

Kierunki rozwoju geologii inżynierskiej w Państwowym Instytucie Geologicznym

Zbigniew Frankowski¹, Edyta Majer¹, Marta Sokołowska¹,
Grzegorz Ryżyński¹, Szymon Ostrowski¹, Krzysztof Majer¹



Z. Frankowski



E. Majer



M. Sokołowska



G. Ryżyński



Sz. Ostrowski



K. Majer

Development of engineering geology at the Polish Geological Institute. *Prz. Geol.*, 68: 345–355.

A b s t r a c t. In this article, we summarize the most important engineering geological research over the past 100 years in the Polish Geological Institute and analyze its present and future development.

Keywords: engineering geology, engineering geophysics, shallow geothermal energy, engineering geological database (BDGI), engineering geological map, Polish Geological Institute

Potrzebę wykonywania badań geologicznych dla celów budownictwa dostrzegano w Państwowym Instytucie Geologicznym już od chwili jego powstania. Pierwszy dyrektor prof. Józef Morozewicz w przemówieniu inauguracyjnym, powołującym instytut w 1919 r., stwierdził: *Do zakresu działalności będą należały badania związane z rozbudową sieci dróg żelaznych, bitych i wodnych. Pomoc geologa potrzebna tu jest niejednokrotnie przy wyznaczaniu tras kolejowych i kanałowych, przy przebijaniu tuneli i przepokopów, przy odprowadzaniu wód zaskórnych itp.* (Malinowski, 1960).

Geologia inżynierska ma wybitnie stosowany charakter. Według obecnie przyjmowanej definicji jest to dziedzina geologii, która zajmuje się badaniami, studiami oraz rozwiązywaniem problemów inżynierskich i środowiskowych, mogącymi powstać jako rezultat wzajemnego oddziaływania podłoża budowlanego i obiektu budowlanego (w szerszym ujęciu sposobu zagospodarowania terenu i przestrzeni podziemnej), jak również przewidywaniem odpowiednich środków i sposobów zapobiegania zagrożeniom geologicznym (Majer i in., 2018).

Przez 100 lat działalności instytutu ponad 200 geologów zajmowało się tą ważną problematyką. Prowadzili oni badania naukowe, prace rozwojowe związane z działalnością statutową oraz realizowali zadania państwowej służby geologicznej (PSG) w zakresie geologii inżynierskiej, w tym geofizyki inżynierskiej. W ostatniej dekadzie sfera zainteresowań geologów inżynierskich rozszerzyła się też o tzw. geotermię niskotemperaturową (płytką). Działalność w zakresie geologii inżynierskiej obejmowała badania i prace dokumentacyjne dotyczące rozwiązywania problemów

technicznych i środowiskowych wynikających ze wzajemnego oddziaływania podłoża budowlanego i obiektów budowlanych.

W artykule zaprezentowano, jak postrzegano geologię inżynierską i jak planowano jej rozwój od początku powstania instytutu. Przedstawiono stan aktualny i trendy, które będą definiować rozwój geologii inżynierskiej w czasach nieuniknionych zmian, zwłaszcza klimatycznych, związanych z dostępem do sieci internetowych, start-upów i eksploracji kosmosu w zakresie poboru próbek i ich badań.

POCZĄTKI GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ W PIG

Okres przedwojenny działalności instytutu w zakresie geologii inżynierskiej to przede wszystkim orzeczenia i opinie. Powstały wówczas liczne opracowania dotyczące warunków geologiczno-inżynierskich dla poszczególnych regionów Polski, głównie na potrzeby rozwoju wielkich projektów infrastrukturalnych (Kleczkowski, 1962). Za przykład mogą posłużyć opracowania związane z projektem regulacji rzek karpackich, budową zapory i zbiornika na Dunajcu, tras kolejowych oraz oceny procesów osuwiskowych. Są to prace wykonywane w latach 1921–1939 m.in. przez Jana Czarnockiego, Jana Samsonowicza, Ludwika Horwita, Jerzego Smoleńskiego, Stanisława Doktorowicza-Hrebnińskiego, Romualda Rosłońskiego (Malinowski, 1960).

Istotny rozwój badań geologiczno-inżynierskich nastąpił po II wojnie światowej w związku z odbudową kraju po zniszczeniach wojennych. W 1945 r. powstał w PIG Oddział Geologii Technicznej przy Wydziale Geo-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; zbigniew.frankowski@pgi.gov.pl

logii Regionalnej, którego pierwszym kierownikiem był Stanisław Sokołowski. Od 1948 r. oddział posiadał już własne laboratorium mechaniki gruntów, w 1949 r. został przekształcony w samodzielny Wydział Geologii Technicznej, którego kolejnymi kierownikami byli Kazimierz Guzik, a następnie Włodzimierz Rudkiewicz. W roku 1953 jednostka zyskała rangę Zakładu Geologii Technicznej, którym kierowała najpierw Olga Guzik, a od 1954 r. Jan Malinowski.

Do końca lat 60. ub.w. najważniejszymi kierunkami działań instytutu w zakresie geologii inżynierskiej było wsparcie regionalnych i ogólnopolskich projektów infrastrukturalnych związanych z tworzeniem studiów i badań wstępnych dla regulacji rzek i kanałów oraz obszarów stopni wodnych zarówno rzek nizinnych, jak i karpackich, oraz lokalizacji ciężkich obiektów przemysłowych (Bażyński, 1960). Istotnym elementem podejmowanych zadań było włączenie się w prace studialne i metodyczne do celów planowania przestrzennego, rozbudowy miast, w tym szczególnie wielkich osiedli mieszkaniowych. Równocześnie wykonywano orzeczenia dla różnych obiektów budowlanych i zajmowano się zagadnieniami z pogranicza geologii inżynierskiej i górnictwa.

W okresie powojennym powstała seria istotnych wydawnictw i opracowań, w tym: pierwszy podręcznik pt. *Geologia inżynierska* (Różycki, 1949), wstępne instrukcje dotyczące wierceń i badań na potrzeby wznovionych planów budowy warszawskiego metra, Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie, opracowane m.in. przez Józefa Gołęba, Olę Guzik, Edwarda Rühlego i Ludwika Watychę (Malinowski, 1960), oraz analizy przyczyn pękania budynków w Bydgoszczy (Piotrowski, 1955). W działającym w siedzibie PIG, jako osobne przedsiębiorstwo, Wydawnictwie Geologicznym były również wydawane ważne opracowania geologiczno-inżynierskie opracowane w innych instytucjach, np. Akademii Górniczo-Hutniczej, takie jak: poradnik *Osuwiska i zjawiska pokrewne* (Kleczkowski, 1955) oraz *Zarys geologii inżynierskiej* (Kleczkowski, 1956).

Od połowy lat 50. zapoczątkowano rozwój przeglądowej kartografii geologiczno-inżynierskiej. W 1956 r. ukazały się pierwsze arkusze *Mapy geologiczno-inżynierskiej Polski w skali 1 : 300 000* (Warszawa, Zgorzelec) oraz *Mapa geologiczno-inżynierska Polski w skali 1 : 1 000 000*. Głównym ich celem było przedstawienie wydzielen litogenetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem przydatności na potrzeby budownictwa. Były to pierwsze opracowania geologiczno-inżynierskie o charakterze przeglądowym dla

całego kraju (Watycha, 1955, 1959). Ponadto w tym okresie powstało także 15 arkuszy *Szczegółowej mapy geologiczno-inżynierskiej Polski w skali 1 : 50 000*.

W latach 60. w wyniku zmian organizacyjnych w Instytucie Geologicznym powstał Zakład Geologii Inżynierskiej. Dynamicznie rozwijający się zespół, pomimo wielu przekształceń struktury instytutu, działa i rozwija się od kilkudziesięciu lat do dziś, obecnie (rok 2020) jest częścią Centrum Geozagrożeń (ryc. 1).

