

MONITORING ŚRODOWISKA GRUNTOWEGO W POLSCE

Andrzej Jaguś¹

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

e-mail: ajagus@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono systemy monitoringu środowiska przyrodniczego o zasięgu ogólnokrajowym, związane ze środowiskiem gruntowym. Pierwszy to monitoring chemizmu gleb ornych, ujawniający jakość gleb rolniczych w Polsce. Monitorowane jest 216 punktów. Problem stanowi głównie zakwaszenie gleb oraz niedobór przyswajalnego fosforu. Drugi to monitoring suszy rolniczej. Jest oparty na wyznaczaniu klimatycznego bilansu wodnego w powiązaniu ze zdolnościami retencyjnymi gleb. Stwierdzenie suszy uprawnia do uzyskania państwowej pomocy finansowej. Trzeci to monitoring osuwisk, który dotyczy głównie obszaru Karpat Polskich. Wyznaczane są tereny zagrożone ruchami gruntu, a w obrębie osuwisk analizowane są przemieszczenia powierzchniowe (pomiaru GPS) i wgłębne (pomiaru inklinometryczne). Opisano zakres każdego monitoringu, a także podano liczne informacje metodyczne. Zwrócono uwagę na praktyczne aspekty działań monitoringowych. Wyniki każdego monitoringu są w różnym zakresie dostępne do wiadomości publicznej, co umożliwia ich dyskusowanie.

Słowa kluczowe: monitoring środowiska, jakość gleb, susza rolnicza, osuwisko ziemne

MONITORING OF THE GROUND ENVIRONMENT IN POLAND

ABSTRACT

The article presents nationwide environmental monitoring systems related to the ground environment. The first system is the monitoring of chemical properties of arable soil, aiming to estimate the quality of agricultural soils in Poland. Totally 216 points are being monitored. The problem is mainly soil acidification and a deficiency of available phosphorus. The second one is monitoring of agricultural drought. It is based on the determination of the climate water balance in connection with soil retention capacity. When a drought is confirmed it entitles to receive state financial assistance. The third system is the landslides monitoring, which mainly concerns the area of the Polish Carpathians. The areas endangered by ground movements are indicated, and within landslides surface of ground displacements (GPS measurements) and deep movements (inclinometric measurements) are analyzed. The scope of each monitoring was reviewed, as well as numerous methodological information was given. The attention was paid to practical aspects of the monitoring activities. The results of each monitoring are available to be public message in varying degrees, which makes it possible to discuss them.

Keywords: environmental monitoring, quality of soil, agricultural drought, landslide

WSTĘP

Monitorowanie parametrów środowiska stało się bardzo rozpowszechnione, a wyniki pomiarów są dyskutowane nie tylko w kręgach naukowych, bądź administracyjnych, ale także obywatelskich. Największe zainteresowanie publiczne wydaje się budzić monitorowanie po-

wietrza atmosferycznego, a ściślej jego jakości [Malec i Borowski 2016], obecnie głównie w kontekście występowania zjawisk smogowych. Pożądane są również np. informacje dotyczące jakości wód powierzchniowych [Ciećko i Panek 2019], zwłaszcza pod kątem możliwości powszechnego z nich korzystania (kąpieli, wędkarstwa). Mniejsze zainteresowanie i bardziej

w skali lokalnej znajdują wyniki monitoringu innych parametrów środowiska, np. klimatu akustycznego, elementów różnorodności biologicznej, promieniowania jonizującego i pól elektromagnetycznych. W drodze wywiadów łatwo stwierdzić, że również monitoring związany ze środowiskiem gruntowym nie przyciąga szczególnej uwagi, a często jest nawet zupełnie nieznan. Środowisko gruntowe (pojęcie szerokie, dotyczące powierzchniowej warstwy litosfery) jest przedmiotem dyskusji głównie w kręgach rolniczych i budowlanych, mających na dodatek zupełnie inne motywy poznawcze.

Niniejszy artykuł ma na celu upowszechnienie wiedzy na temat funkcjonujących w Polsce systemów monitoringu dotyczących środowiska gruntowego. Do zaprezentowania wybrano trzy systemy mające zasięg ogólnokrajowy.

Pierwszy system to **Monitoring Chemizmu Gleb Ornych Polski**. Jest on włączony do państwowego monitoringu środowiska i nadzorowany przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska, zobowiązaną do tego ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska [Dz.U. 2001 Nr 62, poz. 627 – z późn. zm.]. W praktyce monitoring jest realizowany przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach (IUNG-PIB) na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Wyniki monitoringu są dostępne na witrynie PIOS [http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/].

Drugi system to **System Monitoringu Suszy Rolniczej**. Realizuje go, podobnie jak w pierwszym przypadku IUNG-PIB, tym razem na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi [<http://www.susza.iung.pulawy.pl/>]. W monitoringu wykorzystano jednak nie tylko zaplecze IUNG-PIB, ale także infrastrukturę badawczą Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW-PIB) oraz Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU).

