ARTYKUŁY INFORMACYJNE

Rola instytutów badawczych we wsparciu działań adaptacyjnych do zmian klimatu

Wojciech Granoszewski[4], Agnieszka Kowalczyk[4], Izabela Ploch[4], Jacek Rubinkiewicz[4], Grzegorz Uścinowicz[4], Małgorzata Woźnicka[4], Małgorzata Kępińska-Kasprzak[1], Danuta Limanówka[1], Radosław Doktor[1], Piotr Struzik[1], Anna Dubel[2], Krzysztof Skotak[2], Małgorzata Hajto[2], Jerzy Kozyra[3], Rafał Pudełko[3], Katarzyna Żyłowska[3], Anna Jędrejek[3], Artur Łopatka[3], Jan Jadczyszyn[3], Anna Nieróbca[3], Andrzej Doroszewski[3], Marta Barszczewska[1]

The actions of research institutes to support adaptation to climate change. Prz. Geol., 68: 25–44.

A b s t r a c t. A crucial part of every adaptation planning and disaster risk reduction is estimation of vulnerable areas and risk in the future. Only a well-developed monitoring system could bring valuable information to create possible scenarios to set up adaptation plans. Monitoring systems of meteorological conditions, surface water, groundwater, landslides, seacoast, agricultural drought as well as their standards and methodologies, are crucial for establishing an effective warning system of every country, and thus are the subject of research conducted by national institutes. Therefore, the conditions of this national research (getting trained staff, equipment etc.) is essential to provide reliable information for a national adaptation plan and for economic assessment of climate change impacts. Poland has significant experiences in monitoring systems, data collecting and visualizing, as well as in the development of scenarios and risk maps. Methodologies and capacity building, necessary for their use, along with experiences and lessons, learned to get valuable information for disaster risk reduction, were presented by the authors from the research during the 24th session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP 24) in Katowice (December 2018). The presentation contributed to the global adaptation process through experience sharing that is important for the relevant research conducted in the least developed countries.

Keywords: *adaptation to climate change, monitoring systems of meteorological conditions, surface water, groundwater, landslides, seacoast, agricultural drought, palaeoclimate data, economic assessment of climate change impacts, disaster risk reduction*

Wspólna prezentacja czterech instytutów badawczych: Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytutu Ochrony Środowiska, Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa i Państwowego Instytutu Geologicznego, dotycząca polskich doświadczeń w zakresie systemu monitorowania środowiska i gromadzonych informacji oraz prognozowania zakresu potencjalnych efektów zmian klimatu i jego możliwych scenariuszy, jako ewentualnych podstaw dla planowania działań adaptacyjnych do zmian, klimatu odbyła się 11 grudnia 2018 r. w podczas 24. Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych (COP24) w Katowicach. Wypracowane wnioski stały się punktem wyjścia do tworzenia planów dalszych wspólnych prac instytutów badawczych wspierających działania przystosowawcze do zmian klimatu.

BUDOWANIE ADAPTACJI DO ZMIAN KLIMATU W RAMACH KONFERENCJI STRON RAMOWEJ KONWENCJI NARODÓW ZJEDNOCZONYCH

Prace w ramach różnorodnych działań związanych z Konferencją Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych (*Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change*), podczas której są ustanawiane wielostronne zasady postępowania w sprawie zmian klimatu, dotyczą m.in. zagadnień związanych z adaptacją do nich. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w *Porozumieniu paryskim do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu* (Porozumienie, 2015). Jednym z fundamentalnych jego celów jest osiągnięcie odporności na zmiany klimatu poprzez podjęcie działań adaptacyjnych przez wszystkie państwa będące stronami konwencji (wg stanu na dzień 22 lutego 2019 r. ratyfikowało je 185 państw). Działania krajów najuboższych powinny być wzmocnione w tym procesie, m.in. wsparciem finansowym i wymianę doświadczeń z krajami rozwiniętymi, szczególnie europejskimi. Uznano konieczność współpracy m.in. w zakresie systemów wczesnego ostrzegania i zarządzania ryzykiem. Zakres działań adaptacyjnych powinien zależeć od specyficznych uwarunkowań danego państwa. Strony porozumienia są zobowiązane do opracowania krajowych planów lub strategii adaptacyjnych.