Od połowy lat 60. główne kierunki działań geologii inżynierskiej to:

- kartografia geologiczno-inżynierska w skali 1 : 50 000 – 1 : 25 000,
- prace metodyczne i eksperymentalne z wykorzystaniem prototypowej aparatury badawczej w zakresie terenowych badań gruntów i skał oraz geofizyki inżynierskiej,
- prace metodyczne w zakresie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich,
- charakterystyki właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów i skał w ujęciu lokalnym i regionalnym,
- geologia inżynierska regionalna,
- rejestracja osuwisk w latach 1967–1969 (Bażyński i in., 1970).

W latach 60. i 70. wydano kolejny podręcznik *Geologia inżynierska* (Malinowski, 1967) oraz liczne opracowania metodyczne:

- wytyczne dokumentowania obiektów liniowych (Bażyński i in., 1974);
- charakterystyki geologiczno-inżynierskie różnych typów litologiczno-stratygraficznych: m.in. lessów (Malinowski, 1971) i ilów trzeciorzędowych Warszawy, Bydgoszczy i Tarnobrzega (Fortunat, 1960);
- opracowania metodyczne o charakterze wytycznych dotyczące badań geologiczno-inżynierskich (Borowczyk, Frankowski, 1979, 1980);
- mapy geologiczno-inżynierskie w skali 1 : 500 000 (Jakubicz, Łodzińska, 1994)
- oraz metodykę opracowania map i atlasów geologiczno-inżynierskich (Jakubicz, Łodzińska, 1989).

W latach 70. wykonywano także liczne opracowania typu dokumentacyjnego (zdjęcia geologiczno-inżynierskie, dokumentacje geologiczno-inżynierskie, charakterystyki geologiczno-inżynierskie terenu) dla ponad 20 obiektów hydrotechnicznych w dolinie Wisły i na jej dopływach. Prowadzone były również badania stacjonarne, na podstawie których ustalono prognozy geologiczno-inżynierskie dla obiektów wodnych oraz wpływ Jeziora Włocławskiego



Ryc. 1. Zespół pracowników zakładu geologii inżynierskiej w 1970 i 2019 r.
Fig. 1. Team of engineering geologists in 1970 and 2019

na otoczenie (Frankowski i in., 2018). W latach 70. wykonano w instytucie (wspólnie z Przedsiębiorstwem Badań Geofizycznych) pierwsze badania z zakresu geofizyki inżynierskiej metodą drgań swobodnych (Frankowski i in., 1973). Ponadto na potrzeby planowania przestrzennego powstało także regionalne opracowanie geologiczno-inżynierskie dla Piotrkowsko-Belchatowskiego Okręgu Przemysłowego.

Lata 80. i 90. w geologii inżynierskiej były związane przede wszystkim z badaniami na potrzeby budowy pierwszej linii metra w Warszawie, kiedy geolodzy inżynierscy brali udział w konsultacjach mających na celu rozwiązanie bieżących problemów związanych z realizacją inwestycji. W tym okresie nastąpił również rozwój badań osuwisk w rejonach Włocławka i południowej Polski, skierowanych m.in. na określenie sposobów przeciwdziałania ruchom masowym i zabezpieczania osuwisk. W Zakładzie Geologii Inżynierskiej powstała także pierwsza instrukcja dotycząca metod interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych (Bażyński, 1982) oraz pierwsze prace o teledetekcji (np. Bażyński i in., 1985), stanowiące podstawę do obecnego rozwoju tych metod na potrzeby dokumentowania geologiczno-inżynierskiego.

GEOLOGIA INŻYNIERSKA DZIŚ

Od początku XXI w. działalność instytutu w zakresie geologii inżynierskiej to przede wszystkim: prowadzenie baz danych geologiczno-inżynierskich, kartografia geologiczno-inżynierska i geotermalna 2D, dokumentacje, opinie, ekspertyzy i analizy na potrzeby budownictwa, analizy techniczne obiektów budowlanych, ekspertyzy dotyczące awarii budowlanych, rozwój metod badań geologii inżynierskiej (polowych i laboratoryjnych) oraz geofizyki inżynierskiej. Ponadto zespół geologów inżynierskich wspiera merytoryczne realizacje programów krajowych, prace metodyczne i eksperymentalne w zakresie geotermii niskotemperaturowej, popularyzuje i upowszechnia wiedzę o geologii inżynierskiej oraz prowadzi działalność szkoleniową i doradczą, a także wspiera procesy normalizacyjne i legislacyjne.

Po wdrożeniu do stosowania zasad Eurokodu 7 (europejskich norm regulujących kwestie projektowania geotechnicznego) nastąpiła znacząca zmiana podejścia do rozpoznania podłoża budowlanego, ustalania warunków geotechnicznych posadawiania i wzmocnienia nowoprojektowanych obiektów budowlanych. Eurokod wprowadził pojęcie modelu geologicznego i konieczność jego uszczegóławiania na każdym kolejnym etapie realizacji projektu, uzyskując coraz dokładniejszy obraz podłoża. Nastąpił intensywny rozwój metod w zakresie badań polowych i laboratoryjnych, w tym geofizycznych, a także wzrost świadomości o konieczności zapewnienia wysokiej jakości badań w dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich oraz w procesie inwestycyjnym.

Począwszy od 1999 r. zaczęto wydawanie wielu wytycznych i instrukcji (ryc. 2). Często były one tworzone we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi. Większość z nich jest stosowana jako obowiązujące instrukcje lub podręczniki dobrych praktyk. Jako przykłady takich publikacji można podać: *Instrukcję badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych* (Kłosiński i in., 1998), *Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich* (Bażyński i in., 1999), *Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji*

kopalń (Dobak i in., 2009), *Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego dla obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego* (Frankowski i in., 2009), *Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych* (Frankowski i in., 2012), *Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (w świetle wymagań Eurokodu 7)* (Majer i in., 2018).

W latach 2009–2019 opracowywano także wytyczne:

– na zlecenie spółki Polskie Koleje Państwowe Polskie Linie Kolejowe S.A. – *Wytyczne badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej* (Wytyczne, 2014),

– dla Polskiej Agencji Atomistyki – *Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych dla lokalizacji obiektów jądrowych* (Frankowski, Herbich, 2014)

– oraz dla Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad – *Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego* (Wytyczne, 2018).

Ta ostatnia publikacja powstała jako efekt komercjalizacji wyników projektu naukowego RID, współfinansowanego przez NCBiR i GDDKiA. Za ten projekt instytut otrzymał w 2016 r. Polską Nagrodę Inteligentnego Rozwoju przyznaną przez Puls Biznesu oraz w 2019 r. *Symbol 2019* w kategorii *Synergia Nauki i Biznesu 2019* przyznaną przez Monitor Biznesu za całokształt działalności, ze szczególnym uwzględnieniem projektu RID.

Od 2000 r. nastąpił stały rozwój geologiczno-inżynierskiej kartografii cyfrowej. Pierwszy *Atlas geologiczno-inżynierski w skali 1 : 10 000* powstał we współpracy z Instytutem Techniki Budowlanej i obejmował obszar w granicach Warszawy. Podstawą dalszych prac była instrukcja wykonywania atlasów geologiczno-inżynierskich techniką komputerową (Frankowski i in., 2000), od tego czasu nieustannie aktualizowana. W latach 2002–2012, we współpracy z przedsiębiorstwami geologicznymi, powstawały atlasy geologiczne inżynierskie aglomeracji: Katowice, Łódź, Gdańsk–Sopot–Gdynia, Rybnik–Jastrzębie Zdrój–Żory, Wałbrzych–Świebodzice–Kamienna Góra (ryc. 3). W latach 2013–2017 pracownicy instytutu opracowali atlasy Koszalin, Bydgoszczy, powiatów płockiego, piaseczyńskiego oraz wybranych odcinków brzegu morskiego. W tym samym czasie wcześniejsze atlasy zostały zaktualizowane (Frankowski i in., 2018). Efekty tych prac w formie dokumentów i opracowań cyfrowych czyli tzw. atlasów są udostępnione na stronie <http://atlas.pgi.gov.pl> i aktualizowane w miarę powiększania zbioru danych. Od 2018 r. realizowane są atlasy Szczecina i Lublina–Świdnika (ryc. 3). Wybór miast i aglomeracji nawiązuje do *Koncepcji Przemysłowego Zagospodarowania Kraju 2030* (Uchwała, 2011).