Trzeci system to **Monitoring Osuwisk** realizowany przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG-PIB) w ramach projektu pod nazwą System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO). Projekt jest finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Materiały dotyczące monitoringu są prezentowane w serwisie Centrum Geozagrożeń PIG-PIB [<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska.html>].

Obok wymienionych systemów monitoringu, w których pomiary z definicji są prowadzone regularnie i przez długi czas, realizowane jest wiele

innych badań środowiska gruntowego na potrzeby analiz naukowych, ekspertyz, projektów. Badania te mają często zasięg lokalny (rzadziej regionalny) i różny okres pomiarowy – w zależności od potrzeb. Analizowane są często: skażenie chemiczne gleb [np. Kicińska 2020], występowanie organizmów glebowych [np. Zielińska-Polit i in. 2015], właściwości mechaniczne gruntów [np. Stróżyk 2008], struktura użytkowania gruntów [np. Sikora 2012], erozja powierzchni terenu [np. Mazur i in. 2019], przepływ wód w gruncie [np. Koda i Hypta 2013] oraz inne cechy i procesy.

MONITORING CHEMIZMU GLEB ORNYCH POLSKI

Monitoring ma na celu ocenę stanu i zmian właściwości gleb rolniczych i może być podstawą dyskusji i działań w zakresie szeroko pojętej ochrony zasobów środowiskowych i bezpieczeństwa produktów żywnościowych. Jest prowadzony od 1995 roku w interwale pięcioletnim. Oznacza to, że w bieżącym, 2020 roku, rozpoczęła się szósta seria analityczna. Opracowanie wyników piątej serii (pobór prób glebowych w 2015 roku) zawiera raport IUNG-PIB z 2017 roku [Siebielec i in. 2017].

W monitoringu próby glebowe do analiz są pobierane w 216 stałych punktach zlokalizowanych na terenie całej Polski. Każdy punkt jest kwadratem 10×10 m, z powierzchni którego pobiera się 20 próbek cząstkowych (są to rdzenie gleby z warstwy 0–20 cm). Zostają one wymieszane i dopiero wtedy tworzą próbę reprezentatywną. Analizy laboratoryjne wykonuje się na częściach ziemistych, a w przypadku niektórych oznaczeń – dodatkowo zmielonych w młynku agatowym. Badane parametry wraz z metodyką oznaczenia (ewentualnie obliczenia) zestawiono w tabeli 1. Analizy laboratoryjne są wykonywane w akredytowanym laboratorium IUNG-PIB.

W ciągu 20 lat monitoringu (1995–2015) zmieniało się użytkowanie ziemi i zdarzały sytuacje konieczności korekty położenia punktów. W 2015 roku dotyczyło to 13 punktów i było związane głównie z ekspansją terenów zabudowanych i komunikacyjnych. Punkty przenoszono możliwie najbliżej punktu wyjściowego z zachowaniem użytkowania rolnego oraz typu i gatunku (granulometrii) gleby. Ostatecznie w 2015 roku użytkowanie ziemi punktów monitorowanych było następujące (struktura ta od-

Tabela 1. Parametry analizowane w monitoringu chemizmu gleb ornych na podstawie raportu IUNG-PIB [Siebielec i in. 2017]**Table 1.** Parameters analyzed in monitoring of soil chemistry based on the IUNG-PIB report [Siebielec i in. 2017]

