawnych, literatury technicznej oraz norm, a zwłaszcza: API Recommended Practice 51R i 4G, *Working platforms for tracked plant*, normy Eurokod 7 PN-EN 1997-2:2009. Przedstawiono wartości bezpiecznej nośności niektórych gruntów oraz wielkości nacisków generowanych przez obciążenia statyczne i dynamiczne wybranych urządzeń wiertniczych, mogące być przydatne przy wstępnej ocenie lokalizacji urządzenia wiertniczego w terenie oraz doborze powierzchni i rodzaju fundamentów. Opisano typowe przykłady posadowienia urządzeń wiertniczych w różnych warunkach geotechnicznych na fundamentach bezpośrednich przy zastosowaniu elementów prefabrykowanych takich jak żelbetowe płyty drogowe, płyty drewniane i kompozytowe na bazie tworzyw sztucznych HDPE lub pośrednich z zastosowaniem mikropali. Wskazano istotne elementy procesu projektowania geotechnicznego posadowienia urządzeń wiertniczych oraz ich wykonania. Zakres czynności realizowanych przy ustalaniu geotechnicznych warunków posadawiania powinien być według przepisów prawnych uzależniony od zaliczenia obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej, a forma przedstawienia geotechnicznych warunków posadawiania oraz zakres niezbędnych badań powinny być uzależnione od zaliczenia obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej, co dla celów praktycznych zestawiono tabelarycznie w niniejszym artykule. Konstrukcja i wykonanie fundamentów pod urządzenia wiertnicze powinny zapewniać m.in., aby ich drgania własne wystarczająco różniły się od drgań wzbudzonych przez podzespoły urządzenia, a amplitudy drgań były mniejsze od dopuszczalnych oraz aby fundamenty poszczególnych maszyn były odpowiednio zdylatowane od siebie i reszty obiektów (placu wiertni). Przedstawiono wnioski w sprawie bezpiecznego posadowienia urządzeń wiertniczych na podłożach gruntowych, obejmujące m.in. wzmacnianie podłoża, projektowanie samodzielnych, czasowych konstrukcji budowlanych, jakimi są fundamenty pod urządzenia wiertnicze, oraz ich wykonawstwo i ułatwioną likwidację.

Słowa kluczowe: geotechnika, urządzenia wiertnicze, projektowanie geotechniczne, budowa fundamentów.

**ABSTRACT:** This article presents selected geotechnical issues occurring at the foundation of drilling rigs for geological works included in the Operation Plan of a company performing geological works, in the aspect of designing and construction of their foundations and a yard. In the construction of drilling equipment, at least two main zones can be distinguished, often requiring separate foundations for individual machines: the zone near the borehole, including crane components, mast and drill pipe drive, and the so-called machine hall zone, including drive units and elements of mud system. The machine foundation is designed to mount a particular type of machine on it in order to transfer to the ground the static and dynamic loads generated during the movement of the machine. In particular, the current legislation, technical literature and standards were reviewed, especially: API recommended practice 51R and 4G, *Working platforms for tracked plant*, Eurocode 7 PN-EN 1997-2:2009 Standard. The values of safe bearing capacity of some soils and the magnitude of pressures generated by static and dynamic loads of selected drilling equipment were presented, which can be useful for preliminary assessment of the location of drilling equipment in the field and selection of surface and type of foundations. Typical examples of foundation of drilling rigs in various geotechnical conditions on direct foundations with the use of prefabricated elements such as reinforced concrete road slabs, wooden slabs and composite slabs based on HDPE plastic or on indirect ones with the use of micropiles were described. The following essential elements of the process of geotechnical design of the foundation of drilling rigs and their execution were indicated. According to legal regulations, the form of presentation of geotechnical foundation conditions and the scope of necessary tests should

Autor do korespondencji: S. Stryczek, e-mail: [stryczek@agh.edu.pl](mailto:stryczek@agh.edu.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 15.02.2021 r. Zatwierdzono do druku: 30.04.2021 r.

depend on assigning the building structure to a proper geotechnical category, which for practical purposes is tabulated in this article. The design and construction of foundations for drilling rigs should ensure, among other things, that their intrinsic vibrations are sufficiently different from those induced by subassemblies of the rig, that the vibration amplitudes are smaller than permissible, and that the foundations of individual machines are adequately separated from each other and from the rest of the facilities (yard). Conclusions on the safe foundation of drilling rigs on the ground, including, among others, the strengthening of the ground, design of independent building structures such as foundations for drilling rigs and their execution and removal were presented.

Key words: geotechnical engineering, drilling rigs, geotechnical design, construction of foundations.

## Wstęp

Zakres i rodzaj prac wymaganych do posadowienia urządzenia wiertniczego na podłożach gruntowych zależy od jego wielkości i obciążeń przekazywanych na podłoże oraz od parametrów geotechnicznych podłoża w miejscu jego lokalizacji. W świetle przepisów prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.) posadowienie urządzenia wiertniczego związane jest z budową obiektów budowlanych, w tym obiektów tymczasowych, a ich eksploatacja objęta jest tzw. planem ruchu zakładu wykonującego roboty geologiczne, wymagany przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2017 r. poz. 2126). Do istotnych obiektów budowlanych ww. zakładu należy urządzenie wiertnicze oraz fundamenty urządzenia wiertniczego, plac manewrowo-składowy, drogi dojazdowe, linie energetyczne, budynki zaplecza techniczno-magazynowego itp. Ze względu na temat niniejszego artykułu, dotyczący zagadnienia geotechnicznego posadowienia urządzeń wiertniczych, przedmiotem rozważań są obiekty budowlane w postaci urządzeń wiertniczych oraz fundamentów urządzeń wiertniczych, a także place manewrowo-składowe w aspekcie posadowienia urządzenia. W urządzeniu wiertniczym można wyróżnić dwie zasadnicze strefy różniące się rodzajem i wielkością generowanych obciążeń, tj. strefę przy otworze, obejmującą podzespoły dźwigowe, maszt i napęd przewodu wiertniczego (stół, *top drive*), oraz strefę tzw. hali maszyn, obejmującą agregaty napędowe wraz z elementami systemu płuczkowego. Strefy te wymagają często osobnego fundamentowania. W odróżnieniu od fundamentów budynków i budowli, które stanowią ich element składowy, fundamenty pod maszyny są odrębną budowlą, nawet jeżeli znajdują się wewnątrz budynku, np. hali. Fundament pod maszynę przeznaczony jest do montażu na nim konkretnego rodzaju maszyny lub urządzenia celem bezpiecznego przenoszenia na grunt obciążeń statycznych oraz dynamicznych generowanych w czasie ruchu tej maszyny. Ten rodzaj fundamentów został specjalnie wyróżniony w definicji budowli polskiego prawa budowlanego, w którym fundamenty pod maszyny i urządzenia wyszczególniono w ramach listy przykładowych obiektów budowlanych będących budowlą, „jako odrębne pod względem technicznym części przedmiotów składających się na całość użytkową” (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn.