W 2013 r. kartografia geologiczno-inżynierska została włączona do głównych zadań PSG. Prace uzyskały stabilne, przewidywalne finansowanie ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Początkowo były to dwa tematy:

– *Prowadzenie i aktualizacja Bazy Danych Geologiczno-Inżynierskich (BDGI) wraz ze sporządzeniem Atlasu geologiczno-inżynierskiego wybranych obszarów kraju w skali 1 : 10 000 (2013–2018)*,

– *Baza danych właściwości fizycznych i mechanicznych głównych typów litogenetycznych gruntów i skał w Polsce w ujęciu regionalnym (2014–2017)*.



Ryc. 2. Wybrane publikacje książkowe z zakresu geologii inżynierskiej wydane przez PIG-PIB w latach 1999–2019
 Fig. 2. Chosen engineering-geological publications published by PGI-NRI in the years 1999–2019

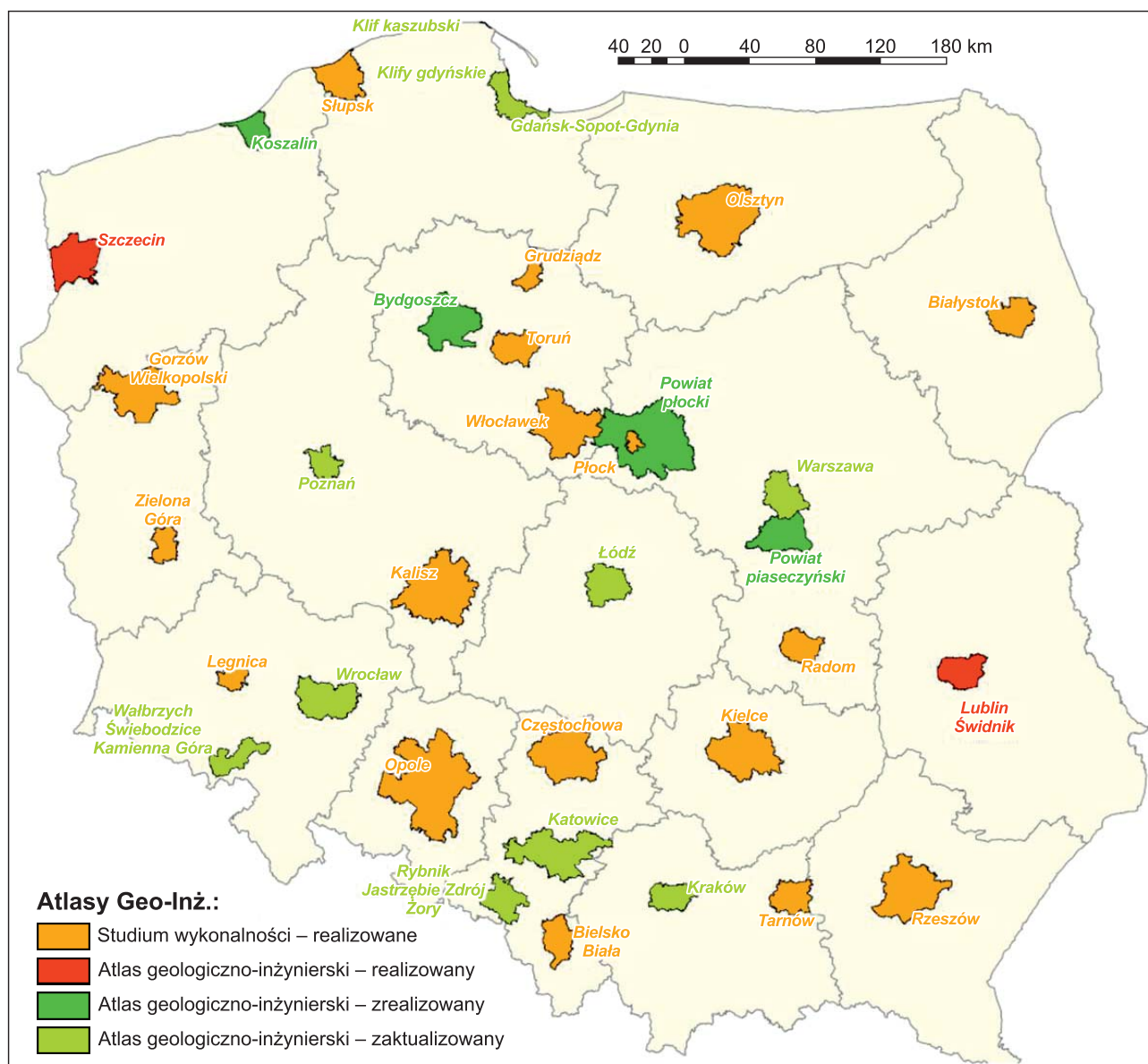
Obecnie połączone są w jeden temat pod nazwą: *Prowadzenie i aktualizacja bazy danych geologiczno-inżynierskich (BDGI) oraz właściwości fizycznych i mechanicznych gruntów i skał (BDGI-WFM) wraz ze sporządzeniem Atlasów geologiczno-inżynierskich wybranych obszarów kraju w skali 1 : 10 000 (2018–2021)*.

Baza danych geologiczno-inżynierskich (BDGI-WFM), udostępniana pod adresem <http://atlasy.pgi.gov.pl>, obejmuje obecnie >400 tys. otworów wiertniczych i 33 warstwy informacyjne, dotyczące: serii geologiczno-inżynierskich na wybranych głębokościach, głębokości występowania pierwszego zwierciadła wód gruntowych, sposobu zagospodarowania powierzchni, zagrożeń geologicznych itp. Z bazy wygenerowano 15 atlasów i ponad 3 500 arkuszy map. W 2018 r. baza BDGI-WFM otrzymała wyróżnienie w kategorii Produkt/Technologia w obszarze geoinżynierii w konkursie *TYTAN 2018*, przyznawanej przez Wydawnictwo INŻYNIERIA, a w 2019 r. prestiżową nagrodę *SAG 2019* (Special Achievement in GIS), którą przyznała firma

ESRI Inc. za wybitne osiągnięcia w pracy z technologią GIS.

Nowym istotnym kierunkiem rozwoju geologii inżynierskiej w PIG-PIB, zapoczątkowanym w 2013 r., jest geotermia niskotemperaturowa (płytką, otworowe wymienniki ciepła o głębokościach w przedziale 40–200 m p.p.t.) i geotermia inżynierska (bardzo płytką, termoaktywne elementy posadowienia o głębokościach 0–40 m p.p.t.). Od 2017 r. tworzona jest ogólnokrajowa baza danych GIS o geotermii niskotemperaturowej (BDGNT), na podstawie której są opracowywane mapy potencjału geotermii niskotemperaturowej (MPGN) zawierające informacje o ilości energii cieplnej, możliwej do pozyskania w instalacjach pomp ciepła z wymiennikami gruntowymi (ryc. 4). Mapy te mogą być wykorzystywane do wstępnej oceny efektywności instalacji tzw. płytkiej geotermii.

