

## METODYKA REGIONALNYCH INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNYCH BADAŃ KRASU

Tematem poniższego opracowania jest zakres i metodyka regionalnych inżyniersko-geologicznych badań krasu, z wykazaniem, że tylko na podstawie kompleksowych badań geomorfologicznych, geologicznych, hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych można postawić prawidłową inżyniersko-geologiczną prognozę wpływu krasu na całość kształt zagospodarowania terenu.

Jeśli uwzględnić fakt, że w chwili obecnej zaznacza się wyraźna tendencja aktywizacji gospodarczej obszarów krasowych oraz wzmożona ekspansja budownictwa na te obszary, to celowość i konieczność prowadzenia regionalnych inżyniersko-geologicznych badań krasu staje się oczywista.

Wartość tego typu badań zależy w znacznej mierze od ilości zebranych informacji, która jest funkcją stosowanej metodyki badań. Stąd też opracowanie szczegółowej metodyki badań, przystosowanej do rozwiązania specyficznego problemu geologicznego, geomorfologicznego i geodynamicznego, jakim jest kras, może znacznie podnieść efektywność inżyniersko-geologicznej oceny krasu oraz ekonomiczność planowania i (w niektórych przypadkach) dokumentowania na etapie założeń projektowych, a nawet projektu wstępnego.

Regionalne, inżyniersko-geologiczne badania krasu, pozwalają nie tylko (w odróżnieniu od dokumentacji inżyniersko-geologicznej) określić jak można budować, lecz również gdzie można budować w najbardziej korzystnych warunkach.

Poniżej podano tylko ogólne wskazówki metodyczne dotyczące regionalnych inżyniersko-geologicznych badań obszarów krasowych. Podano przy tym także metody, których przydatność sprawdzono w trakcie badań prowadzonych w Katedrze Geologii Inżynierskiej UW.

Podstawową metodą badań inżyniersko-geologicznych jest zdjęcie inżyniersko-geologiczne. Dotyczy to również regionalnych inżyniersko-geologicznych badań krasu. Całość badań można rozbić na 3 etapy:

- 1) etap prac wstępnych,
- 2) etap prac terenowych (zdjęcie inżyniersko-geologiczne),
- 3) etap prac laboratoryjnych i kameralnych.

Prace wstępne, to przede wszystkim studia materiałów archiwalnych i literatury. Na podstawie dokładnego zapoznania się z całością literatury i materiałów archiwalnych należy dokonać wstępnej ogólnej charakterystyki obszaru objętego regionalnymi badaniami krasu. Ogólna charakterystyka obszaru powinna obejmować

opis położenia, morfologii, hydrografii, roślinności, klimatu, gleb oraz aktualnego stanu zagospodarowania, jak również planowanych lub projektowanych prac inżynierskich.

Opis morfologii obszaru powinien obejmować przede wszystkim morfometrię głównych elementów rzeźby terenu. Opis morfologii oparty jest na studiach istniejących materiałów kartograficznych. Stare mapy i plany dostarczyć mogą wstępnych danych o aktywności rozwoju krasu.

Hydrografia. Szczególną uwagę należy zwrócić na ewentualną obecność obszarów bezodpływowych i cieków okresowych oraz na wpływ masywu skał krasowięjących na reżim odpływów i przepływów cieków stałych. Ocenę tę można ująć liczbowo na podstawie analizy porównawczej reżimu przepływów cieku na odcinku zbudowanym ze skał niekrasowięjących i krasowięjących. Azonalny odpływ jednostkowy wskazuje na obecność głębokiego krasu.

Roślinność może stanowić dodatkowy, geobotaniczny wskaźnik skrasowienia obszaru.

Warunki klimatyczne, a szczególnie opady, temperatura i parowanie determinują (obok litologii, roślinności, morfologii itp.) aktualny rozwój procesów krasowych. Sezonowe zmiany klimatu pozwalają wychwycić (najczęściej jedynie jakościowo) związek krasu z warunkami klimatycznymi. Znajomość wielkości jednostkowego odpływu podziemnego i własności chemicznych wód podziemnych (szczególnie zawartości substancji rozpuszczalnej w wodzie) pozwala wyznaczyć jednostkowy deficyt mas w podłożu uwarunkowanym korozją (rozpuszczaniem).