zm., art. 3 pkt 3). Fundamenty pod maszyny i urządzenia wykonuje się jako samodzielne konstrukcje budowlane, oddzielone od pozostałych konstrukcji poprzez np. odpowiednie posadowienie i wykonanie dylatacji, tak aby przenoszone obciążenia, szczególnie obciążenia dynamiczne, nie były przekazywane na sąsiednie obiekty. W dotychczasowej praktyce wiertniczej do fundamentowania urządzeń wiertniczych stosowane były przede wszystkim fundamenty bezpośrednie, np. bloki i łąwy fundamentowe monolityczne, a od lat 70. XX wieku – fundamenty z elementów prefabrykowanych w postaci np. żelbetowych płyt drogowych, płyt drewnianych w obudowie stalowej i kompozytowych płyt z tworzyw sztucznych HDPE oraz płyty fundamentowe monolityczne z żelbetu, jak i fundamenty pośrednie, np. pale. Każdy taki fundament przeznaczony był pod konkretny rodzaj urządzenia wiertniczego, generującego określone obciążenia specyficznego rodzaju i różnej wielkości, oraz dla lokalnych rodzajów podłoża gruntowego.

## Przegląd obowiązujących przepisów prawnych, literatury technicznej oraz norm

Zgodnie z przepisami ustawy o normalizacji (Dz.U. z 1993 r. Nr 55, poz. 251) oraz wykładnią Polskiego Komitetu Normalizacyjnego stosowanie w Polsce norm jest dobrowolne, przy czym powołanie się na normę w przepisie prawnym niższego rzędu, np. w rozporządzeniu ministra, nie zmienia jej dobrowolnego statusu, a zmiana statusu dobrowolności stosowania normy musi być wyraźnie wskazana w postanowieniach innej ustawy. Obowiązek stosowania normy może nałożyć umowa cywilnoprawna zawierana pomiędzy stronami umowy i wiąże on wyłącznie strony umowy, a do rozstrzygnięcia sporów w tym zakresie mają zastosowanie przepisy Kodeksu cywilnego.

Aktualnie obowiązujące przepisy Prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.) w art. 29 ust. 1 pkt 28 wskazują, że pozwolenia na budowę nie wymaga budowa obiektów budowlanych służących bezpośrednio do wykonywania działalności regulowanej ustawą Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2017 r. poz. 2126) w zakresie poszukiwania i rozpoznawania złóż węglowodorów oraz zgodnie z art. 29 ust. 2 pkt 15 Prawa budowlanego – wykonywanie

robót budowlanych polegających m.in. na instalowaniu urządzeń na obiektach budowlanych. Do ww. budowy obiektów budowlanych i wykonywania robót budowlanych wystarczające jest według art. 30 ust. 1 pkt 1 Prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.) dokonanie zgłoszenia budowy (wykonania robót budowlanych) właściwemu organowi administracji państwowej, tj. dyrektorowi okręgowego urzędu górniczego. Ze względu na tymczasowość obiektów potrzebnych do posadowienia urządzeń wiertniczych takich jak fundament i plac manewrowo-składowy, mogą one być projektowane i przedstawiane jako załącznik do zgłoszenia właściwemu organowi administracji państwowej w sposób uproszczony jako szkice i schematy, bez obowiązku wykonania i dołączania formalnego projektu budowlanego. Procedura ta znacznie przyspiesza i ułatwia formalności związane z rozpoczęciem budowy obiektów urządzenia wiertniczego.

Do rozwiązywania zagadnień geotechnicznego posadowienia urządzeń wiertniczych mogą być pomocne zalecane praktyki i normy: API/51R, API/4G, BRE 470/2004, PN-EN 1997-1:2008/Eurokod 7, PN-EN 1997-2:2009/Eurokod 7, PN-B-03040:1980/PN-EN 1997-1:2008, PN-B-02482:1983/PN-EN 1997-1:2008, PN-EN 13369:2018-05.

**API Recommended Practice 51R. *Environmental Protection for Onshore Oil and Gas Production Operations and Leases*** (API/51R) dotyczy zalecanych praktyk ochrony środowiska przyrodniczego podczas wiercenia lub budowy lądowych instalacji wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego. Wskazuje ona, że poza pozwoleniami na wiercenia i pozwoleniami na budowę dodatkowe pozwolenia mogą być wymagane m.in. ze względu na emisje zanieczyszczeń do powietrza, zrzuty do wód powierzchniowych lub systemów kanalizacyjnych, działania zatłaczające, zrzuty wód opadowych (w tym podczas prac budowlanych), wpływ na zagrożone gatunki lub ich krytyczne siedliska, wpływ na tereny podmokłe i inne oddziaływania na środowisko przyrodnicze lub wpływ na inne zasoby środowiskowe i kulturowe (np. na architekturę, komunikację, fermy, uprawy roślin). Według zalecanych praktyk przedsiębiorcy powinni m.in. zapewnić uzyskanie wszystkich niezbędnych pozwoleń przed rozpoczęciem działalności i zapewnić, że działania prowadzone są zgodnie z lokalnymi, stanowymi lub federalnymi wymogami prawnymi, a po zakończeniu działalności wszystkie obiekty będą zlikwidowane, a grunty zrehabilitowane.