Równoległe doskonalona jest metodyka oceny wydajności instalacji płytkiej geotermii (pomp ciepła z wymiennikiem gruntowym). Zespół geologii inżynierskiej wdrożył metodykę dotyczącą pomiarów potencjału niskotemperaturo-



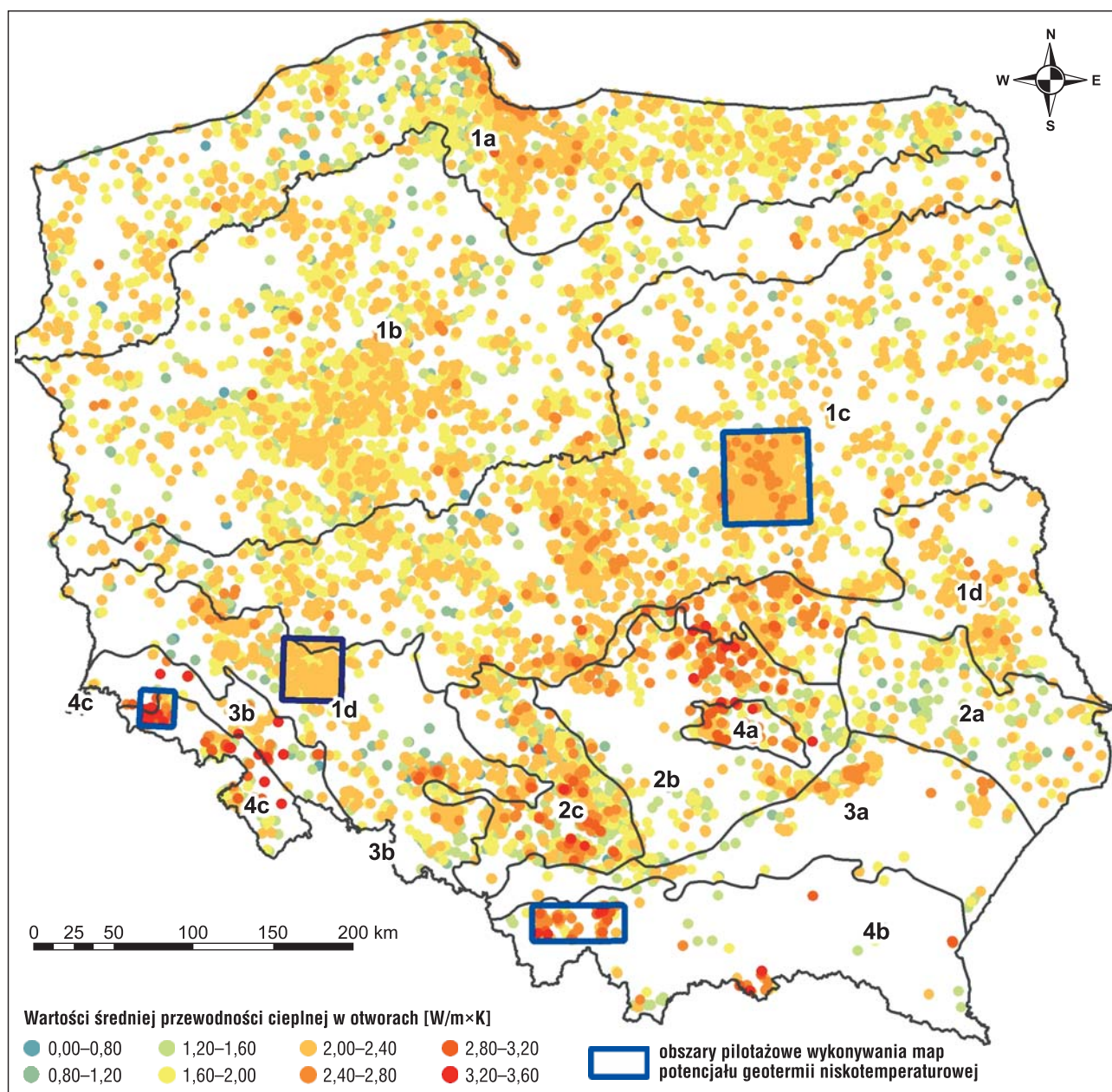
Ryc. 3. Stan prac w zakresie opracowywania atlasów geologiczno-inżynierskich w skali 1 : 10 000 (<http://atlasy.pgi.gov.pl>)
Fig. 3. Status of works in development of geological and engineering Atlases in 1 : 10 000 scale (<http://atlasy.pgi.gov.pl>)

wej energii geotermalnej, poprzez wykonywanie szeregu testów sondą TRT (*thermal response test*), w celu określania parametrów termicznych skał i gruntów. Obecnie są prowadzone prace nad zastosowaniem badań z zakresu geofizyki inżynierskiej do określania potencjału termalnego podłoża oraz badania laboratoryjne ukierunkowane na określenie przewodności cieplnej oraz właściwości termomechanicznych gruntów i skał.

Zespół geologii inżynierskiej jest także od lat zaangażowany w badania dotyczące lokalizacji obiektów budowlanych związanych z energetyką jądrową. Prowadzony jest monitoring Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie, a w latach 1988–1990 instytut prowadził prace wspierające, zmierzające do wyznaczenia nowej lokalizacji powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych. W latach 1997–1999 dokonano przeglądu i wytypowano potencjalne lokalizacje nowego składowiska powierzchniowego odpadów promieniotwórczych w Polsce. W latach 1989–2017 pracownicy instytutu wykonali kilkadziesiąt opracowań o charakterze doradczo-ekspertckim w obszarze gospodarki odpadami

promieniotwórczymi oraz opracowali projekty robót geologicznych dla wskazanych dwóch lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. W latach 2013–2017 instytut, jako lider konsorcjum składającego się z interdyscyplinarnego panelu ekspertów we współpracy międzynarodowej, wykonał prace dotyczące opracowania metodyki oceny bezpieczeństwa i wskazania nowej optymalnej lokalizacji płytkiego składowiska odpadów promieniotwórczych (SOP) nisko- i średnioaktywnych.

W roku 2014 w zespole geologii inżynierskiej utworzono grupę zajmującą się geofizyką inżynierską, która jest wyposażona w najnowszej generacji sprzęt pomiarowy, zakupiony zarówno ze środków NFOŚiGW, jak i własnych instytutu, w tym zleceń komercyjnych. Włączenie metod geofizycznych do zasobu metod badawczych stosowanych w geologii inżynierskiej pozwoliło na uzyskanie nowej jakości prowadzonych prac. Wprowadzenie rozpoznania geofizycznego dało możliwość obrazowania zmienności i anomalii przestrzennych w budowie geologicznej nie tylko standardowo w dwóch, ale także niekiedy w trzech wymiarach



Ryc. 4. Wybrane obszary projektu MPGN na tle mapy przewodności cieplnej w otworach wiertniczych w strefie 0–40 m p.p.t. (Ryżyński i in., 2020)

Fig. 4. Chosen areas of MPGN project on the map of thermal conductivity in boreholes in the zone of 0–40 m below the Surface (Ryżyński i in., 2020)

Przez ostatnie 5 lat prowadzono liczne prace metodyczne w zakresie metod elektrooporowych, w tym tomografii elektrooporowej, profilowań konduktometrycznych, całej gamy metod sejsmiki inżynierskiej – sejsmicznej tomografii refrakcyjnej fali P i fali S, analiz fal powierzchniowych oraz tomograficznych prześwietlań sejsmicznych. Zespół geologii inżynierskiej, dzięki włączeniu najnowszych narzędzi geofizycznych, zaczął wyznaczać nowe standardy badań w skali kraju. Metody geofizyki inżynierskiej są obecnie stosowane na potrzeby rozwoju infrastruktury, oceny stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych, budowy ziemnych, identyfikacji i diagnozy stateczności stref osuwiskowych, oceny sztywności i sprężystości podłoża pod skomplikowanymi konstrukcjami.

Doskonalone są laboratoryjne techniki badawcze w utworzonym w instytucie Centrum Badań Gruntów i Skół

(CBGS). Laboratorium to może poszczycić się uzyskaniem w 2015 r. certyfikatu Polskiego Centrum Akredytacji i stale utrzymuje najwyższe standardy, co potwierdzają kolejne audyty. Posiada ono, poza standardową aparaturą, także komorę rezonansową, aparat trójosiowego ściskania pracujący w wysokich ciśnieniach w zmiennym zakresie temperatur, a także aparaty trójosiowego ściskania z możliwością pomiaru fal sejsmicznych. Od dwóch lat laboratorium włączyło się w opracowanie metodyki badań właściwości cieplnych gruntów i skał m.in. z zastosowaniem tzw. igły termicznej. Obecnie metodyka ta jest już stopniowo wdrażana.