Działania adaptacyjne obejmują głównie zagadnienia dotyczące zrównoważonego rozwoju opartego na adaptacji oraz redukcji zagrożeń i katastrof związanych ze zmianami klimatu (opisanych między innymi w *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*). Wiele kwestii związanych z adaptacją do zmian klimatu podejmowanych w ramach konferencji i działań z nią związanych ma często

[1] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Podleśna 61, 01-673 Warszawa.
[2] Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11D, 00-001 Warszawa.
[3] Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy.
[4] Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; izabela.ploch@pgi.gov.pl

charakter strategiczny. Komitet Adaptacyjny powołany w 2010 r. podczas 16. Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych jest miejscem, gdzie są również poruszane podstawowe problemy związane z adaptacją do zmian klimatu, w tym także dostępności danych. Jest to milowy krok w kierunku wpisania w zakres działań adaptacyjnych merytorycznych prac nad ujednoliceniem metodyk i technik pomiarowych zarówno zmian klimatu, jak i podejmowanych lub planowanych do wykonania działań adaptacyjnych. Istotne jest też podejmowanie przez Komitet Adaptacyjny prac dotyczących wskaźników monitorujących stan środowiska i antropopresję w celu np. kontrolowania efektywności i wyboru podejmowanych działań adaptacyjnych. Wytypowanie wspólnych wskaźników ma umożliwić śledzenie zachodzących zmian i sprawne zarządzanie ryzykiem w skali ponadlokalnej, a nawet docelowo – globalnej. Jest to niezwykle istotne podczas ilościowej oceny procesu adaptacji i skuteczności działań. Wypracowanie szerokiej gamy wskaźników, takich jak: *Standardized Precipitation Index* (SPI – standaryzowany wskaźnik opadu), *Palmer Drought Severity Index* (PDSI – wskaźnik surowości suszy Palmera), *Water Exploitation Index Plus* (WEI+ – wskaźnik poboru wody), szczególnie regionalnych i globalnych, stanowi kluczowy aspekt budowania platformy wymiany doświadczeń i dzielenia się wiedzą, wraz ze wsparciem dla krajów najsłabiej rozwiniętych. Podstawowe dane niezbędne do obliczenia wskaźników mogą być pozyskane tylko z dobrze rozwiniętego systemu monitoringu, niezbędnego do uzyskania wiarygodnych i rzetelnych informacji dla planów adaptacyjnych. Stanowią one bazę niezbędną do tworzenia przydatnych w procesie adaptacji wskaźników, umożliwiających też oszacowanie i porównanie zakresu oraz skali działań koniecznych do podjęcia w ramach krajowych planów adaptacyjnych.

Dane pozyskiwane z systemów monitoringu: hydro-meteorologicznego, wód podziemnych, zagrożeń ruchami masowymi, strefy brzegowej czy suszy rolniczej, są istotne dla funkcjonowania kraju, dlatego są pozyskiwane, przechowywane i udostępniane przez służby państwowe oraz instytuty badawcze. Są to jednostki, które mogą się dzielić swoją wiedzą i doświadczeniem z analogicznymi jednostkami w krajach rozwijających się i najsłabiej rozwiniętych, wymagających wsparcia w ramach ogólnoświatowych działań. Na tej płaszczyźnie powinno się tworzyć system pomocy, platformę wymiany doświadczeń i wiedzy, jak również transferu technologii związanych z monitoringiem środowiska. Takie projekty umożliwią pogodzenie oczekiwań krajów rozwijających się w kwestii finansowego wsparcia ich działań adaptacyjnych i krajów rozwiniętych, aby kontrolować na co są wydawane środki przekazane na ten cel. Tym samym możliwe jest uzyskanie gwarancji efektu adaptacyjnego finansowanych działań.