Oznaczany parametr	Metoda
Skład granulometryczny	Analiza sitowa oraz analiza areometryczna Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego
Zawartość substancji organicznej – próchnicy	Metoda Tiurina zmodyfikowana
Zawartość węgla organicznego	Iloczyn zawartości substancji organicznej i współczynnika 0,58
Zawartość węglanów	Metoda Scheiblera
Odczyn	Metoda potencjometryczna w zawiesinie 1M KCl oraz w zawiesinie H ₂ O
Kwasowość hydrolytyczna „Hh”	Metoda Kappena
Kwasowość wymienna „Hw”	Metoda Daikuhary
Zawartość glinu wymiennego	Metoda Sokołowa
Zawartość fosforu przyswajalnego	Metoda Egnera-Riehma
Zawartość potasu przyswajalnego	Metoda Egnera-Riehma
Zawartość magnezu przyswajalnego	Metoda Schachtschabela
Zawartość siarki przyswajalnej	Metoda Ensmingera w modyfikacji Skłodowskiego
Zawartość azotu ogólnego	Metoda Kjeldahla zmodyfikowana
Proporcja C:N	Iloraz ilości węgla organicznego i azotu ogólnego
Zawartość WWA: naftalen, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, piren, benzo(a)antracen, chryzen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)fluoranten, benzo(a)piren, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(g,h,i)perylene	Ekstrakcja dichlorometanem w aparacie Soxhleta oraz metoda chromatografii gazowej z detektorem masowym
Radioaktywność	Metody stosowane w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie
Przewodnictwo elektryczne właściwe	Norma ISO 7888 (w ekstrakcie wodnym z gleby)
Zasolenie	Przeliczenie przewodnictwa elektrycznego właściwego na stężenie roztworu KCl
Kationy wymienne o charakterze zasadowym: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺	Ekstrakcja octanem amonu lub chlorkiem amonu (w zależności od pH gleby)
Suma zawartości kationów o charakterze zasadowym „S”	Suma Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺
Pojemność sorpcyjna gleby „T”	Suma wartości „S” i „Hh”
Wysycenie kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi „V”	Iloraz „S” i „T” pomnożony przez 100
Zawartość fosforu całkowita	Mineralizacja za pomocą H ₂ SO ₄ i H ₂ O ₂ oraz metoda spektrofotometryczna wanadowo-molibdenianowa
Zawartość siarki całkowita	Utlenienie siarki organicznej, przeprowadzenie siarczanów do roztworu i oznaczenie nefelometryczne
Zawartość pierwiastków: Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Cr, Zn, V, Cd, Co, Pb, Ba, Be, La, Li, Sr	Mineralizacja wodą królewską oraz metoda spektrometrii mas w plazmie wzbudzonej indukcyjnie (ICP-MS)
Zawartość rtęci	Metoda termicznego rozkładu, amalgamacji i detekcji techniką absorpcyjnej spektrometrii atomowej
Zawartość azotu mineralnego – azotanowego oraz amonowego	Ekstrakcja roztworem K ₂ SO ₄ oraz detekcja spektrofotometryczna na analizatorze przepływowym
Zawartość pestycydów – związków niechlorowych: carbaryl, carbofuran, atrazin	Ekstrakcja rozpuszczalnikami organicznymi oraz metoda chromatografii gazowej z podwójnym detektorem masowym
Zawartość pestycydów – związków niechlorowych: maneb	Ekstrakcja poprzez wytrąsanie z acetonem oraz metoda chromatografii gazowej z podwójnym detektorem masowym
Zawartość pestycydów chloroorganicznych: DDT/DDE/DDD, aldryna, dieldryna, endryna, α-HCH, β-HCH, γ-HCH	Ekstrakcja rozpuszczalnikami organicznymi oraz metoda chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów

zwierciedla tendencje zmniejszania areалу gleb użytkowanych ornice):

- grunt orny – 161 punktów;
- ugor i odłóg – 29 punktów;
- użytek zielony – 24 punkty;
- ogródek działkowy – 1 punkt.
- las – 1 punkt;

Typy monitorowanych gleb zostały określone w 1995 roku, a w sytuacji korekty położenia punktu informację uaktualniano na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:5000. Zgodnie z aktualną systematyką gleb Polski [Marcinek i in. 2011] monitoringowi podlegały głównie gleby płowe (70 punktów), brunatne dystroficzne (58 punktów), rdzawe (25 punktów), brunatne eutroficzne (15 punktów) i mady brunatne (15 punktów). Inne typy (np. czarne ziemie z poziomem *cambic*, czarne ziemie typowe, gleby biellicowe) występowały w co najwyżej kilku punktach.

Uziarnienie gleb występujące w monitorowanych punktach odzwierciedlało zróżnicowaną granulometrię pokryw glebowych w skali kraju. Według aktualnej klasyfikacji uziarnienia [Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 2009] dominującymi gatunkami gleb były: glina piaszczysta (60 punktów), piasek gliniasty (55 punktów), pył gliniasty (47 punktów) i piasek słabogliniasty (21 punktów).

Wyniki uzyskane w monitoringu są omawiane i oceniane [Siebielec i in. 2017]. Do interpretacji wartości służy obecnie zarządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 roku w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi [Dz.U. 2016, poz. 1395], jak i liczne publikacje naukowe o charakterze instruktażowym, np. dotyczące występowania w glebach wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych czy metali ciężkich [Kabata-Pendias i in. 1995]. Oceny niosą z sobą praktyczną wiedzę w zakresie możliwości użytkowania gruntów. Przykładowo dla występowania metali ciężkich można określić stopień zanieczyszczenia gleby – stwierdzenie zaledwie II stopnia (z pięciu) wskazuje konieczność wykluczenia upraw ogrodniczych, jak sałata, szpinak, kalafior, a dopuszcza uprawy zbożowe, okopowe i pastewne.

Monitoring, dzięki regularności badań, nie tylko ujawnia stan jakościowy gleb rolniczych w Polsce, ale pokazuje też tendencje zmian poszczególnych parametrów. W analizie okresu 1995-2015 dla większości parametrów nie stwierdzono wyraźnych zmian – wystąpiły jednak sytuacje

niepokojące [Siebielec i in. 2017]. Ujawniono na przykład postępujący spadek zawartości kationów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+}) i zwiększenie udziału gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (ponad 60%), co wynika nie tylko z przyczyn naturalnych, lecz także wieloletnich zaniedbań w wapnowaniu gleb. Wyraźnie nastąpił także spadek zawartości siarki. Warto dodać, że znaczny odsetek badanych gleb (prawie 50%) charakteryzował niedobór przyswajalnego fosforu, co może poważnie i niekorzystnie wpływać na wielkość plonów i ich jakość.