Dużo uwagi w zespole poświęca się także doskonaleniu metodyki badań polowych z zastosowaniem sondowań dynamicznych, statycznych, dylatometrycznych włącznie z ustalaniem zależności korelacyjnych dla gruntów pro-

blematycznych, np. lessów (Frankowski i in., 2010) i zwietrzelin (Roguski, 2014).

Istotną działalnością jest również upowszechnianie i popularyzacja wiedzy o geologii inżynierskiej poprzez organizację konferencji i szkoleń. Działania te dotyczą prowadzenia internetowych serwisów tematycznych (<http://atlasy.pgi.gov.pl> i <https://www.pgi.gov.pl/drogi.html>), udziału w organizowanych przez instytut specjalistycznych szkoleniach dla administracji samorządowej oraz współpracy przy prowadzeniu serwisu internetowego w tym zakresie, cyklicznej organizacji Ogólnopolskiego Sympozjum *Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce*.

PRZYSZŁOŚĆ GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ W PIG-PIB

Pozycja geologii inżynierskiej w strukturze zadań państwowej służby geologicznej jest ugruntowana. Stale rosnące zapotrzebowanie na wiedzę o podłożu budowlanym i coraz większe wymagania dotyczące jakości i dokładności wykonywanych badań są związane z powstawaniem coraz ambitniejszych i śmielszych projektów konstrukcyjnych. W dalszym ciągu będą doskonalone stosowane techniki badawcze (polowe, laboratoryjne i geofizyczne) oraz rozwijane nowoczesne techniki pozyskiwania danych (np. teledetekcja, kartowanie terenu z zastosowaniem bezzałogowych statków powietrznych, np. dronów).

W perspektywie najbliższych lat aktualizowana będzie baza danych charakteryzujących właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów i skał (BDGI-WFM), uwzględniająca doświadczenia zbierane w kolejnych lokalizacjach inwestycyjnych. Baza będzie stopniowo rozszerzana o właściwości termalne. Na jej podstawie zostaną opracowane kolejne atlasy geologiczno-inżynierskie. Te ostatnie okazały się bardzo przydatnym narzędziem w planowaniu przestrzennym miast, czego przykładem jest współpraca z Urzędem m.st. Warszawy. Dane uzyskane podczas sporządzania atlasów i bazy BDGI posłużą także do przygotowania nowej regionalizacji Polski ze względu na warunki geologiczno-inżynierskie, która zostanie prawdopodobnie wydana w formie zbiorczej publikacji książkowej. W dalszym ciągu będzie powiększany zasób cyfrowych map geologiczno-inżynierskich, obok map w skali 1 : 300 000 planowane jest rozpoczęcie opracowywania seryjnych map geologiczno-inżynierskich w skali 1 : 50 000.

Dalszego rozwoju wymaga ocena potencjału energetycznego i uwarunkowań środowiskowych dla wsparcia zrównoważonego rozwoju geotermii niskotemperaturowej. Obserwuje się zapotrzebowanie na mapy potencjału energetycznego w skali 1 : 50 000 pod gruntowe wymienniki ciepła dla całej Polski. Uzupełniłyby one (wraz z planowanymi mapami geologiczno-inżynierskimi i geomorfologicznymi w skali 1 : 50 000) istniejący komplet map seryjnych PIG-PIB.

W najbliższych latach przewiduje się dalszy rozwój prac kartografii geologiczno-inżynierskiej, ze szczególnym uwzględnieniem obszaru Morza Bałtyckiego w odniesieniu do projektowanych morskich farm wiatrowych, co podkreślono w *Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku*. W dalszym ciągu będą promowane inicjatywy polegające na budowaniu baz danych geologiczno-inżynierskich na

potrzeby dużych projektów budowlanych o charakterze strategicznym. Upowszechnienie tworzenia modeli geologicznych 2D i 3D, z uwzględnieniem zmian w czasie (4D) dla takich inwestycji, będzie umożliwiało monitorowanie i prognozowanie zmian środowiska geologicznego na każdym etapie realizacji i eksploatacji inwestycji. Z tego powodu istotnym kierunkiem rozwoju będzie kontynuacja próby standaryzacji pozyskiwanych i gromadzonych danych (formatów, słowników, struktur itp.).

Z uwagi na wzrost zapotrzebowania instytucji rządowych i samorządowych na wysokiej jakości badania podłoża, przyszłością geologów inżynierskich z instytutu jest świadczenie usług badawczo-rozwojowych, konsultacyjnych i doradczych, w celu oceny i poprawy jakości badań podłoża budowlanego wykonywanych przez podmioty komercyjne. Dotyczy to w szczególności projektów realizowanych przez inwestorów strategicznych, tj. projektów o znaczeniu krajowym, w tym m.in. kluczowych inwestycji drogowych, centralnego portu komunikacyjnego (węzeł przesiadkowy między Warszawą i Łodzią, integrujący transport lotniczy, kolejowy i drogowy), morskich farm wiatrowych, krajowego powierzchniowego i podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych, elektrowni jądrowych, efektywności energetycznej obiektów użyteczności publicznej, a może nawet głębokiego składowania odpadów i dwutlenku węgla.

Przewiduje się, że nadal będą kontynuowane prace nad opracowaniami metodycznymi w formie poradników i instrukcji. W najbliższej przyszłości zespół geologów inżynierskich planuje opracowanie i wydanie następujących pozycji:

- badania geologiczno-inżynierskie z zastopowaniem metod geofizyki inżynierskiej, planowane do zakończenia w 2021 r.,

- zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania i składowania – w 2022 r.,

- metodyka opracowania map potencjału geotermalnego Polski w skali 1 : 50 000 i 1 : 10 000 – w 2021 r.

W dalszej perspektywie są plany opracowania następujących publikacji:

- wytycznych wykonywania badań podłoża budowlanego na potrzeby morskich farm wiatrowych,

- zasad dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby obiektów jądrowych i składowisk odpadów promieniotwórczych,

- zasad dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby posadawiania obiektów hydrotechnicznych wraz ze wskazaniem obszarów przydatnych do lokalizacji zbiorników wodnych (retencjonowanie wód opadowych),

- metodyki opracowania i udostępniania i aktualizacji map geologiczno-inżynierskich Polski w skali 1 : 50 000.

Potrzeba przygotowania tego typu publikacji jest widoczna, a zainteresowanie instytucji, firm wykonawczych czy organów kontrolnych jest duże, gdyż ich zawartość pomaga zachować i egzekwować wysoką jakość opracowań geologicznych, niezbędnych w procesie projektowania. Do wykonania takich opracowań konieczna jest współpraca z różnymi instytucjami oraz wymiana informacji na temat potrzeb i możliwości technicznych inwestora.

W dalszej perspektywie będą prowadzone już wstępnie zainicjowane projekty związane z wykorzystaniem włas-

ciwości ciepłych gruntu przez obiekty budowlane posiadające termoaktywne elementy konstrukcyjne (termopale, termopłyty itp.) (Ryżyński, Bogusz, 2016), zgodne z duchem inteligentnego korzystania z potencjału środowiska geologicznego (geotermia inżynierska).

Ponadto w wyniku szybkiego rozwoju gospodarczego, zwłaszcza miast, coraz intensywniej jest wykorzystywana przestrzeń podziemna. W wielu krajach europejskich podejmowane są prace dotyczące zarządzania przestrzenią podziemną na różnych poziomach (obiektu budowlanego – BIM/geoBIM, miasta – CIM/geoCIM, kraju – NIM/geoNIM) i tworzone odpowiednie ku temu narzędzia. Powstała grupa ekspercka EuroGeoSurveys Urban Geology Expert Group mająca na celu standaryzację prac związanych z geologią miejską. Dlatego przewiduje się znaczący rozwój kartografii geologiczno-inżynierskiej w kierunku coraz intensywniejszego zagospodarowania miejskiej przestrzeni podziemnej np. kondygnacje i parkingi podziemne budynków, obiekty użyteczności publicznej, sieć podziemnej infrastruktury przesyłowej i komunikacyjnej. Działania te są zgodne z ideą Smart City, koniecznością wprowadzenia podczas realizacji inwestycji finansowanych ze środków publicznych technologii BIM/geoBIM (Building Information Modelling) oraz gospodarowania i zarządzania przestrzenią podziemną miast CIM/geoCIM (City Information Modelling) i kraju NIM/geoNIM (National Information Modelling) (Frankowski i in., 2018; Majer i in., 2018).