Wspólna prezentacja instytutów pt. *Monitoring system, database and possible scenarios as essential background for adaptation planning, reducing vulnerability and risk disaster – sharing of Polish experiences* podczas COP24 miała na celu przedstawienie działań adaptacyjnych w praktyce. Była przeciwwagą dla teoretycznych rozważań dotyczących adaptacji prowadzonych podczas konferencji. Zaprezentowano potencjał instytucji badawczych w tym zakresie i nawiązano kontakty z przedstawicielami krajów rozwijających, które mogą w przyszłości skutkować wymianą doświadczeń i wiedzy. Podkreślono rolę jednostek państwowych i faktu, że bez sprawnego systemu

Ryc. 1. Schemat działań adaptacyjnych do zmian klimatu

monitoringu/analizy danych/prognoz nie ma możliwości budowy efektywnego systemu adaptacji do zmian klimatu. Tym samym bez podstawowych informacji pomiarowo-obserwacyjnych nie da się tworzyć planów adaptacyjnych (ryc. 1).

MONITORING HYDRO-METEOROLOGICZNY

Do podstawowych zadań statutowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW-PIB) należy utrzymanie służby hydrologiczno-meteorologicznej oraz służb monitorujących w dziedzinie oceanologii, inżynierii wodnej i jakości wód powierzchniowych, a także prowadzenie prac naukowo-badawczych w tym zakresie. Zadania te są realizowane zarówno poprzez prowadzenie prac badawczych i rozwojowych, jak i przede wszystkim – wykonywanie obserwacji i pomiarów elementów atmosfery i hydrosfery.

Utrzymanie i rozwijanie monitoringu, obok doskonalenia systemu prognoz i ostrzegania społeczeństwa przed groźnymi zjawiskami naturalnymi, umożliwia również ocenę zmienności czasowej i przestrzennej warunków meteorologicznych i hydrologicznych. Przyjęte przez IMGW-PIB standardy światowe w zakresie pomiarów i analiz poszczególnych zjawisk, zalecane przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO), pozwalają na uzyskanie wiarygodnych wyników. Udział w międzynarodowej wymianie danych ułatwia porównywanie rezultatów badań z innymi instytutami i jednostkami badawczymi oraz prowadzenie wspólnych działań adaptacyjnych w dostosowaniu do zmian klimatu.

Merytoryczny zakres prac dotyczy zmian klimatu i ich wpływu na środowisko naturalne Polski, klęsk żywiołowych, jakie występują na terenie kraju, roli Bałtyku jako elementu systemu klimatycznego oraz systemu monitoringu Polski (monitoring zmian klimatu i monitoring zjawisk ekstremalnych). Udoskonalenia monitoringu uwzględniają zmienności klimatu nie tylko w ujęciu rocznym, sezonowym czy miesięcznym, lecz również w dobowym dla dni, w których występowały zjawiska ekstremalne oraz skrajne wartości elementów meteorologicznych, wykorzystywane w procesie adaptacyjnym. Ważnym zagadnieniem jest określenie zakresu zmian klimatu w skali lokalnej (Polska) i badanie relacji ze zmianami zachodzącymi w skali Europy oraz ich wpływu na różne elementy i procesy środowiska naturalnego (Projekt Klimat, 2012).

Wyniki monitoringu klimatu Polski, ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych, są przekazywane do WMO RA VI (*Regional Climate Centers*) DWD i UE w celu dokonania okresowej oceny ewolucji klimatu Europy Centralnej.

Współczesne tendencje zmian klimatu wskazują na stały wzrost temperatury globalnej, a ich konsekwencje są najbardziej widoczne w gospodarce wodnej (lokalne deficyty wody), w rolnictwie (spadek zasobów wilgoci w glebie) i leśnictwie. Zmiany klimatu w skali globalnej i obserwowany wzrost średniej temperatury powietrza na Ziemi sprzyja zwiększeniu intensywności i częstotliwości zjawisk pogodowych, w większości niekorzystnych dla człowieka i środowiska, które niekiedy osiągają wymiar

ekstremalny. Stają się wówczas groźne, powodując straty materialne i zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego.