Gleby. Analiza porównawcza współczesnych profilów agrogeologicznych, szczególnie gleb typu rędzin, z profilami kopalnych gleb pozwala na odtworzenie paleoklimatu i paleomorfologii obszaru oraz na ocenę kopalnych procesów wietrzeniowych.

Krótki zarys aktualnego stanu zagospodarowania terenu oraz analiza istniejących planów i projektów zagospodarowania terenu pozwala precyzować cel badań inżyniersko-geologicznych, umożliwia bardziej ekonomiczne zaplanowanie (zaprojektowanie) tych badań oraz wybranie pewnych obszarów do bardziej szczegółowych badań w trakcie wykonywania inżyniersko-geologicznego zdjęcia całego obszaru.

Prace terenowe (zdjęcie inżyniersko-geologiczne). Kompleksowe badania terenowe obejmują badania bu-

UKD 624.131.001.1:551.44:551.3:551.4:551.49

dowy geologicznej (litologii, tektoniki), warunków hydrogeologicznych, geomorfologii i morfometrii krasu łącznie z litologią karstytów i karstolitów, aktywnością procesów krasowych, własności fizyczno-mechanicznych skał oraz złóż kopalin budowlanych związanych z krasem.

Pierwsze dane o budowie geologicznej podłoża i utworów pokrywowych daje analiza materiałów archiwalnych istniejącej literatury oraz analiza mapy geologicznej. Posiadanie zdjęć lotniczych i ich analiza może znacznie przyspieszyć i zmniejszyć koszty badań terenowych.

Badania terenowe powinny dostarczyć danych dotyczących:

- litologii utworów podłoża i utworów pokrywowych,
- tektoniki badanego obszaru, a szczególnie budowy strukturalnej, rozwoju geotektonicznego oraz szczelinowości.

Specjalną uwagę należy zwrócić na ilościową i jakościową analizę szczelinowości. Terenowe badania geologiczne powinny, oprócz rozwiązania zagadnienia stratygrafii, budowy tektonicznej itd. umożliwić:

a) na podstawie badań litologii utworów podłoża, dokonanie podziału tych utworów na kompleksy litofacjalne, charakteryzujące się w przybliżeniu jednokową reakcją wobec działających na nie jednocześnie sumy procesów geodynamicznych;

b) na podstawie badań utworów pokrywowych — dokonanie ich podziału ze względu na wodoprzepuszczalność, profil geologiczny i miąższość;

c) na podstawie badań szczelinowości — dokonanie oceny reżimu hydrodynamicznego i warunków drenażu masywu skalnego „ruchliwości” masywu skalnego, tj. zdolność do przemieszczania się bloków skalnych itp.

Ze względu na olbrzymią rolę warunków hydrogeologicznych dla oceny aktualnego rozwoju procesów krasowych, badania hydrogeologiczne powinny obejmować zasadniczo całość problemów hydrostratyfikacji, hydrodynamiki i hydrochemizmu.

Badania dotyczące hydrostratyfikacji powinny umożliwić ocenę „ciągliwości” lub „nieciągliwości” zwierciadła wód podziemnych. Skomplikowane warunki występowania wód podziemnych w szczelinowatym, krasowiejącym masywie skalnym najczęściej nie pozwalają na wykonanie mapy hydroizohips i hydroizobat. Dla rozwiązania problemu warunków występowania wód oraz „ciągliwości” lub „nieciągliwości” zwierciadła celowe jest wykreślenie i matematyczno-przyrodnicza analiza krzywych zależności rzędnych (lub głębokości występowania) zwierciadła wód podziemnych od rzędnych terenu. Krzywe te pozwalają m. in. ocenić „ciągliwość” zwierciadła wód, miejsca wzmoczonego drenażu, łączność wód podziemnych różnych poziomów oraz związek hydrauliczny wód podziemnych z wodami powierzchniowymi. Metody interpretacji tego typu krzywych będą przedmiotem odrębnego artykułu.