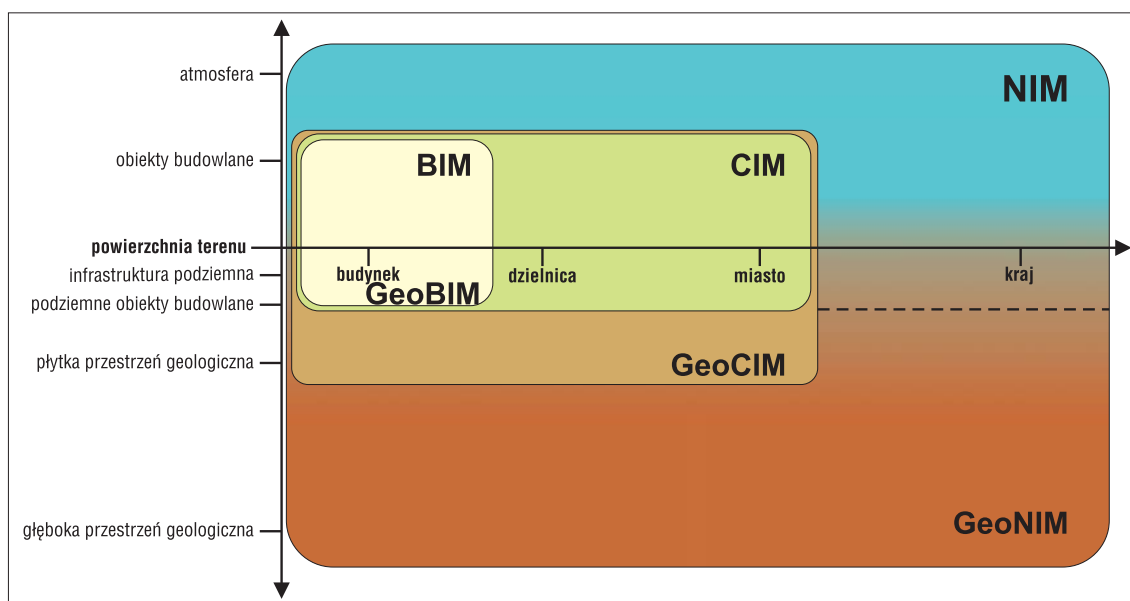
Aby sprostać wyzwaniom związanym ze zrównoważonym rozwojem miast i rozwijającym się stosowaniem narzędzi BIM, powstała koncepcja CIM, czyli miejskiego modelowania informacyjnego 2D i 3D, a nawet 4D z uwzględnieniem zmian w czasie, zainicjowana i kontynuowana przez urbanistów (COST, 2013–2017). Dzieje się tak dlatego, że CIM charakteryzuje się inteligentnym zarządzaniem informacją związaną z przestrzenią miejską. Idea ta może być wykorzystywana do zrównoważonego zarządzania środowiskiem miejskim. Ważne jest, żeby był dostęp do informacji o właściwościach podłoża, które mają wpływ na projektowanie budynków i infrastruktury miejskiej. W tym celu możliwe jest rozszerzenie schematu CIM

o składową geologiczną i stworzenie koncepcji GeoCIM. Dzięki temu można gromadzić i przetwarzać dane charakteryzujące przestrzeń gruntową i infrastrukturalną poniżej powierzchni terenu w skali właściwej dla miasta, co jest wyraźnym wymogiem zrównoważonego planowania i zarządzania przestrzenią miejską (ryc. 5).

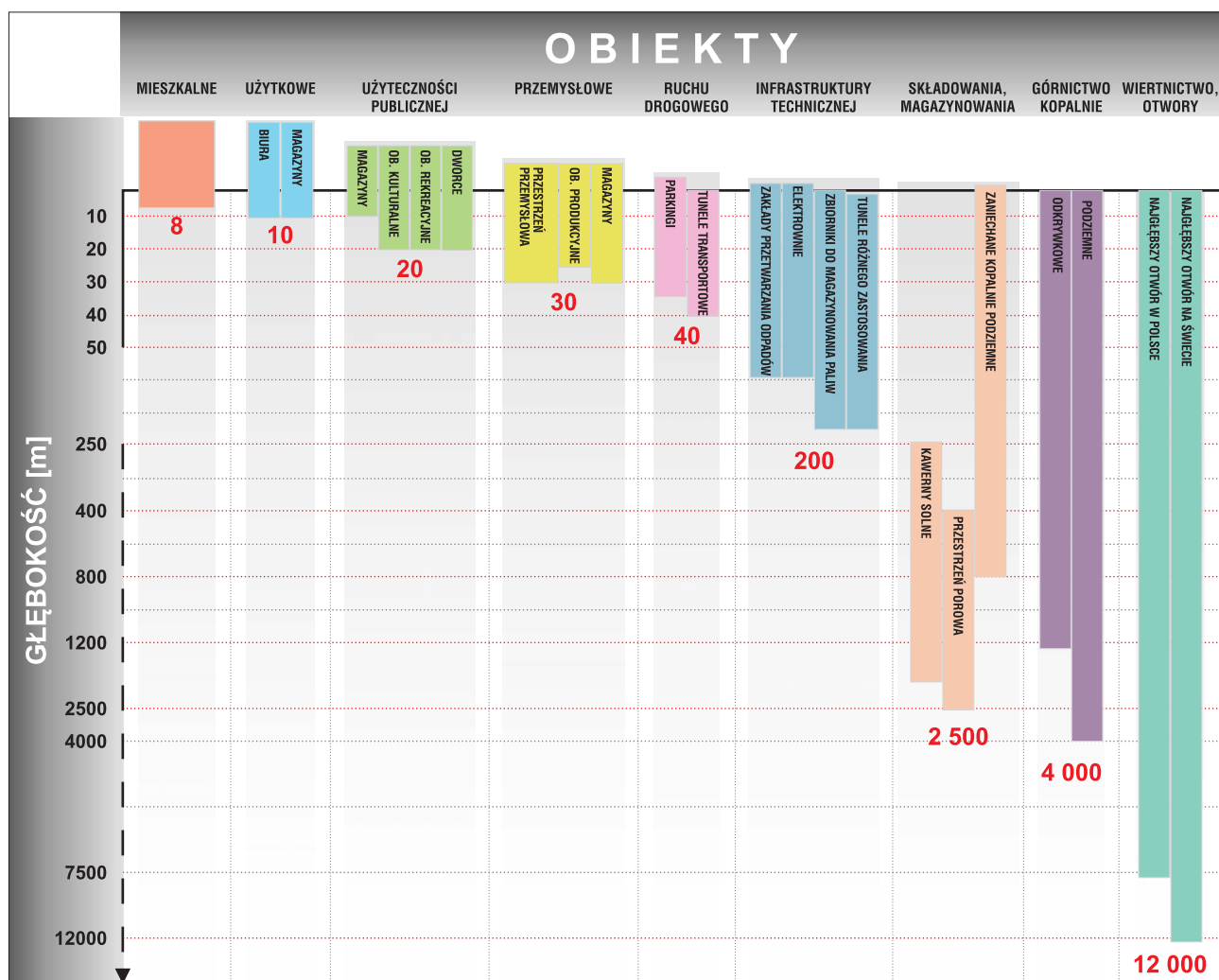
Istotnym kierunkiem jest włączenie się w prace dotyczące uwzględnienia w planowaniu przestrzennym zagospodarowania przestrzeni podziemnej na poziomie kraju i szczeblach niższych. W tym celu istotny jest udział w przygotowaniu koncepcji zagospodarowania przestrzeni podziemnej, która uzupełniłaby *Koncepcję Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030* (Uchwała, 2011), a w dalszej perspektywie – w pracach dotyczących zarządzania przestrzenią podziemną na różnych poziomach zarówno administracyjnych, jak i głębokościowych, w zależności od potrzebnej dokładności/rozdzielczości (ryc. 6).