API Recommended Practice 4G. ***Recommended Practice for Maintenance and Use of Drilling and Well Servicing Structures*** (API/4G) wskazuje zalecane praktyki kotwienia masztów urządzenia wiertniczego, którego maszt podlega zakotwiczeniu do gruntu za pomocą odpowiedniego olinowania, przy czym praktyki te są uzupełnieniem instrukcji i zaleceń producentów urządzeń wiertniczych, ale nie ich substytutem.

Dodatkowo norma podaje wartości bezpiecznej nośności niektórych gruntów.

Ze względu na brak wytycznych branżowych w zakresie posadowienia urządzenia wiertniczego na podłożach gruntowych – celowe wydaje się odniesienie do uregulowań pokrewnych, np. *Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms* (BRE Report 470/2004). W polskiej praktyce budowlanej platformy robocze są często wykorzystywane na placach budowy pod lokalizację różnego rodzaju sprzętu budowlanego, jak: dźwigi, palownice, koparki itp. (Duszyńska i Białek, 2013).

Elementy prefabrykowane żelbetowe używane jako nawierzchnia platform roboczych (BRE Report 470/2004), placów manewrowo-składowych lub fundamentów urządzenia wiertniczego powinny spełniać wymogi normy PN-EN 13369:2018-05.

Parametry materiału wykorzystywanego do wykonania platformy roboczej decydują o jej jakości i powinny być określone na potrzeby projektowania przed ich wykorzystaniem. Ponadto określone powinny być właściwości chemiczne stosowanych materiałów (szczególnie odpadowych lub pochodzących z recyklingu innych materiałów) pod kątem ich ewentualnego szkodliwego oddziaływania na ludzi, materiały budowlane i wody gruntowe.

**Norma** PN-EN 1997-2:2009/Eurokod 7 jest przewidziana do stosowania wraz z normą PN-EN 1997-1:2008/Eurokod 7 i zawiera zasady ją uzupełniające, dotyczące: planowania i dokumentowania badań podłoża, wymaganej liczby stosowanych typowych badań laboratoryjnych i polowych, interpretacji i oceny wyników badań oraz wyprowadzania wartości parametrów geotechnicznych. Dodatkowo w normie tej podano przykłady zastosowania wyników badań polowych do projektowania.

Przedmiotem normy PN-B-03040:1980/PN-EN 1997-1:2008 są wymagania dotyczące obliczania i projektowania fundamentów i konstrukcji wsporczych pod maszyny. Normę można stosować m.in. przy projektowaniu posadowionych bezpośrednio lub pośrednio fundamentów pod maszyny, stropów i wolnostojących pomostów obciążonych maszynami oraz wibroizolacji maszyn i ich fundamentów. Norma nie obejmuje wymagań dotyczących obliczania i projektowania budynków na obciążenia dynamiczne przekazywane na nie bezpośrednio lub przez podłoże gruntowe. Norma podaje ustalenia w zakresie potrzebnym do określenia sztywności podłoża oraz wielkości obciążeń dynamicznych, które można przyjmować do obliczeń, jeżeli brak jest ściślejszych danych charakteryzujących maszynę. Norma zakłada, że fundament lub konstrukcja wsporcza są projektowane na stany eksploatacyjne maszyn w zakresie stanu granicznego użytkowania oraz na stany przedremontowe (awaryjne) w zakresie stanu granicznego nośności gruntu.

**Tabela 1.** Bezpieczna nośność wybranych gruntów (Avallone et al., 2007)

**Table 1.** Safe bearing of soils (Avallone et al., 2007)

Charakter gruntu	Bezpieczna nośność [kPa]
Jednolita skała twarda, np. granit, skała magmowa wylewna	2400–9560
Bardzo twardy łupek i inne skały wymagające robót strzałowych do ich usunięcia	960–1430
Twardy łupek, zbite piaski i żwiry; trudne do usunięcia przez wybieranie	760–960
Skała miękka, pokład rozdrobniony; w pokładzie naturalnym trudne do usunięcia przez kopanie ręczne	480–960
Zbite piaski i żwiry, wymagające kopania kilofem celem usunięcia	380–580
Twardy il, wymagający kopania kilofem celem usunięcia	380–480
Żwir, piaski gruboziarniste w naturalnie grubych warstwach	380–480
Luźne piaski średnio- i gruboziarniste, piaski drobnoziarniste zbite	150–380
Il średni (szytwny), możliwe wybieranie za pomocą łopaty	200–380
Luźne piaski drobnoziarniste	100–200

Zawartość merytoryczna normy **PN-B-02482:1983/ PN-EN 1997-1:2008** może być pomocna w rozważaniach na temat projektowania fundamentów pośrednich pod posadowienie urządzenia wiertniczego w skomplikowanych warunkach gruntowych.

Z danych literaturowych przydatnych do wykorzystania w określeniu możliwości posadowienia urządzeń wiertniczych na różnych rodzajach gruntu na uwagę zasługuje opracowanie Avallone’a et al. (2007), w którym określono wartości bezpiecznej nośności niektórych gruntów – zestawienie przedstawiono w tabeli 1.

**Przykłady realizacji posadowienia urządzeń wiertniczych w różnych warunkach geotechnicznych i przy zastosowaniu różnych fundamentów posadowionych bezpośrednio lub pośrednio**

Posadowienie bezpośrednio fundamentów urządzenia wiertniczego jest powszechnie stosowaną praktyką, przy czym konstrukcja takich fundamentów oparta jest najczęściej na elementach prefabrykowanych w postaci różnego rodzaju płyt drewnianych, żelbetowych czy też kompozytów na bazie tworzyw sztucznych lub na monolitycznej płycie żelbetowej.