W oparciu o parametry szczelinowości i teorię ruchu cieczy w szczelinowatym ośrodku można dokonać wstępnych obliczeń współczynnika filtracji (fluacji) i prędkości ruchu wód. Wartości te należy uzupełnić danymi archiwalnymi. Wyniki tych obliczeń stanowią mogą podstawę wstępnej oceny:

- wodoprzepuszczalności i wodochłonności masywu skalnego oraz zdolności magazynowania wód w masywie,
- dopuszczalnych ciśnień w trakcie badań wodochłonności i próbnym cementacji,
- pionowej strefowości hydrodynamicznej wód podziemnych,
- możliwości zaopatrzenia w wodę pitną i warunków eksploatacji wód,
- oraz podstawę wydzielenia stref o podwyższonej zasobności wód podziemnych.

Dane dotyczące hydrodynamiki należy uzupełnić pomiarami i analizą wahań zwierciadła wód podziemnych oraz wydajności źródeł. Badania źródeł stanowią mogą cenne uzupełnienie badań opisanych wyżej.

Badania własności fizyczno-chemicznych wód podziemnych powinny dotyczyć temperatury, odczynu, twardości i składu jonowego wód. Wynikiem badań powinna być ocena agresywności (zdolności korodującej) wód podziemnych i jej sezonowej zmienności oraz strefowości wód z punktu widzenia hydrochemicznego. Miarą agresywności wód podziemnych jest nie tylko zawartość  $\text{CO}_2$  agr. lub niedosyt substancji rozpuszczonej, lecz cały skład jonowy wód.

Przed rozpoczęciem badań terenowych form i zjawisk krasowych należy szczegółowo przeanalizować zdjęcia lotnicze, dające nieocenione usługi w badaniach krasu. Badania terenowe powinny dotyczyć:

a) pełnej inwentaryzacji wszystkich form krasowych łącznie z opisem ich morfometrii, warunków występowania, genezy, litologii utworów wypełniających, aktywności, wieku itd;

b) pełnej inwentaryzacji wszelkich innych zjawisk pośrednio lub bezpośrednio wskazujących na obecność krasu np. obecność podłużnych depresji wód podziemnych, obecność źródeł zбочowych lub grzętowych, infiltracja brzegowa i denną wód powierzchniowych, obecność cieków okresowych itd;

c) strefowości występowania form w pionie i poziomie.

Badania te należy uzupełnić badaniami petrograficzno-mineralogicznymi utworów wypełniających depresje krasowe (karstytów i karstolitów) dla określenia warunków paleoklimatycznych i paleomorfologicznych rozwoju krasu, jego wieku i ewolucji.

Efektom badań krasu powinna być wszechstronna charakterystyka wszystkich elementów krasu w ich wzajemnym powiązaniu, a więc ocena:

— związku rozwoju krasu z litologią skał krasowiejących i warunkami drenażu masywu skalnego;

— związku rozwoju krasu z ewolucją geotektoniczną obszaru;

— strefowości występowania i rozwoju krasu w pionie i poziomie;

— ewolucji krasu w czasie do chwili obecnej;

— aktualnego stanu rozwoju krasu i jego aktywności.

Warunkiem prawidłowej oceny wymienionych wyżej zagadnień jest jednoznaczność typizacji krasu, która jest zależna od jednoznacznego zdefiniowania używanych pojęć i terminów. Wieloznaczność szeregu używanych pojęć zmusza już w chwili obecnej do przedyskutowania spraw terminologii krasowej. Zagadnienie to będzie nieco bliżej przeanalizowane w innym miejscu i było już częściowo tematem referatu na otwartym zebraniu naukowym Katedry Geologii Inżynierskiej UW w dniu 20 XI 1964 r.

**Badania laboratoryjne i kameralne.** Poniżej omówiono jedynie niektóre aspekty metodyki badań laboratoryjnych, dotyczących wyłącznie utworów wypełniających depresje krasowe (karstytów). Metodyka badań powinna być zasadniczo zgodna z istniejącymi instrukcjami i normami, a zakres badań ze względu na zróżnicowanie litologiczne tych utworów możliwie szeroki, obejmujący szczególnie oznaczenie: ciężaru właściwego i objętościowego, wskaźników porowatości, granic konsystencji, własności kompresyjnych i deformacyjnych i wytrzymałości na ścinanie.