Jednak w celu optymalnego wykorzystania możliwości stosowania tych systemów zarządzania konieczne będzie włączenie się w prace normalizacyjne i legislacyjne w tym zakresie, z uwagi na niewątpliwe korzyści dla wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego.

Bardzo ważnym kierunkiem rozwoju jest upowszechnianie i popularyzacja wiedzy o geologii inżynierskiej, geotermii niskotemperaturowej, geotermii inżynierskiej oraz geofizyce inżynierskiej. Działania te będą realizowane poprzez organizację konferencji i szkoleń oraz prowadzenie serwisów internetowych, aby dotrzeć do jak największej grupy interesariuszy. W ramach tych prac zostanie zmodernizowana strona internetowa <http://atlasy.pgi.gov.pl>, która umożliwi szybki dostęp do baz wiedzy, danych geologicznych i informacji o projektach. Planuje się również rozpoczęcie cyklu komercyjnych szkoleń w zakresie: wdrażania nowoczesnych badań do praktyki dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich, cyfryzacji w geologii inżynierskiej, wdrażania narzędzi elektronicznego modelowania danych budowlanych w standardzie geoBIM/geoCIM, wykorzystywania nowoczesnych technologii GIS czy też innowacyjnych kierunków wykorzystania środowiska geologicznego jako źródła energii odnawialnej w inwestycjach



Ryc. 5. Schemat relacji między BIM–GeoBIM, CIM–GeoCIM w zależności od skali przedsięwzięcia (Majer i in., 2018)
Fig. 5. Diagram of relations between BIM–GeoBIM and CIM–GeoCIM depending on the scale of the investment (Majer i in., 2018)



Ryc. 6. Zasięg głębokościowy zagospodarowania przestrzeni podziemnej (Majer i in., 2018, zmienione)

Fig. 6. Depth range of underground space development (Majer et al., 2018, modified)

budowlanych. Wymianie poglądów oraz przekazywaniu informacji o najnowszych doświadczeniach profesjonalnych i naukowych służy m.in. organizowane co 3 lata, począwszy od 1979 r., Ogólnopolskie Sympozjum *Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce* (WPGI). Planujemy, aby na tej konferencji był sukcesywnie rozszerzany zakres tematyczny badań i wdrożeń, a w przyszłości nadanie temu wydarzeniu statusu międzynarodowego.

PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano, jak w czasie ostatniego stulecia zmieniało się postrzeganie roli geologii inżynierskiej i kierunku działalności w tej dziedzinie podejmowanej w Państwowym Instytucie Geologicznym.

Obecnie dostrzegane trendy w rozwoju geologii inżynierskiej zmiernają w kierunkach (ryc. 7):

- doskonalenia istniejących technik badawczych (badań polowych, laboratoryjnych i geofizycznych) (ryc. 8);
- wprowadzania nowoczesnych metod pozyskiwania danych (np. teledetekcji);

- rozwoju metod gromadzenia i przetwarzania danych, w tym technik modelowania (standaryzacja BIM i CIM);
- współpracy przy opracowaniu krajowej koncepcji zagospodarowania przestrzeni podziemnej, a w dalszej perspektywie udział w zarządzaniu przestrzenią podziemną kraju;
- standaryzacji działań w zakresie zarządzania informacją o podłożu (Eurokody, SmartCity) i ich integracja ze standardami europejskimi;



Ryc. 7. Główne obszary i kierunki rozwoju geologii inżynierskiej

Fig. 7. Main areas and directions of engineering geology development



Ryc. 8. **A** – eksperymentalne badania parametrów fizycznych gruntu na potrzeby rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich. Prototyp wibromłota do wbijania sondy uniwersalnej w celu wykonania pomiarów oporności właściwej, oporu, wilgotności objętościowej i gęstości objętościowej gruntu na poligonie doświadczalnym. Pomiary wykonuje dr M. Borowczyk, pomysłodawca urządzenia. **B** – badania skarp rekultywowanych odkrywek kopalni węgla brunatnego w rejonie Adamowa w celu określenia ich stateczności. Sondowania sondą ciężką (DPH) wykorzystywane na potrzeby określenia stopnia zagęszczenia gruntów. **C** – badania presjometryczne wykonywane presjometrem Menarda oraz próbné pompowania na potrzeby odwadniania wykopów prowadzone w rejonie budowy elektrowni Dolna Odra k. Gryfina. **D** – wiercenia geologiczno-inżynierskie o głębokości 50 m metodą obrotową rdzeniową wykonywane na poligonie badawczym w rejonie archiwum próbek geologicznych w Leszczach. Doświadczenia z wykonanych prac zostały wykorzystane do opracowania *Wytycznych wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego* (Wytyczne, 2018)

Fig. 8. **A** – experimental studies of soil physical parameters for identifying geological and engineering conditions. A vibratory hammer prototype for driving a universal probe to measure specific resistance, resistance, bulk water content and density on the test site. Measurements were made by Dr. M. Borowczyk, the originator of the device. **B** – investigation of slopes of reclaimed open-pit lignite mines around Adamów in order to determine their stability. Heavy dynamic penetrometer (DPH) used to determine the degree of compaction. **C** – pressuremeter tests performed by means of a Menard pressuremeter and pumping tests for the purpose of excavation drainage, carried out on the construction site of the Dolna Odra power plant near Gryfino. **D** – geological and engineering drillings down to a depth of 50 m using a cored rotary method, performed on the test site near the Geological Samples Archive in Leszcze. The experience gained during that work was used to develop *Guidelines for subsoil site investigations for transport infrastructure* (Wytyczne, 2018)

– zrównoważonego korzystania z nowych aspektów potencjału środowiska geologicznego – geotermii niskotemperaturowej i geotermii inżynierskiej (np. dostarczanie danych do projektowania termoaktywnych elementów konstrukcji, które ogrzewają lub chłodzą obiekty budowlane, sezonowe magazynowanie energii cieplnej w gruncie);

– prowadzenia działalności doradczej w ramach porozumień o współpracy z inwestorami strategicznymi i instytucjami rządowymi, po to aby poprawić jakość i wiarygodność korzystania z danych o podłożu gruntowym;
– upowszechniania i popularyzacji wiedzy o geologii inżynierskiej, geotermii niskotemperaturowej, geotermii

inżynierskiej oraz geofizyce inżynierskiej poprzez organizację konferencji i szkoleń.

Geologia inżynierska jest dziedziną interdyscyplinarną – wykorzystuje informacje z różnych działów geologii (np. hydrogeologii, geologii złożowej, geologii dynamicznej) i innych nauk (m.in. hydrologii, urbanistyki, budownictwa), dostarczając danych do optymalnego planowania przestrzennego, gospodarowania przestrzenią podziemną oraz przygotowania inwestycji, realizacji i eksploatacji obiektów budowlanych. Poprzez swój aplikacyjny charakter jest ona otwarta na innowacje i nowe trendy w rozwoju współczesnego świata, stale wdraża wyniki prac naukowych w działalności różnych sektorów gospodarki, włączając w to sektor kosmiczny. Już wykorzystuje informacje o powierzchni Ziemi z monitoringu satelitarnego, a także rozwija się w kierunku przystosowanie maszyn do poruszania się po powierzchni ciał pozaziemskich. W niedalekiej przyszłości konieczne będzie określanie możliwości posadawiania obiektów budowlanych na naturalnych satelitach lub planetach poza Ziemią, które staną się potencjalnymi miejscami kolonizacji kosmosu przez człowieka.

Autorzy serdecznie dziękują Recenzentowi za wnikliwe uwagi i umożliwienie opublikowania artykułu dotyczącego nowych kierunków rozwoju w geologii inżynierskiej.