Światowe wyniki badań ośrodków naukowych jednoznacznie wskazują, że zjawiska powodowane przez zmiany klimatu, globalne ocieplenie, stanowią poważne zagrożenie dla społecznego i gospodarczego rozwoju wielu krajów na świecie, w tym także dla Polski, zwiększając koszty zapobiegania strat lub ich likwidowania. Wzrost temperatury powietrza zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej jest faktem. W XXI w. każdy rok po 2001 należał do globalnie najcieplejszych od 1880 r. Rok 2016 zajmuje pierwszą pozycję w historii obserwacji (anomalia 0,99°C). Również w latach 2014–2015 rekord temperatury powietrza został znacznie przekroczony (odpowiednio anomalia 0,87°C i 0,74°C). W XX w. jedynie rok 1998 został zaliczony do tej grupy (anomalia 0,63°C), a w rankingu 20 najcieplejszych lat uplasował się na 9. pozycji. Anomalie temperatury (w °C) odnoszą się do okresu bazowego 1951–1980 (NASA).

Temperatura powietrza i opady atmosferyczne to najczęściej analizowane elementy klimatu opisujące jego cechy od skali globalnej po lokalną. Na podstawie długich serii pomiarów temperatury powietrza wyznacza się oscylacje i tendencje temperatury w krótszych lub dłuższych okresach, określając je jako quasi-cykle ociepleń czy ochłodzeń. W seriach opadowych wyróżnia się natomiast okresy suche, wilgotne lub normalne.

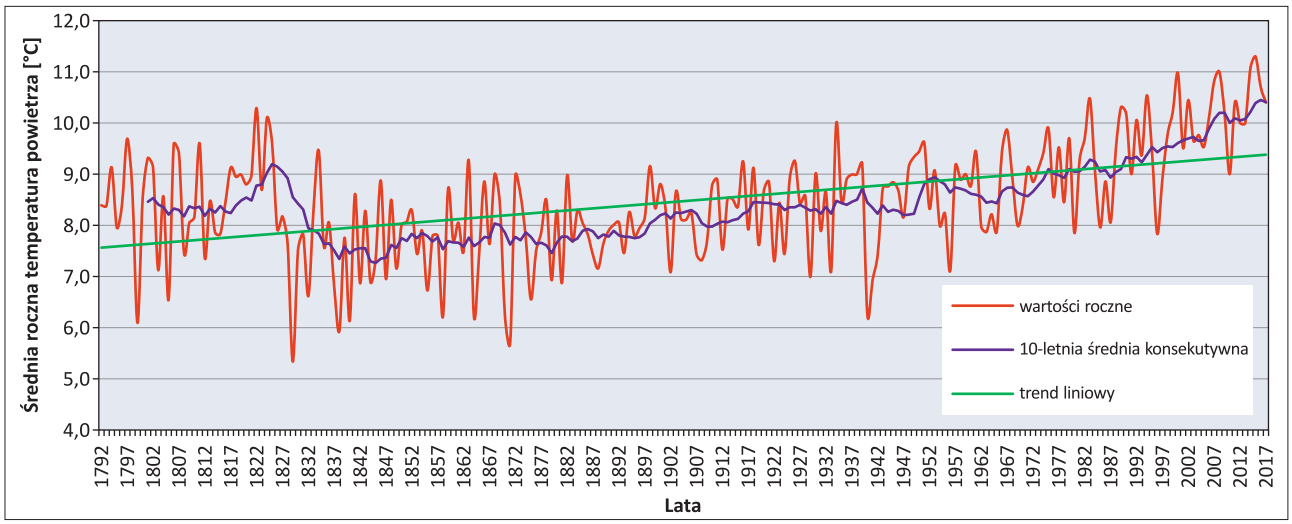
Początki ciągłych instrumentalnych obserwacji meteorologicznych w Polsce sięgają drugiej połowy XVII w. Dzięki temu do badań zmian klimatu można wykorzystać kilka serii pomiarowych, w tym z Krakowa (Limanówka, 2001).