SYSTEM MONITORINGU SUSZY ROLNICZEJ

Susza to pojęcie o szerokim znaczeniu, bowiem dotyka różnych obszarów działalności człowieka. Mówi się o suszy atmosferycznej, glebowej (rolniczej), hydrologicznej, czy też rzecznej, analizując to zjawisko z wykorzystaniem różnorodnych wskaźników zestawionych w pracy Kręgiel i Jarosińskiej [2009]. Suszę rolniczą rozumiemy jako okres, w którym wilgotność gleby jest niedostateczna do zaspokojenia potrzeb wodnych roślin i prowadzenia normalnej gospodarki w rolnictwie [posucha.imgw.pl]. Poprzedza ją susza atmosferyczna objawiająca się zmniejszeniem dostawy wody z opadami atmosferycznymi. Monitoring suszy rolniczej musi więc bazować na danych dotyczących występowania opadów, ale potrzebne są także zmienne związane z obiegiem wody w glebie. Odpowiedni system został opracowany przez IUNG-PIB w celu szerokiej oceny zagrożenia suszą głównych upraw polowych na terenie każdej gminy w Polsce [Doroszewski i in. 2012]. Funkcjonowanie systemu posiada znaczenie pomocowe – ma on za zadanie wskazać obszary, na których wystąpiły straty w uprawach spowodowane suszą, co otwiera możliwości pomocowe wynikające z Ustawy z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich [tekst jednolity: Dz.U. 2019, poz. 477].

Podstawą monitoringu IUNG-PIB jest wyznaczenie wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) dla obszaru każdej gminy w Polsce, wg wzoru:

$$KBW = P - ETP$$

gdzie: P – ilość opadów atmosferycznych [mm],
 ETP – ewapotranspiracja potencjalna [mm].

Danych do określenia tych parametrów dostarczają stacje i posterunki meteorologiczne (w 2016 roku w systemie funkcjonowało 466 stacji synoptycznych i posterunków opadowych). Mierzony opad jest opadem rzeczywistym, natomiast ewapotranspirację potencjalną oblicza się metodą Penmana wprowadzając podstawowe dane meteorologiczne. Wystarczającą dokładność zapewnia uproszczony wzór Penmana [Doroszewski i in. 2012]:

$$ETP = 161 + 19,57 \cdot d - 152,7 \cdot \ln d + \\ + 0,0004034 \cdot h^2 + 0,00186(t + 5)^3 + \\ + 0,004192(100 - f)^2 + 0,0003681 \cdot v(100 - f)^{2,5}$$

gdzie: d – długość dnia [h],
 h – usłonecznienie [h],
 t – średnia temperatura powietrza [°C],
 f – wilgotność względna z godz. 13:00 [%],
 v – średnia prędkość wiatru [m/s].

Wartości KBW (na ogół są to wartości ujemne) są obliczane dla okresów sześciodekadowych od 21 marca do 30 września (nazywane są one okresami raportowania):

- 21 III – 20 V (kwiecień – maj),
- 1 IV – 31 V (kwiecień – maj),
- 11 IV – 10 VI (kwiecień – maj),
- 21 IV – 20 VI (maj – czerwiec),
- 1 V – 30 VI (maj – czerwiec),
- 11 V – 10 VII (maj – czerwiec),
- 21 V – 20 VII (czerwiec – lipiec),
- 1 VI – 31 VII (czerwiec – lipiec),
- 11 VI – 10 VIII (czerwiec – lipiec),
- 21 VI – 20 VIII (lipiec – sierpień),
- 1 VII – 31 VIII (lipiec – sierpień),
- 11 VII – 10 IX (lipiec – sierpień),
- 21 VII – 20 IX (sierpień – wrzesień),
- 1 VIII – 30 IX (sierpień – wrzesień).

Jeśli w dowolnym z wymienionych okresów wartości KBW są mniejsze od wartości progowych podanych w Rozporządzeniu Ministra Rol-

nictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 kwietnia 2019 r. w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb [Dz.U. 2019, poz. 739], to mamy do czynienia z suszą i możemy spodziewać się spadku plonów (im mniejsza wartość KBW, tym większy problem).

Ustalenie wartości progowych wymagało wykorzystania statystyczno-empirycznych modeli uwzględniających zdolności retencyjne gleb (podatność na suszę zależną od uziarnienia), a dodatkowo gatunek uprawianej rośliny. Uwzględnione uprawy (grupy upraw) to: zboża ozime, zboża jare, kukurydza na ziarno, kukurydza na kiszonkę, rzepak i rzepik, ziemniaki, burak cukrowy, chmiel, tytoń, warzywa gruntowe, krzewy owocowe, drzewa owocowe, truskawki, rośliny strączkowe. Ze względu na uziarnienie gleby zostały podzielone na cztery kategorie podatności na suszę (tab. 2) zależne od ilości wody ogólnie dostępnej (WOD), która jest obliczana jako różnica wilgotności objętościowej dla połowej pojemności wodnej i punktu trwałego więdnięcia w strefie korzeniowej. Porównanie KBW obliczonego i progowego od razu wskazuje problem. Przykładowo wystąpienie KBW mniejszego niż minus 150 mm (jedna z wartości progowych z rozporządzenia) w okresie od 21 marca do 20 maja (pierwszy okres raportowania) oznacza zagrożenie dla zbóż ozimych na glebach kategorii II. W serwisie internetowym monitoringu nie są podawane wartości KBW, lecz od razu za pomocą odpowiedniej kolorystyki wskazywane jest zagrożenie suszą w każdej gminie dla określonej kategorii glebowej oraz uprawy w konkretnym okresie raportowania.