W przypadku **posadowienia „lekkich” urządzeń wiertniczych o udźwigu do 1000 kN**, których okres pracy w danej lokalizacji jest krótki i wynosi od kilku do kilkunastu tygodni, praktycznie stosowane jest posadowienie urządzenia na konstrukcji wykonanej najczęściej z pojedynczej warstwy żelbetowych płyt drogowych położonych na podsypce piaskowej po zdjęciu warstwy glebowej. W przypadku lokalizacji urządzenia wiertniczego na słabonośnym podłożu, np. torfowisku, stosowane jest wyjątkowo pozostawienie wierzchniej

warstwy gleby z kożuchem roślinnym celem dodatkowej stabilizacji podłoża gruntowego.

W przypadku **posadowienia urządzeń wiertniczych o udźwigu ponad 1000 kN** wykorzystywane są fundamenty wykonane z kilku warstw płyt jednorodnych lub różnorodnych materiałowo i wymiarowo, ułożonych w sposób zapewniający osiągnięcie maksymalnej sztywności fundamentu. Przykłady fundamentów z żelbetowych płyt drogowych przedstawiono na rysunku 1, natomiast z płyt drewnianych – na rysunku 2. Płyty kompozytowe na bazie tworzyw sztucznych HDPE,

zabudowane jako fundament wraz z placem manewrowo-składowym, przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 1.** Przykład wykonania fundamentu i placu wiertni z żelbetowych płyt drogowych z zastosowaniem geosyntetyków do wzmocnienia i uszczelnienia fundamentu przed migracją substancji ropopochodnych do gruntu (zdjęcie: K. Macnar)

**Fig. 1.** An example of constructing the foundation and yard for a drilling rig from reinforced concrete road slabs using geosynthetics to reinforce and seal the foundation against migration of petroleum substances into the soil (Foto: K. Macnar)



**Rys. 2.** Przykład fundamentów pod wiertnię wykonanych z płyt drewnianych z zastosowaniem geosyntetyków w celu uszczelnienia przed migracją substancji ropopochodnych do gruntu (zdjęcie: K. Macnar)

**Fig. 2.** An example of foundations for a drilling rig made of wood panels using geosynthetics to seal against migration of petroleum substances into the ground (Foto: K. Macnar)



**Rys. 3.** Przykład fundamentu i placu wiertni wykonanego z płyt kompozytowych HDPE (zdjęcie: K. Macnar)

**Fig. 3.** An example of the foundation and yard for drilling rig made of HDPE composite panels (Foto: K. Macnar)

Do wykonania warstwy podbudowy pod fundamenty z elementów prefabrykowanych wykorzystywane są materiały ziarniste w postaci np.: kruszyw naturalnych, materiałów uzyskanych z recyklingu materiałów budowlanych, materiałów z odzysku, gruntu rodzimego lub dowiezionego. Z kolei w przypadku obniżonej nośności podłoża stosowane jest w niektórych przypadkach jego wzmocnienie poprzez stabilizację spoiwami. Materiały używane do wykonania fundamentów i ich podbudowy winny spełniać wymagania odpowiednich przepisów i norm.

Oprócz materiałów ziarnistych i elementów prefabrykowanych do wykonywania ww. fundamentów wykorzystywane są również następujące rodzaje geosyntetyków (Gonet i Stryczek, 2020):

- geosyntetyki separacyjne – układane są na podłożu z gruntów spoistych i powinny zapobiegać mieszanii się materiału podłoża z materiałem platformy oraz mieć zdolności drenujące;
- geosyntetyki wzmacniające – których zastosowanie może być uzasadnione względami ekonomicznymi, np. w celu ograniczenia grubości podbudowy, układane są najczęściej bezpośrednio na podłożu gruntowym przed ułożeniem materiału podbudowy lub jako geosiatki do wzmocnienia powierzchniowego;
- geosyntetyki uszczelniające – w postaci folii odpornej na oleje, celem zabezpieczenia podłoża gruntowego przed zanieczyszczeniem awaryjnymi rozlewami substancji ropopochodnych.

Przygotowanie podłoża gruntowego pod wykonanie fundamentów bezpośrednich obejmuje usunięcie soczewek słabego gruntu, zasypanie pustek i wykopów, wyrównanie powierzchni podłoża do poziomu oraz zapewnienie odcięcia wód napływowych i odprowadzenia wód opadowych. Materiały

podbudowy układane są z reguły i zagęszczane warstwami o grubości dostosowanej do rodzaju materiału i możliwości wykorzystywanego sprzętu. Grubości układanych i zagęszczanych kolejno warstw materiału nasypu podbudowy wynoszą 0,3–0,5 m. Geosyntetyki wzmacniające wbudowywane są pod lub w warstwy materiału nasypu podbudowy w taki sposób, aby uzyskać ich wstępne napięcie i wyeliminować wszystkie luzy montażowe, przy zapewnieniu wymaganych zakładów oraz naddatków geosyntetyków na krawędziach fundamentu i w strefie kotwienia poza obszarem roboczym fundamentu.

Specyficznym rodzajem fundamentu stosowanym w przypadku posadowienia urządzenia wiertniczego o dużym udźwigu jest monolityczna płyta żelbetowa, której widok przedstawiono na rysunku 4.