Temperatura powietrza

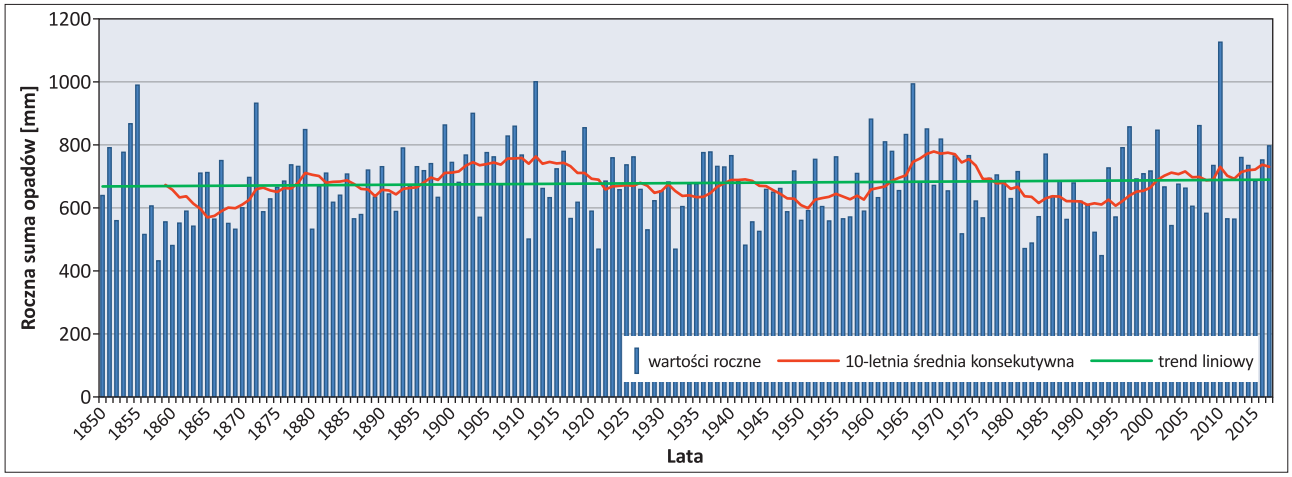
Wieloletni przebieg średniej rocznej temperatury powietrza i skrajnych pór roku dla Krakowa, który charakteryzuje się dużą zmiennością z roku na rok, przedstawiono na rycinie 2. Obserwujemy tendencję wzrostową temperatury powietrza od połowy XIX w. Natomiast okres ostatnich 40 lat jest najcieplejszym w historii obserwacji instrumentalnych w Polsce, a pierwsza dekada XXI w. również w skali globalnej (WMO, 2010; IPCC, 2013).