Funkcjonowanie monitoringu suszy rolniczej, oparte jak przedstawiono głównie na analizie klimatycznego bilansu wodnego oraz zdolności retencyjnych gleb, jest wspierane od 2008 roku przez pomiary wilgotności gleb. Od strony prak-

Tabela 2. Kategorie podatności gleb na suszę [wg Dz.U. 2019, poz. 739]

Table 2. Soil susceptibility categories to drought [according to Dz.U. 2019, poz. 739]

Kategoria gleby	WOD [mm]	Gatunek gleby*
I – Bardzo podatna na suszę	< 127,5	piasek luźny (pl), piasek luźny pylasty (plp), piasek słabo gliniasty (ps), piasek słabo gliniasty pylasty (psp)
II – Podatna na suszę	127,5–169,9	piasek gliniasty lekki (pgl), piasek gliniasty lekki pylasty (pglp), piasek gliniasty mocny (pgm), piasek gliniasty mocny pylasty (pgmp)
III – Średnio podatna na suszę	170–202,5	glina lekka (gl), glina lekka pylasta (glp), pył gliniasty (plg), pył zwykły (plz), pył piaszczysty (plp)
IV – Mało podatna na suszę	> 202,5	glina średnia (gs), glina średnia pylasta (gsp), glina ciężka (gc), glina ciężka pylasta (gcp), pył ilasty (pli), il (i), il pylasty (ip)

* Podział wg normy BN-78/9180-11.

tycznej monitorowanie wilgotności gleb ujawnia zależności pomiędzy stresem wodnym (niedobór wody w tkankach roślin) a plonem roślin na różnych gatunkach gleb. Ma więc znaczenie weryfikujące w systemie monitoringu suszy rolniczej. Według stanu na 2016 rok wilgotność gleb mierzy się w 20 reprezentatywnych gospodarstwach położonych głównie w pasie Niżu Środkowopolskiego, a więc na obszarach najbardziej zagrożonych suszą. Pomiary są prowadzone łącznie na 67 polach uprawnych (od 3 do 5 różnie uprawianych pól w każdym gospodarstwie). Dwa razy w tygodniu mierzona jest wilgotność objętościowa [%] w profilach glebowych na głębokościach: 10, 20, 30, 40, 60 i 100 cm. Obserwowany jest jednocześnie rozwój fizjologiczny roślin. Pomiary odnośzone są do ciśnienia ssącego z jakim woda wiązana jest w glebie – w zakresie 3,2–4,2 pF mamy do czynienia z hamowaniem wzrostu roślin, a powyżej 4,2 pF z ich usychaniem. Dla systemu monitoringu suszy rolniczej kluczowa jest liczba dni z uwilgotnieniem mniejszym od krytycznego odpowiadającego punktowi trwałego wędnięcia roślin (>4,2 pF) i konsekwencje takiego stanu dla plonowania [Doroszewski i in. 2012].

W uzupełnieniu powyższej prezentacji monitoringu warto dodać, że jest on systematycznie udoskonalany poprzez wprowadzanie nowych technologii. W dokładniejszym wyznaczaniu obszarów dotkniętych suszą pomagają zobrazowania satelitarne z sensora MODIS. Określane są wskaźniki: NDVI obrazujący stan wegetacji oraz ATI obrazujący wilgotność gleby.

MONITORING OSUWISK

Problem osuwania gruntu w Polsce dotyczy głównie obszarów górskich, a zwłaszcza karpaccich. Ocenia się, że w Karpatach Polskich znajduje się ponad 95% wszystkich osuwisk w skali kraju [Poprawa i Rączkowski 2003]. Wywołują one poważne szkody w infrastrukturze i krajobrazie, zagrażając nawet życiu mieszkańców. Nie dziwi więc fakt, że Karpaty Polskie to rejon koncentracji działań monitoringowo-analitycznych w ramach ogólnokrajowego Systemu Osłony Przeciwośuwiskowej – SOPO [Marciniec i in. 2019]. Celem projektu SOPO jest zidentyfikowanie wszystkich osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w Polsce, co wyeliminuje błędy w planowaniu przestrzennym i wskaże zagrożenia dla terenów zagospodarowanych nie-

właściwie. Najważniejszym efektem projektu są Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi (MOTZ) w skali 1:10000.

Projekt SOPO jest realizowany od 2006 roku w kilku etapach, przy czym wykorzystano w nim także archiwalne materiały dokumentacyjne gromadzone od końca lat 60. XX wieku [Marciniec i in. 2019].