LITERATURA

- BAŻYŃSKI J. 1960 – Geologiczno-inżynierskie problemy Huty im. Bolesława Bierut. Wyd. Geol., Warszawa.
- BAŻYŃSKI J. 1982 – Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 44. Wyd. Geol., Warszawa
- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S., WYSOKIŃSKI L. 1999 – Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., GRANICZNY M. 1974 – Wytczne dokumentowania geologiczno-inżynierskiego dla obiektów liniowych. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 26. Wyd. Geol., Warszawa.
- BAŻYŃSKI J., GRANICZNY M., KOWALSKI W.C. 1985 – Teledetekcja geologiczna w Polsce i na świecie. Prz. Geol., 33 (11): 597–602.
- BAŻYŃSKI J., KUHN A., KASTORY L., MIŁOSZEWSKA W. 1970 – Wyniki rejestracji osuwisk /opracowanie syntetyczne/ obszar Polski bez Karpat w skali 1 : 500 000. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOROWCZYK M., FRANKOWSKI Z. 1979 – Wytczne wykonywania badań lessów metodami polowymi. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 40. Wyd. Geol., Warszawa.
- BOROWCZYK M., FRANKOWSKI Z. 1980 – Wytczne określania współczynnika filtracji i oporności właściwej gruntu do głębokości 10 m metodą polową. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 43. Wyd. Geol., Warszawa.
- COST Action TU1206 SUB-URBAN, 2013–2017 – An European network to improve understanding and use of the ground beneath our cities.
- DOBĄK P., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., FROLIK A., KACZYŃSKI R., KOTYRBA A., PINIŃSKA J., RYBICKI S., WOŹNIAK H. 2009 – Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla celów likwidacji kopalń. Min. Środ., Warszawa.
- FORTUNAT W. 1960 – Charakterystyczne cechy fizyczne trzeciorzędowych ilów Warszawy, Bydgoszczy i Tarnobrzegu. Biul. Inst. Geol., 163: 125–155.
- FRANKOWSKI Z., BAŻYŃSKI J., ZAWADZKI R., LEWKOWICZ M., SMAGAŁA S., WYSOKIŃSKI I., MAJER E., ŁUKASIK S., FILIPOWICZ A., SOBIECH J. 2000 – Atlas geologiczno-inżynierski Warszawy. PIG, ITB, Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., GODLEWSKI T., IRMIŃSKI W., ŁUKASIK S., MAJER E., NAŁĘCZ T., SOKOŁOWSKA M., WOŁKOWICZ W., CHADAŁA K., CHOROMAŃSKI D., GAŁKOWSKI P., JAŚKIEWICZ K., JURYS L., KACZYŃSKI Ł., MADEJ M., MAJER K., PIETRZYKOWSKI P., SAMEL I., WSZĘDYRÓWNY-NAST. M. 2012 – Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., GRANICZNY M., JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B., KRAMARSKA R., PRUSZAK Z., PRZEZDZIECKI P., SZMYTKIEWICZ M., WERNO M., ZACHOWICZ J. 2009 – Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskich warunków posadawiania obiektów budownictwa morskiego i zabezpieczeń brzegu morskiego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FRANKOWSKI Z., KRÓLIKOWSKI C., LINOWSKI H. 1973 – Badania parametrów dynamicznych gruntu. Inż., Bud., 2: 506–510.
- FRANKOWSKI Z., MAJER E., PIETRZYKOWSKI P. 2010 – Geological and geotechnical problem of loess deposits from south-eastern Poland. Proc. of the International Geotechnical Conference “Geotechnical challenges in megacities”, vol. 2, Moscow: 546–553.
- FRANKOWSKI Z., MAJER E., SOKOŁOWSKA M., RYŻYŃSKI G., OSTROWSKI S., MAJER K. 2018 – Badania geologiczno-inżynierskie prowadzone w Państwowym Instytucie Geologicznym w drugim pięćdziesięcioleciu jego działalności. Prz. Geol., 66 (12): 752–768.
- FRANKOWSKI Z., HERBICH P. 2014 – Zalecenia techniczne Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dotyczące oceny warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych dla lokalizacji obiektów jądrowych. Warszawa.
- <http://atlasy.pgi.gov.pl>
- <https://www.pgi.gov.pl/drogi.html>
- JAKUBICZ B., ŁODZIŃSKA W. 1989 – Zasady metodyczne opracowania map i atlasów geologiczno-inżynierskich obszarów zurbanizowanych i perspektywicznej zabudowy powierzchniowej. Instrukcje i metody badań geologicznych, z. 49. Wyd. Geol., Warszawa.
- JAKUBICZ B., ŁODZIŃSKA W. 1994 – Mapa geologiczno-inżynierska Polski 1 : 500 000. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. 1955 – Osuwiska i zjawiska pokrewne. Wyd. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. 1956 – Zarys geologii inżynierskiej. Wyd. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A. 1962 – Początki geologii inżynierskiej w Polsce. Studia i materiały z dziejów nauki polskiej, seria C, z. 5.
- KŁOSIŃSKI B., BAŻYŃSKI J., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., WIERZBICKI S. 1998 – Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Cz. 1 i 2. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa.
- MAJER E., SOKOŁOWSKA M., FRANKOWSKI Z. (red). 2018 – Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (w świetle wymagań Eurodo 7). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MALINOWSKI J. 1960 – Badania geologiczno-inżynierskie. Czterdzieści lat Instytutu Geologicznego. Pr. Inst. Geol., t. XXX cz. I. Wyd. Geol., Warszawa.
- MALINOWSKI J. 1967 – Geologia inżynierska. Warszawa.
- MALINOWSKI J. 1971 – Badania geologiczno-inżynierskie lessów. Wyd. Geol., Warszawa.
- PIOTROWSKI M. 1955 – Badania przyczyn pęknięcia budynków w Bydgoszczy. Prz. Geol., 3 (2): 58–65.
- ROGUSKI A. 2014 – Geologiczno-inżynierska ocena zwietrzelin gliniastych z południowej Polski. Prz. Geol., 62 (5): 692–698.
- RÓŻYCKI S.Z. 1949 – Geologia inżynierska. [W:] Podręcznik inżynierski. Wyd. Trzaska i Evert Michałowski, Warszawa.
- RYŻYŃSKI G., BOGUSZ W. 2016 – City-scale perspective for thermally active structures in Warsaw. Environ. Geotech., 3 (4): 280–290.
- RYŻYŃSKI G., ŻERUŃ M., KOCYŁA J., KLONOWSKI M.R. 2020 – Estimation of Potential Low-temperature Geothermal Energy Extraction from the Closed-loop Systems Based on Analysis, Interpretation and Reclassification of Geological Borehole Data in Poland. Proceedings of World Geothermal Congress 2020. 26 April–2 May, Reykjavik, Iceland.
- UCHWAŁA Nr 239 Rady Ministrów z dnia 13 grudnia 2011 r. w sprawie przyjęcia koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju 2030. M.P. z 2012 r. poz. 252.
- WATYCHA L. 1955 – Przeglądowa mapa geologiczno-inżynierska Polski w skali 1 : 300 000, ark. Kielce. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WATYCHA L. 1959 – Mapa geologiczno-inżynierska Polski 1 : 1 000 000. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WYTYCZNE wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego. Część 1 – Wytczne badań podłoża budowlanego na potrzeby budownictwa drogowego. Część 2 – Wytczne do oceny stateczności skarp i zboczy na potrzeby budownictwa drogowego. Część 3 – Geomonitoring podłoża i elementów konstrukcyjnych. Nar. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., 2018; www.pgi.gov.pl/drogi
- WYTYCZNE badań podłoża dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej. Załącznik do Uchwały nr 760/2016 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 9 sierpnia 2016 r.; <https://www.plk-sa.pl/dla-klientow-i-kontrahtentow/akty-prawne-i-przepisy/instrukcje-pkp-polskie-linie-kolejowe-sa/instrukcje-z-mozliwoscia-wydruku/>, stan na dzień: 04.05.2020 r.