Opady atmosferyczne

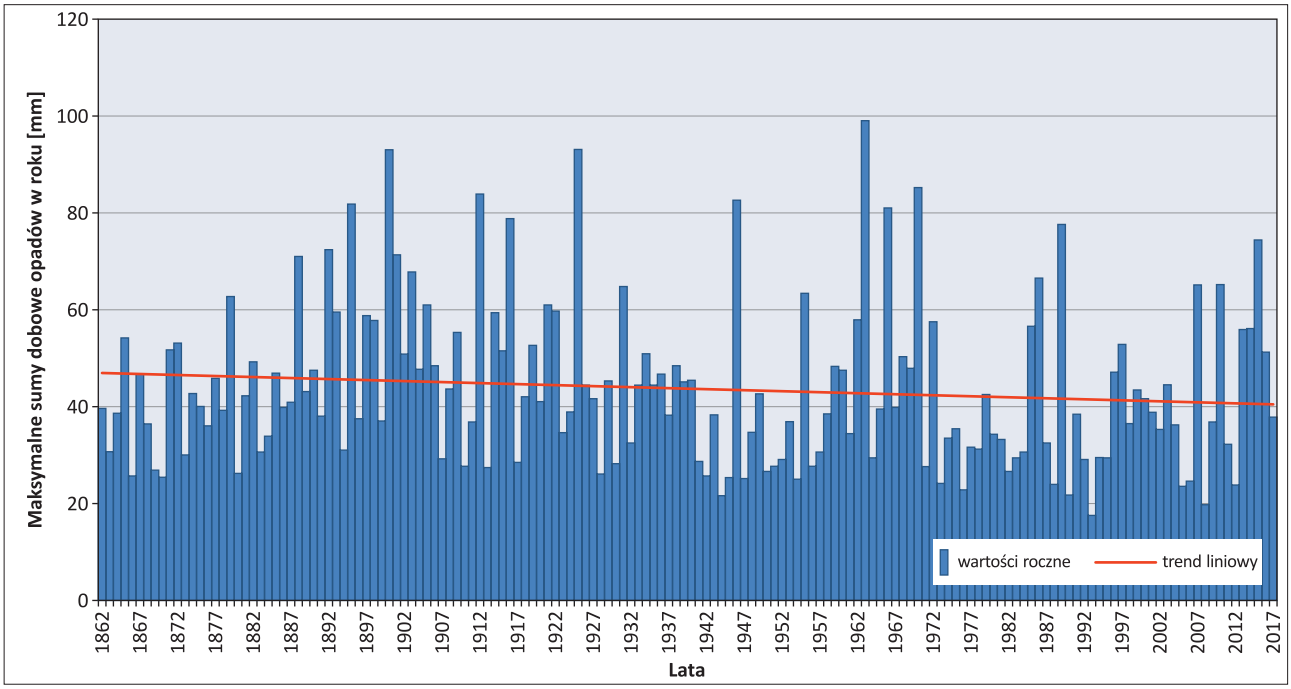
W przebiegu wieloletnim średnie wartości opadów ulegają znacznym zmianom i zdarzają się epizody o ekstremalnie wysokich ich ilościach o katastrofalnych skutkach. Roczne sumy (ryc. 3) nie wykazują określonej trendencji i nie jest ona istotna statystycznie. Najsuchszy w Krakowie był rok 1858 (432 mm), a najbardziej mokry okazał się rok 2010 (1126 mm), Także kilka innych lat cechowało się bardzo wysokimi opadami: w 1912 r. – 1000 mm, 1966 r. – 994 mm, 1855 r. – 990 mm, z którymi wiązały się powodzie.



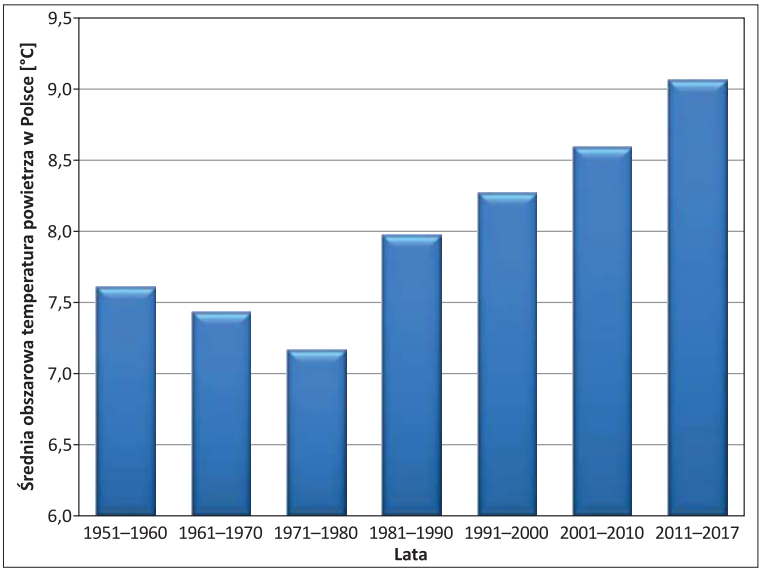
Ryc. 2. Średnia roczna temperatura powietrza (I–XII); Kraków, Obserwatorium UJ, lata 1792–2017