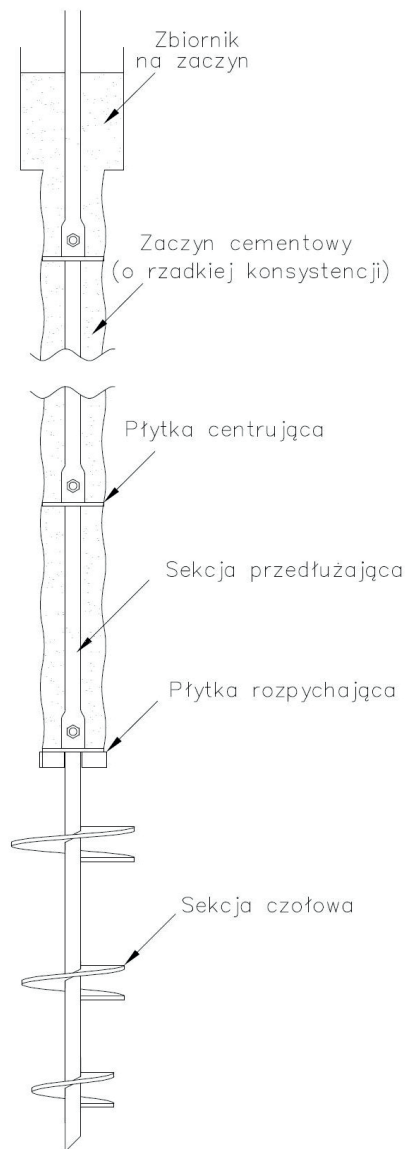


**Rys. 4.** Przykład fundamentu pod wiertnicę w postaci monolitycznej płyty żelbetowej wraz z placem manewrowo-magazynowym o nawierzchni asfaltowej (zdjęcie: S. Stryczek)

**Fig. 4.** An example of the foundation for a drilling rig in the form of a monolithic reinforced concrete slab along with the maneuver and storage area with asphalt pavement (Foto: S. Stryczek)

**Posadowienie pośrednie fundamentów** urządzenia wiertniczego jest wyjątkową praktyką, stosowaną w przypadku lokalizacji urządzenia na gruntach o małej nośności. Przykładem pośredniego posadowienia fundamentów urządzenia wiertniczego jest technologia wzmocnienia gruntu poprzez posadowienie pośrednie stóp fundamentowych na mikropalach wykonywanych w technologii CHANCE Helical Pulldown Micropile (Żak i Wójcik, 2011). Schemat takiego mikropala zilustrowano na rysunku 5. Nośność mikropali wkręcanych uzyskiwana jest dzięki spiralom nośnym, znajdującym się w dolnej sekcji mikropala. Technologia ta polega na wkręceniu w grunt planowanej pod fundamenty powierzchni – mikropali śrubowych CHANCE, wraz z wykonaniem otuliny betonowej wokół każdej żerdzi. Zadaniem otuliny betonowej jest zabezpieczenie mikropala przed zjawiskami korozji i wybożenia. W opisywanym przykładzie lokalizacji warunki gruntowe zakwalifikowano jako złożone z uwagi na występowanie gruntów o niejednorodnych i zmiennych parametrach geotechnicznych,

a dodatkowo na głębokości 2,5 m występowała woda gruntuwa. W warstwach powierzchniowych znajdowały się grunty spoiste w stanie plastycznym oraz twardoplastycznym. Grunty o odpowiedniej nośności występowały dopiero od głębokości 7 m p.p.t. w postaci piasków z pospółką w stanie zagęszczonym o  $I_D = 0,85$ . Dobór parametrów mikropali przeprowadzono w oprogramowaniu HeliCAP. Zaprojektowano wykonanie łącznie 40 sztuk mikropali, po 20 sztuk mikropali na każdą ze stóp fundamentowych urządzenia wiertniczego.



**Rys. 5.** Schemat budowy mikropala CHANCE (Żak i Wójcik, 2011)  
**Fig. 5.** Scheme of micropile construction CHANCE (Żak and Wójcik, 2011)

Przyjęto wykonanie mikropali o długości 8 m każdy, wkręcanych w oparciu o żerdzie SS175 z trzema spiralami nośnymi o średnicach: 203 mm, 254 mm, 305 mm, z otuliną betonową o średnicy 177 mm wokół każdej żerdzi oraz nośnościami przekraczającymi 500 kN na jeden mikropal (rys. 6).



**Rys. 6.** Efekt końcowy montażu mikropali z pokrywą betonową i nadmiarem prętów do wycięcia (zdjęcie: M. Żak)

**Fig. 6.** Final result of micropile installation with concrete cover and surplus of rods to be cut (Foto: M. Żak)

### Niektóre parametry obciążeń statycznych i dynamicznych generowanych przez wybrane urządzenia wiertnicze

Obciążenia statyczne urządzenia wiertniczego generowane są przez ciężar podzespołów urządzenia oraz ciężar przewodu magazynowanego na tzw. klocu. Obciążenia dynamiczne urządzenia wiertniczego generowane są przede wszystkim przez struktury jego maszty przenoszące ciężary na haku w czasie operacji zapuszczania i wyciągania przewodu wiertniczego i rur okładzinowych oraz innych operacji w otworze, jak wiercenie, rdzeniowanie, cementowanie itp. Również wiatry mają duży wpływ na obciążenia dynamiczne maszty urządzenia wiertniczego. Inne podzespoły, jak: sita wibracyjne, tłokowe pompy płuczkowe, spalinowe i elektryczne silniki napędowe oraz agregaty prądotwórcze, generują obciążenia dynamiczne na terenie hali maszyn urządzenia. Obciążenia dynamiczne generowane przez urządzenie wiertnicze można sklasyfikować jako deterministyczne i nondeterministyczne. Obciążenia deterministyczne są dobrze zdefiniowane w funkcji czasu i można je precyzyjnie przewidzieć, np. od sit wibracyjnych czy tłokowych pomp płuczkowych, mogą one być harmoniczne, okresowe lub nieokresowe. Obciążenia nondeterministyczne nie mogą być dobrze zdefiniowane w jasno określonej funkcji czasu, np. obciążenia od wiatru oddziałującego na maszty urządzenia, ciężaru i przyspieszenia poruszającego się przewodu wiertniczego lub rur okładzinowych na haku wielokrążka maszty opisywane są najlepiej przez parametry statyczne. W celu dokonania ogólnej oceny wielkości nacisków generowanych przez obciążenia statyczne i dynamiczne wybranych urządzeń wiertniczych przeprowadzono przegląd ich

**Tabela 2.** Zestawienie maksymalnych nacisków generowanych przez obciążenia statyczne i dynamiczne wybranych urządzeń wiertniczych (źródło: dokumentacja techniczna producentów urządzeń oraz materiały Exalo Drilling S.A.)