W trakcie etapu I (lata 2006–2008) między innymi:

- wskazano obszary predysponowane do wystąpienia ruchów masowych oraz wszystkie znane osuwiska w całej Polsce pozakarpacciej;
- zrealizowano prace terenowe i kartograficzne w obrębie 6 gmin (Cieszyn, Gorlice, Strzyżów – gminy karpaccie; Władysławowo, Włodawa, Połaniec – gminy pozakarpaccie);
- zainstalowano system monitoringu na osuwisku w Hańczowej (gmina karpacka Uście Gorlickie);
- wytypowano 100 osuwisk do założenia systemu monitoringu (typowano osuwiska mogące spowodować szkody).

Etap II realizowano w latach 2008–2015. Obejmował on między innymi:

- skartowanie 75% powierzchni obszaru Karpat Polskich (198 gmin);
- zainstalowanie systemu monitoringu na 60 osuwiskach karpaccich;
- wdrażanie nowych technik pomiarowych (lotniczy i naziemny skaning laserowy, satelitarna interferometria radarowa).

Od 2016 roku realizowany jest III etap projektu, w którym założono między innymi:

- skartowanie pozostałych 25% obszaru Karpat Polskich (52 gminy) oraz terenów 42 powiatów pozakarpaccich;
- zainstalowanie systemu monitoringu na 6 osuwiskach oraz wprowadzenie monitoringu on-line na 1 osuwisku (monitorowanym dotychczas tradycyjnie);
- prognozowanie zagrożeń osuwiskowych z wykorzystaniem obliczonych progów opadowych.

Większość prac została zrealizowana. Na uwagę zasługuje wdrożenie wspomnianego monitoringu on-line. Objęto nim groźne osuwisko Łaski w Międzybrodziu Bialskim położone na zboczach doliny Soły nad zbiornikiem zaporowym Porąbka. Jednocześnie zrezygnowano z monitoringu na 7 osuwiskach ze względu na stwier-

dzony brak aktywności oraz wykonane prace stabilizacyjne. Szczególnie ważna jest ciągła weryfikacja danych i map, zwłaszcza tych wykonanych przed katastrofą osuwiskową z przełomu maja i czerwca 2010 roku, gdyż w jej konsekwencji zagrożenia uległy przestrzennym zmianom [Marciniak i in. 2019].

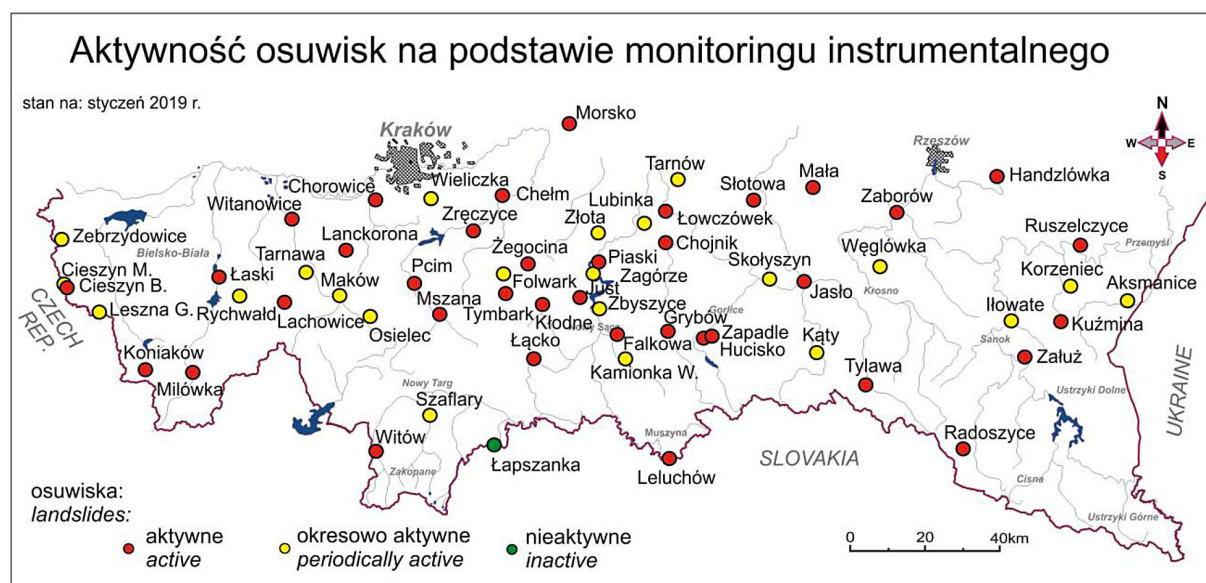
Wszystkie osuwiska oraz tereny zagrożone ruchami masowymi posiadają karty rejestracyjne sporządzane wg wzorów z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 roku w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi [Dz.U. 2007 Nr 121, poz. 840]. Monitorowaniem instrumentalnym objęte są wybrane osuwiska na terenach karpaccich i podkarpaccich (rys. 1).