Ponieważ o reprezentatywności otrzymanych wyników decyduje głównie ilość badań celowe jest stosowanie możliwie prostych, szybkich, a więc tanich metod. I tak np. wyprowadzenie związków korelacyjnych między poszczególnymi parametrami fizycznymi i mechanicznymi, stosowanie dla określenia granicy płynności metody jedno lub dwupunktowej itd. może znacznie obniżyć czas badań, pozwalając na prognozowanie pewnych własności.

W przypadku gruntów spoistych dużą wartość posiada wskaźnik aktywności koloidalnej Skemptona oraz inne pomocnicze oznaczenia (szybkość rozmakania, szybkość osiadania zawiesiny ilowej itd.), będące wskaźnikami składu mineralnego frakcji ilowej. Najczęściej istnieją wyraźne związki korelacyjne między

tymi wskaźnikami a granicami konsystencji, wytrzymałością na ścinanie, spójnością i modułem ściśliwości. W wyniku badań przeprowadza się podział gruntów na serie geomechaniczne (geotechniczne). Od prawidłowości zastosowanego systemu klasyfikacyjnego zależy często w istotny sposób prawidłowa inżyniersko-geologiczna ocena tych gruntów. W przypadku karstów podział ten oparty powinien być na składzie mineralnym frakcji ilowej (wskaźniku aktywności koloidalnej Skemptona), granulometrii gruntów zgodnie z normą PN-55/B-02480 oraz na stanie gruntu. Celowe jest podawanie statystycznej pewności wartości średnich lub podanie wartości gwarantowanych poszczególnych parametrów.

Omówione wyżej badania, uzupełnione dodatkowymi materiałami i obliczeniami, stają się podstawą inżyniersko-geologicznej charakterystyki krasu. Inżyniersko-geologiczna charakterystyka krasu, oprócz podanej już niżej, powinna dodatkowo obejmować:

— określenie stopnia skrasowienia i (lub) aktywności rozwoju krasu;

— ocenę wpływu krasu na warunki zagospodarowania;

— inżyniersko-geologiczną prognozę rozwoju krasu.

Inżyniersko-geologicznej oceny stopnia skrasowienia i aktywności rozwoju krasu należy dokonać na podstawie liczbowego określenia odpowiednich wskaźników. Zależnie od tego, czy wskaźniki te uwzględniają czynnik czasu — wskaźniki liczbowe, charakteryzujące stopień rozwoju krasu, można podzielić na:

1) dynamiczne (= wskaźniki aktywności rozwoju krasu), np. wskaźnik jednostkowego deficytu mas w podłożu ( $G/\text{sek}/\text{km}^2$  lub  $\text{cm}^3/\text{sek}/\text{km}^2$  lub  $\text{mm}/1000$  lat), wskaźnik szybkości powstawania form krasowych ( $n/\text{rok}/\text{km}^2$ ), wskaźniki szybkości powstawania form krasowych o danej średnicy lub powierzchni itd. Wyznaczanie tych wskaźników wymaga często długiego okresu obserwacji,

2) statyczne (= wskaźniki stopnia skrasowienia), np. gęstość form krasowych ( $n/\text{km}^2$ ), częstotliwość występowania form o danej średnicy, głębokości lub powierzchni, wskaźnik skrasowienia powierzchniowego wprowadzony przez J. Bażyńskiego o charakterze kompleksowym itd.

Podstawą obliczeń powyższych wskaźników jest rachunek statystyczny, prawdopodobieństwa i korelacyjny. Obliczenia można znacznie uprościć stosując półgraficzną metodę wyznaczania wartości gwarantowanych. Wyznaczone wartości średnich gwarantowanych stanowią reprezentatywne wartości danej cechy z dokładnością wystarczającą dla praktyki i mogą stać się podstawą projektowania bez naruszenia wymogów bezpieczeństwa budowli. Obliczenia należy w miarę możliwości przeprowadzić dla obszarów  $\pm$  homogenicznych z punktu widzenia geologicznego, hydrogeologicznego i geomechanicznego.