**Table 2.** Summary of maximum pressures generated by static and dynamic loads for selected drilling equipment (source: technical documentation of equipment manufacturers and materials of Exalo Drilling S.A.)

Model urządzenia	Udźwig	Maksymalny nacisk generowany przez obciążenia statyczne i dynamiczne urządzenia wiertniczego
	[kN]	[kPa]
IRI CABOT 750	1360	75
IRI 1200	3050	222
BENTEC 450	4500	332
Drillmec MR 8000	2000	350
National N110UE	4540	549
Drillmec 2000 HP	5900	1580

parametrów i uproszczone sumowanie wartości maksymalnych dla porównania, a wyniki zestawiono w tabeli 2.

### Istotne elementy procesu projektowania geotechnicznego posadowienia urządzeń wiertniczych

Pracujące urządzenia wiertnicze wywołują drgania, które przenoszą się na fundamenty, następnie na grunt i dalej na ewentualne obiekty znajdujące się nieraz nawet w większej odległości od terenu wiertni. Prawidłowe posadowienie urządzenia na fundamencie nie może całkowicie wyeliminować przenoszenia drgań, prowadzi jedynie do ich zmniejszenia do takich wartości, aby były nieszkodliwe dla ruchu urządzenia i jego otoczenia. Drgania najlepiej przenoszone są przez skały twarde oraz nawodnione grunty luźne (kurzawka), natomiast ich najlepsze tłumienie występuje w zwartych piaskach i glinach w stanie mało wilgotnym.

Skutki przenoszonych drgań mogą się przejawiać następująco:

- spowodować uszkodzenie, a czasem nawet zniszczenie fundamentów urządzenia, a tym samym utrudnić lub uniemożliwić pracę urządzenia;
- stworzyć szkodliwe warunki dla zdrowia ludzi przebywających na drgającym urządzeniu.
- Podłoże i fundamenty pod urządzeniem wiertniczym podlegają obciążeniom:
- dynamicznym, generowanym przez ruchome podzespoły;
- statycznym, pochodzącym od elementów nieruchomych.

Do prawidłowego zaprojektowania fundamentu pod urządzenie wiertnicze, czyli właściwego dobrania kształtu, wielkości,

nośności, wibroizolacji i posadowienia, konieczna jest znajomość obciążeń wypadkowych. Chodzi tutaj zarówno o obciążenia statyczne, jak i dynamiczne, siły bezwładności, ich wartości, zmienność w czasie, miejsca przyłożenia oraz kierunki oddziaływania. Obciążenia dynamiczne mają niewątpliwie wpływ na nośność podłoża gruntowego i jego osiadanie. Poddane im grunty drobnoziarniste stają się bardziej odkształcalne i mniej wytrzymałe, co prowadzi do ich upłynnienia. Niektóre grunty w fazie obciążeń dynamicznych ulegają zniszczeniu, w przypadku innych następuje redukcja wytrzymałości na ścinanie. Obciążenia te powodują wzrost ciśnienia porowego, skutkujący zredukowaniem ogólnej wytrzymałości gruntów. Również liczba cykli obciążeń dynamicznych, czas ich trwania oraz amplituda drgań ma wpływ na zachodzące zjawiska zmniejszenia nośności gruntów podłoża pod urządzeniami.

Obowiązujące w Polsce według stanu na 31 grudnia 2018 r. przepisy Prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.) oraz Prawa geologicznego i górniczego (Dz.U. z 2017 r. poz. 2126) nie nakładają obowiązku wykonywania badań podłoża na potrzeby budownictwa. Ustawa Prawo budowlane wskazuje, że wyniki badań geologiczno-inżynierskich oraz geotechniczne warunki posadowienia obiektów budowlanych powinny być zawarte w projekcie budowlanym w zależności od potrzeb, natomiast ustawa Prawo geologiczne i górnicze określa rodzaje dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, ale nie precyzuje, w jakich przypadkach jest niezbędne ich opracowanie.

Ustalanie geotechnicznych warunków posadowiania obiektów budowlanych uregulowane zostało przepisami prawa w postaci rozporządzenia (Dz.U. z 2012 r. poz. 463) i polega na:

- 1) zaliczeniu obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej;
- 2) zaprojektowaniu odwodnień budowlanych;
- 3) przygotowaniu oceny przydatności gruntów stosowanych w budowlach ziemnych;
- 4) zaprojektowaniu barier lub ekranów uszczelniających;
- 5) określeniu nośności, przemieszczeń i ogólnej stateczności podłoża gruntowego;
- 6) ustaleniu wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego i podłoża gruntowego w różnych fazach budowy i eksploatacji;
- 7) ustaleniu wzajemnego oddziaływania obiektu budowlanego z obiektami sąsiadującymi;
- 8) ocenie stateczności zboczy, skarp wykopów i nasypów;
- 9) wyborze metody wzmacniania podłoża gruntowego i stabilizacji zboczy, skarp wykopów i nasypów;
- 10) ocenie wzajemnego oddziaływania wód gruntowych i obiektu budowlanego;
- 11) ocenie stopnia zanieczyszczenia podłoża gruntowego i doboru metody oczyszczania gruntów.