Jak wspomniano wcześniej pierwszy system monitoringu założono na karpaccim osuwisku w Hańczowej, które zagrażało drodze powiatowej Ropa – Wysowa. Został on opisany w dokumentacji sporządzonej przez Nescieruka i Rączkowskiego [2007]. System dzieli się na powierzchniowy i wgłębny, i umożliwia monitorowanie ruchu mas koluwalnych (gruntu przemieszczającego się w kubaturze osuwiska). Jego instalacja, tak na osuwisku w Hańczowej, jak i innych osuwiskach wymagała prowadzenia szeregu prac geologicznych (kartograficznych, wiertniczych, geodezyjnych, geofizycznych, laboratoryjnych i innych). Na przykładzie prac na osuwisku w Hańczowej [Nescieruk i Rączkowski 2007] można w zarysie przedstawić zasady i metody monitoringu.

Monitorowanie osuwiska wymagało na wstępie przeprowadzenia szczegółowego kartowania jego powierzchni na podkładzie wysokościowym o dużej dokładności (1:000). Nanoszono wszelkie formy morfologiczne, jak: szczeliny, krawędzie, progi, wały, a także zjawiska związane z powierzchniowym występowaniem wody. Dało to obraz aktywności powierzchniowej osuwiska.

Na potrzeby monitoringu wgłębnego w obrębie osuwiska wykonano otwory wiertnicze. Były to pary otworów – inklinometrycznego i piezometrycznego (odległość między otworami w parze wynosiła 1 m). O ich lokalizacji zdecydowano na podstawie prac kartograficznych i materiałów archiwalnych. Wiercenie wykonano z uzyskiem rdzenia, dzięki czemu rozpoznano profil kolumny i występowanie powierzchni poślizgu, uzyskując przy tym próbki do analiz laboratoryjnych. Zainstalowano rury inklinometryczne oraz perforowane piezometryczne.

W ramach prac geodezyjnych sporządzono mapy sytuacyjno-wysokościowe terenu w skali 1:500 i 1:1000 z zaznaczeniem otworów wiertniczych. Geodezyjnie zlokalizowano sieć punktów (reperów) do pomiaru powierzchniowych przemieszczeń gruntu w obrębie osuwiska, ale także poza nim. Były to rury stalowe o długości 2 m z krzyżem pomiarowym, a dodatkowo głowice wykonanych wcześniej otworów wiertniczych. Wyznaczono też punkty osnowy geodezyjnej.



Rys. 1. Osuwiska monitorowane w projekcie SOPO

[<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/123/monitoring-osuwisk.html>, za zgodą PIG-PIB]

Fig. 1. Landslides monitored in the SOPO project

[<https://www.pgi.gov.pl/osuwiska/123/monitoring-osuwisk.html>, PIG-PIB permission to publish]

Prace geofizyczne wykonano wzdłuż transektów przechodzących przez osuwisko metodami sondowań refrakcyjnych oraz tomografii sejsmicznej. Uzyskano w ten sposób informacje o miąższości koluwiów, przebiegu powierzchni poślizgu, czy też występowaniu mas gruntu o różnej konsolidacji.

Próbki gruntu z rdzeni wiertniczych poddano analizie laboratoryjnej określając: skład granulometryczny, wilgotność naturalną, gęstość objętościową, granicę plastyczności, wytrzymałość na ścinanie, granicę płynności oraz moduł ściśliwości pierwotnej. Analityka pozwoliła między innymi na obliczenia stateczności zbocza osuwiskowego.

Powierzchniowy monitoring osuwisk w projekcie SOPO polega na regularnym wykonywaniu pomiarów przemieszczeń reperów (w poziomie i w pionie). Jest on prowadzony z wykorzystaniem odbiorników GPS. W pomiarach wykorzystuje się statywy geodezyjne z odbiornikami centrowanymi nad punktami pomiarowymi. Dodatkowo mogą być wykonywane klasyczne pomiary geodezyjne jako uzupełniające. Wyniki pomiarów wskazują rejony osuwisk o różnej dynamice ruchu.

Monitoring wgłębnych przemieszczeń gruntu jest oparty na regularnych pomiarach inklinometrycznych opisanych szczegółowo w pracy Zabuskiego [2013]. Do pomiaru służy rura (kolumna) inklinometryczna osadzona w otworze wiertniczym, której dno znajduje się poniżej najgłębszej powierzchni poślizgu osuwiska. Wewnętrzna powierzchnia rury posiada wyprofilowane rowki za pomocą których w głąb wprowadza się przyrząd zwany inklinometrem, posiadający rolki dopasowane do rowków. Rura inklinometryczna jest instalowana pionowo, jednak przemieszczenia gruntu w osuwisku powodują jej przemieszczanie się (uginanie). Wielkość tych przemieszczeń rejestruje właśnie inklinometr posiadający sondę mierzącą odchylenie od pionu wzdłuż profilu głębokościowego otworu. Pomiary inklinometryczne wykonywane są 2 razy w roku. Wyniki pomiarów dla wybranych osuwisk monitorowanych w projekcie SOPO zostały przedstawione w pracy Warmuza i Nescieruka [2019].

Istotnym uzupełnieniem dla monitorowania przemieszczeń koluwiów są pomiary poziomu zwierciadła wody w gruncie oraz pomiary ilości opadów. Monitoring jest też ciągle udoskonalany – w ostatnich latach wprowadzono pomiary interferometryczne oraz skaniny laserowe powierzchni. Wszelkie prace służą rozwojowi prognostyki osuwiskowej, która powinna być kluczowym elementem w dalszej realizacji SOPO [Marciniec i in. 2019].