Inżyniersko-geologiczna ocena wpływu krasu na warunki zagospodarowania obszaru powinna obejmować:

1) analizę istniejących szkód budowlanych wraz z odtworzeniem kinetyki działania sił w podłożu oraz mechanizmu deformacji obiektów;

2) ocenę wpływu krasu na warunki nośności podłoża budowlanego; na podstawie analizy strefowości wy-

stępowania krasu w pionie i poziomie powinno się określić, czy kras stanowi głównie komplikację podłoża budowlanego, tj. strefy znajdującej się pod bezpośrednim wpływem naprężeń pod obciążeniem budowlą, czy też obejmują również głębsze strefy podłoża, znajdujące się pod wpływem naprężeń wskutek obciążeń obiektami specjalnymi (np. budownictwa przemysłowego, hydrotechnicznego itd.). Należy również szczegółowo przeanalizować zasięg oddziaływania ewentualnie powstających form krasowych, problem nierównomiernych osiadań itd.;

3) ocenę wpływu krasu na budownictwo mieszkaniowe, przemysłowe, komunikacyjne itd. oraz ocenę wpływu krasu na warunki zaopatrzenia i eksploatację wód podziemnych;

4) analizę bazy surowców budowlanych związanych z krasem oraz ocenę wpływu krasu na złoża kopalni i warunki ich eksploatacji;

5) ocenę sztucznych, wytwarzanych procesów inżyniersko-geologicznych na aktywizację procesów krasowych;

6) analizę możliwych i celowych środków zaradczych i zabezpieczających, wynikającą z inżyniersko-geologicznej oceny kinetyki rozwoju form i procesów oraz warunków występowania, zalegania i zmienności własności fizyczno-mechanicznych gruntów w podłożu budowlanym i głębszym.

Inżyniersko-geologiczna prognoza rozwoju krasu stanowi podsumowanie wszystkich wykonanych badań i obliczeń oraz podsumowanie wyciągniętych wniosków. Prognozę tę przedstawia się w postaci mapy rejonizacji inżyniersko-geologicznej badanego obszaru krasowego. Kryteriami rejonizacji powinny być:

— budowa strukturalna lub tektoniczna,  
— litologia skał podłoża,  
— szczelinowatość i warunki drenażu,  
— miąższość i wodoprzepuszczalność utworów pokrywowych,  
— aktywność rozwoju krasu i (lub) stopień skrasowienia.

Prócz tego na mapie zaznacza się wszelkie istniejące formy wraz z ich typizacją genetyczną, wiekową i morfometryczną oraz aktywnością. W efekcie badany obszar powinno się podzielić na:

1) obszary nadające się do zabudowy bez wykonania szczegółowych badań inżyniersko-geologicznych krasu;

2) obszary wątpliwe, tj. nadające się warunkowo do zabudowy ze względu na stopień skrasowienia lub aktywność krasu, jednak po wykonaniu szczegółowych inżyniersko-geologicznych badań krasu;

3) obszary niecelowe pod zabudowę lub nie nadające się do zabudowy bez wykonania bardzo szczegółowych inżyniersko-geologicznych badań krasu.

Wydaje się, że podana wyżej metodyka badań krasu, oparta na kompleksowej terenowej analizie wszystkich elementów krasu oraz ich wzajemnym powiązaniu, pozwoli poza pełną charakterystyką geomorfologii, geologii i hydrogeologii obszaru i prócz geomorfologiczno-geologicznej charakterystyki krasu, na wszechstronną inżyniersko-geologiczną ocenę wpływu krasu na zagospodarowanie obszaru i może się stać podstawą bardziej ekonomicznego planowania, a nawet projektowania zabudowy tego obszaru.

## SUMMARY

The article presents main methodical problems and extent of regional engineering-geological researches of karst. The methods of karst investigations, elaborated and successfully applied in the Laboratory of Engineering Geology at the University of Warsaw, are adapted to explain a specific geologic, geomorphologic and geodynamic problem of karst, and on account of their complex character may considerably increase the effectiveness of engineering-geological investigations of karst in a given region, the economy of planning, in some cases, of documenting the elementary and even the preliminary projects.

## РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются основные методические вопросы и объем региональных инженерно-геологических исследований карста. Разработанная и успешно применяемая Кафедрой Инженерной геологии методика исследований карста, способная решать своеобразные в геологическом, геоморфологическом и геолого-динамическом отношениях проблемы карста, благодаря своему комплексному характеру может способствовать значительно повышению эффективности инженерно-геологического прогноза развития карста в данном районе, а также снижению затрат на планирование и даже проектирование различных объектов.