**Tabela 3.** Diagram kategorii geotechnicznych obiektów budowlanych i form przygotowania geotechnicznych warunków ich posadowienia w odniesieniu do rodzajów obiektów budowlanych i stopnia skomplikowania warunków gruntowych (opracowano na podstawie rozporządzenia Dz.U. z 2012 r. poz. 463)

**Table 3.** Diagram of geotechnical categories of construction objects and forms of preparing geotechnical conditions of their foundation in relation to types of construction objects and complexity of ground conditions (prepared on the basis of the ordinance of the Journal of Laws of 2012, item 463)

Rodzaje obiektów budowlanych	Warunki gruntowe w zależności od stopnia ich skomplikowania		
	Warunki proste – występujące w przypadku warstw gruntów jednorodnych genetycznie i litologicznie, zalegających poziomo, nieobejmujących mineralnych gruntów słabo-nośnych, gruntów organicznych i nasypów niekontrolowanych, przy zwierciadle wody poniżej projektowanego poziomu posadowienia oraz braku niekorzystnych zjawisk geologicznych	Warunki złożone – występujące w przypadku warstw gruntów niejednorodnych, nieciągłych, zmiennych genetycznie i litologicznie, obejmujących mineralne grunty słabo-nośne, grunty organiczne i nasypy niekontrolowane, przy zwierciadle wód gruntowych w poziomie projektowanego posadawiania i powyżej tego poziomu oraz przy braku niekorzystnych zjawisk geologicznych	Warunki skomplikowane – występujące w przypadku warstw gruntów objętych występowaniem niekorzystnych zjawisk geologicznych, zwłaszcza zjawisk i form krasowych, osuwiskowych, sufozyjnych, kurzawkowych, glacitektonicznych, gruntów ekspansywnych i zapadowych, na obszarach szkód górniczych, przy możliwych nieciągłych deformacjach górotworu, w obszarach dolin i delt rzek oraz na obszarach morskich
Lekkie obiekty budowlane o statycznie wyznaczalnym schemacie obliczeniowym, takie jak: – 1- lub 2-kondygnacyjne budynki mieszkalne i gospodarcze; – ściany oporowe i rozparcia wykopów, jeżeli różnica poziomów nie przekracza 2,0 m; – wykopy do głębokości 1,2 m i nasypy budowlane do wysokości 3,0 m wykonywane w szczególności przy budowie dróg, pracach drenażowych oraz układaniu rurociągów	Pierwsza kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną	Druga kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze	Trzecia kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze
Obiekty budowlane wymagające ilościowej i jakościowej oceny danych geotechnicznych i ich analizy, takie jak: – fundamenty bezpośrednie lub głębokie; – ściany oporowe lub inne konstrukcje oporowe, jeżeli różnica poziomów przekracza 2,0 m, utrzymujące grunt lub wodę; – wykopy, nasypy budowlane, jeżeli różnica poziomów przekracza 2,0 m; wykopy o głębokości większej niż 1,2 m; nasypy budowlane powyżej wysokości 3,0 m oraz inne budowle ziemne; – przyczółki i filary mostowe oraz nabrzeża; – kotwy gruntowe i inne systemy kotwiące	Druga kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny	Druga kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze	Trzecia kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze
Obiekty budowlane zaliczane do przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, w tym obiekty do poszukiwania, rozpoznawania i wydobywania rud pierwiastków promieniotwórczych. Obiekty wysokie, których głębokość posadawiania bezpośrednio przekracza 5,0 m	Trzecia kategoria geotechniczna: – opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze	Trzecia kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze	Trzecia kategoria geotechniczna: opracowuje się opinię geotechniczną; – opracowuje się dodatkowo dokumentację badań podłoża gruntowego i projekt geotechniczny; – wykonuje się dodatkowo dokumentację geologiczno-inżynierską, zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze



Według ww. rozporządzenia zakres czynności wykonywanych przy ustalaniu geotechnicznych warunków posadawiania, forma przedstawienia geotechnicznych warunków posadawiania oraz zakres niezbędnych badań powinny być uzależnione od zaliczenia obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej i stopnia skomplikowania warunków gruntowych, co dla celów praktycznych zestawiono w tabeli 3.

W świetle ww. rozporządzenia (Dz.U. z 2012 r. poz. 463) opinia geotechniczna powinna ustalać przydatność gruntów na potrzeby budownictwa oraz wskazywać kategorię geotechniczną obiektu budowlanego. Dokumentacja badań podłoża gruntowego, zgodnie z normami PN-EN 1997-1:2008/Eurokod 7 i PN-EN 1997-2:2009/Eurokod 7, powinna zawierać opis metodyki polowych i laboratoryjnych badań gruntów, ich wyniki i interpretację, model geologiczny oraz zestawienie wyprowadzonych wartości danych geotechnicznych dla każdej warstwy.

Ważniejsze wymagania stawiane fundamentom pod urządzenia wiertnicze można sprecyzować następująco:

- zapewnienie odpowiedniego i pewnego oparcia urządzenia podczas ruchu;
- bezpiecznie przekazywanie na grunt wszystkich obciążeń statycznych i dynamicznych;
- ograniczenie pionowych i nierównomiernych osiadań fundamentu;
- ograniczenie drgań fundamentu i ich wpływu na otoczenie poprzez takie tłumienie i amortyzowanie przekazanych na fundament drgań, aby ich oddziaływanie nie naruszało stateczności układu oraz aby nie były szkodliwe dla samego urządzenia oraz ludzi.

W tym celu fundamenty pod urządzenia wiertnicze należy konstruować i wykonywać tak, aby:

- ich drgania własne wystarczająco różniły się od drgań wzbudzonych przez podzespoły urządzenia;
- amplitudy drgań były mniejsze od dopuszczalnych;
- fundamenty poszczególnych maszyn były odpowiednio zdylatowane od siebie i reszty obiektów usytuowanych na terenie wiertni.

Fundamenty pod urządzenia wiertnicze o dużej mocy wymagają zastosowania odpowiednich materiałów i profesjonalnego wykonania, co jest uzasadnione dynamicznym obciążeniem fundamentu, wywołującym w nim szkodliwe zmienne naprężenia, koncentrujące się szczególnie w miejscach osłabionych, powodujące zmęczenie materiału (np. betonu zbrojonego), skutkujące utratą jego pierwotnej wytrzymałości.