UWAGI KOŃCOWE

Zaprezentowane systemy monitoringu środowiska gruntowego posiadają duże znaczenie poznawcze i praktyczne w gospodarce kraju. Ważne jest, aby były one w jak największym stopniu prowadzone jako systemy kontrolno-decyzyjne. W takim podejściu mogą:

- być narzędziem wspomagającym realizację zobowiązań prawnych;
- wpływać na strategiczne planowanie w użytkowaniu gruntów;
- decydować o zmianach zagospodarowania terenu;
- służyć decyzjom administracyjnym w sferze wsparcia finansowego;
- wspierać rozwój regionalny;
- dostarczać argumentów negocjacyjnych na potrzeby funduszy krajowych i europejskich;
- służyć w implementacji przepisów Wspólnotowych.

Ważne jest również utrzymanie publicznego dostępu do wyników monitoringu, co sprzyja ich wykorzystaniu i ciągłemu poszerzaniu kręgu zainteresowanych.

LITERATURA

1. Ciećko P., Panek P. 2019. Zanieczyszczenia wód w Polsce – stan śródlądowych wód powierzchniowych i podziemnych. [W:] Zanieczyszczenia wód w Polsce. Stan, przyczyny, skutki. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 164, 58–80.
2. Doroszewski A., Jadczyński J., Kozyra J., Pudełko R., Stuczyński T., Mizak K., Łopatka A., Koza P., Górski T., Wróblewska E. 2012. Podstawy systemu monitoringu suszy rolniczej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 12(2), 77-91.
3. Kabata-Pendias A. (kierownik zespołu) 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb: metale ciężkie, siarka i WWA. Seria Biblioteka Monitoringu Środowiska. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 1–41.
4. Kicińska A.J. 2020. Lead and zinc in soils around a zinc-works – presence, mobility and environmental risk. Journal of Ecological Engineering, 21(4), 185–198.
5. Koda E., Hypta S. 2013. Modelowanie przepływu wód gruntowych w rejonie starego składowiska z pionową przesłoną przeciwfiltracyjną. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 60, 175–187.

6. Kręgiel B., Jarosińska E. 2009. Obecny stan monitoringu zjawiska suszy w Polsce i na świecie. *Czasopismo Techniczne*, 106(11)3-Ś, 87–99.
7. Malec A., Borowski G. 2016. Zagrożenia pyłowe oraz monitoring powietrza atmosferycznego. *Inżynieria Ekologiczna*, 50, 161–170.
8. Marcinek J., Komisarek J., Bednarek R., Mocek A., Skiba S., Wiatrowska K. 2011. Systematyka gleb Polski. Wydanie 5. *Roczniki Gleboznawcze*, LXII(3), 1–193.
9. Marciniak P., Zimnal Z., Wojciechowski T., Periski Z., Rączkowski W., Laskowicz I., Nescieruk P., Grabowski D., Kułak M., Wójcik A. 2019. Osuwiska w Polsce – od rejestracji do prognozy, czyli 13 lat projektu SOPO. *Przegląd Geologiczny*, 67(5), 291–297.
10. Mazur A., Obroślak R., Nieścioruk K. 2019. The assessment of the amount of soil material deposited on the bottom of a dry erosive-denudation valley. *Journal of Ecological Engineering*, 20(11), 210–216.
11. Nescieruk P., Rączkowski W. 2007. Dokumentacja prac geologicznych wykonanych dla monitoringu osuwiska w Hańczowej. Państwowy Instytut Geologiczny Oddział Karpacki, Kraków, 1–35 + 15 załączników (maszynopis).
12. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008. *Roczniki Gleboznawcze*, LX(2), 5–16.
13. Poprawa D., Rączkowski W. 2003. Osuwiska Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 51(8), 685–692.
14. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Kowalik M., Kaczyński R., Koza P., Ukalska-Jaruga A., Łysiak M., Wójtowicz U., Poręba L., Chabros E. 2017. Raport z III etapu realizacji zamówienia „Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2015-2017”. IUNG-PIB, Puławy, 1–190.
15. Sikora J. 2012. Analiza zmian struktury użytkowania gruntów w gminach o charakterze turystycznym województwa małopolskiego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3/IV, 99–108.
16. Stróżyk J. 2008. Właściwości gruntów pylastych okolic Wrocławia – badania wstępne. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 32(1), 329–335.
17. Warmuz B., Nescieruk P. 2019. Dynamika przemieszczeń wybranych osuwisk w Karpatach. *Przegląd Geologiczny*, 67(5), 326–331.
18. Zabuski L. 2013. Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych. *Przegląd Geologiczny*, 61(4), 248–256.
19. Zielińska-Polit B., Kiliszczyk A., Sadowiec K., Chałupeczyńska B., Russel S. 2015. Występowanie promieniowców celulolitycznych i ksylanolitycznych w wybranych glebach łąkowych Polski. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 15(1), 133–140.