## Wnioski

1. Przedstawione wybrane zagadnienia geotechniczne występujące przy posadowieniu urządzeń wiertniczych do

realizacji robót geologicznych, w aspekcie projektowania i wykonawstwa ich fundamentów oraz placu wiertni, czynią z tego artykułu jedną z niewielu publikacji poruszających tę ważną tematykę. Obowiązujące przepisy prawne nakładają na przedsiębiorcę szereg obowiązków w tym zakresie, których spełnienie może być często dużym wyzwaniem dla projektantów i wykonawców prac budowlanych.

2. Bezpieczne posadowienie urządzeń wiertniczych na podłożach gruntowych, obejmujące m.in. wzmocnienie podłoża, projektowanie samodzielnych konstrukcji budowlanych, jakimi są fundamenty pod urządzenia wiertnicze, oraz ich wykonawstwo i likwidacja, powinno być przedmiotem szerszych badań naukowych i publikacji, szczególnie w aspekcie stosowania coraz to cięższych urządzeń wiertniczych.
3. Ponieważ zakres stosowania do projektowania posadowienia urządzeń wiertniczych obowiązującej normy PN-EN 1997-1:2008/Eurokod 7 jest ograniczony ze względu na brak określenia sposobu sprawdzania stanów granicznych związanych z drganiami oraz ze względu na specyfikę branży wiertniczej – wskazane jest opracowanie, na podstawie aktualnych przepisów i norm, wytycznych bezpiecznego posadowienia urządzeń wiertniczych na podłożach gruntowych, obejmujących m.in. wzmocnienie podłoża, projektowanie samodzielnych konstrukcji budowlanych, jakimi są fundamenty pod urządzenia wiertnicze, oraz ich wykonawstwo i likwidację.
4. Obowiązujące przepisy art. 29 ust. 1 pkt 28 Prawa budowlanego (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.), wskazujące, że pozwolenia na budowę nie wymaga budowa obiektów budowlanych służących bezpośrednio do wykonywania działalności regulowanej ustawą Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2017 r. poz. 2126), winny być rozszerzone na cały zakres działalności poszukiwawczej i rozpoznawczej, a nie obowiązywać tylko w zakresie poszukiwania i rozpoznawania złóż węglowodorów, jak jest obecnie.

## Literatura

- Avallone E.A., Baumeister III T., Sadech A.M., 2007. Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers. 11th Edition. *The McGraw-Hill Companies, Inc.*
- BRE Report 470, 2004. Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms (BRE 470). *BRE*.
- Duszyńska A., Białek K., 2013. Problemy związane z wymiarowaniem platform roboczych. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 4: 199–204.
- Gonet A., Stryczek S., 2020. Podstawy geoinżynierii. *Wydawnictwo AGH, Kraków*.
- Żak M., Wójcik M., 2011. Posadowienie pośrednie wiertni poszukiwawczej. *Geoinżynieria – drogi, mosty, tunele*, 5: 36–37.

## Akty prawne i dokumenty normatywne

- API Recommended Practice 4G. Recommended Practice for Maintenance and Use of Drilling and Well Servicing Structures. Second Edition, October 1998.
- API Recommended Practice 51R. Environmental Protection for Onshore Oil and Gas Production Operations and Leases. First Edition, July 2009.
- PN-B-02482:1983 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych. Norma zastąpiona przez PN-EN 1997-1:2008.
- PN-B-03040:1980 Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny. Obliczenia i projektowanie. Norma zastąpiona przez PN-EN 1997-1:2008.
- PN-EN 13369:2018-05 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012 r. poz. 463).
- Ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. o normalizacji (Dz. U. z 1993 r. Nr 55, poz. 251).
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późn. zm.).

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 2126).



Dr inż. Kazimierz MACNAR  
Ekspert i biegły sądowy w zakresie górnictwa, geologii inżynierskiej i ochrony środowiska  
E-mail: [kazimierz.macnar@gmail.com](mailto:kazimierz.macnar@gmail.com)



Prof. dr hab. inż. Andrzej GONET  
Profesor zwyczajny  
Dziekan Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica  
al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
E-mail: [gonet@agh.edu.pl](mailto:gonet@agh.edu.pl)



Prof. dr hab. inż. Stanisław STRYCZEK  
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu  
al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
E-mail: [stryczek@agh.edu.pl](mailto:stryczek@agh.edu.pl)

## OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU BADANIA ZŁOŻ ROPY I GAZU

- pobór wgłębných i powierzchniowych próbek płynów złożowych;
- kompleksowe badania i analizy zmian fazowych próbek płynów złożowych na zestawie aparatów PVT firmy Vinci, Chandler i Ruska;
- modelowanie procesu wypierania ropy gazem na fizycznym modelu złoża tzw. „cienka rurka”;
- pomiar lepkości ropy wiskozymetrem kulkowym lub kapilarnym w warunkach PT;
- optymalizacja procesów powierzchniowej separacji ropy naftowej;
- laboratoryjne i symulacyjne badania warunków wytrącania się parafin, asfaltenów w ropie oraz tworzenia się hydratów w gazie;
- badanie skuteczności działania chemicznych środków zapobiegających tworzeniu się hydratów;
- laboratoryjne modelowanie procesów wypierania ropy gazem w warunkach zmieszania faz;
- badanie procesów sekwestracji CO<sub>2</sub> w solankowych poziomach wodonośnych, nasyconych gazem ziemnym;
- badania na długich rdzeniach wiertniczych dla oceny efektywności metod zwiększenia stopnia odzysku ropy – Enhanced Oil Recovery (EOR).



Kierownik: dr inż. Marcin Warnecki Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno  
Telefon: 13 436 89 41 w. 5226, 5231, 5224 Faks: 13 436 79 71 E-mail: [marcin.warnecki@inig.pl](mailto:marcin.warnecki@inig.pl)

 INSTYTUT NAFTY I GAZU  
– Państwowy Instytut Badawczy