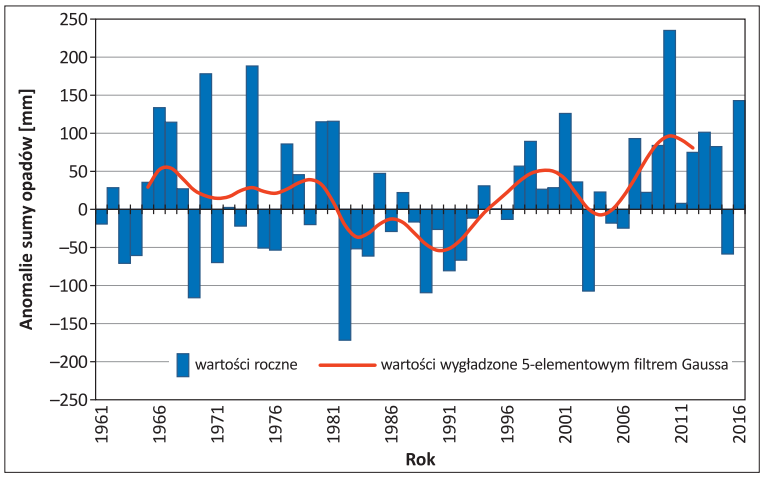
Ryc. 3. Roczna suma opadów (I–XII); Kraków, Obserwatorium UJ, lata 1850–2017



Ryc. 4. Maksymalne sumy dobowe opadów w roku [mm]; Kraków, Obserwatorium UJ, 1862–2017



Ryc. 5. Średnia obszarowa temperatura powietrza w Polsce [°C] w dekadach 1951–2017



Maksymalne sumy dobowe opadów w roku w Krakowie wykazują tendencję malejącą, jednak zdarzają się zarówno pojedyncze, jak i serie epizodów opadów powyżej 50 mm, które mają katastrofalne skutki (ryc. 4). Opad poniżej 20 mm w całym badanym okresie wystąpił tylko raz w 1992 r.

Współczesne tendencje klimatu Polski

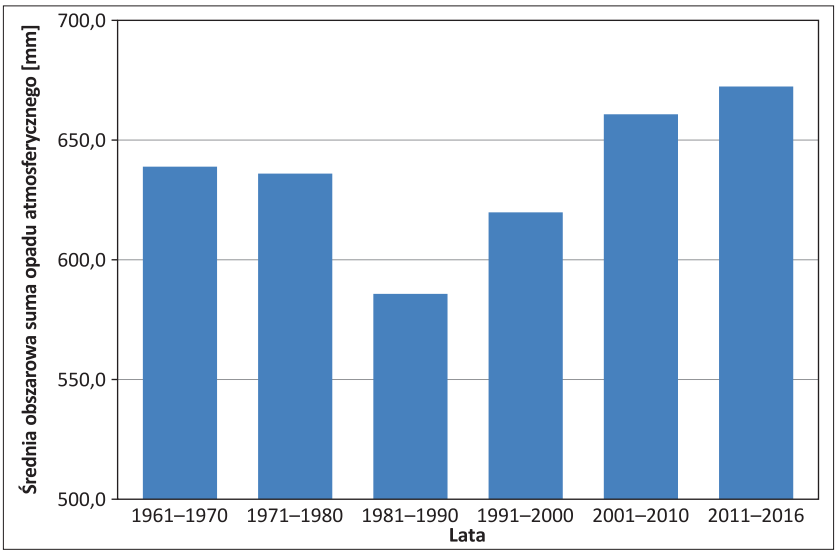
Współczesną tendencję wzrostową temperatury powietrza w Polsce przedstawiono na rycinie 5, jako średnią obszarową w dekadach dla całego kraju (bez gór). Po nieznacznym ochłodzeniu w latach 60. i 70. XX w. trendencja wzrostu temperatury utrzymuje się od końca lat 70.

W przebiegu wieloletnim znacznym fluktuacjom uległy opady atmosferyczne (ryc. 6). Najsuchszy był rok 1982 oraz 2003 i 2015, najbardziej mokry okazał się 2010. W wartościach uśrednionych obszarowo w poszczególnych 10-leciach (ryc. 7) okres 1981–1990 był suchy (Projekt Klimat, 2012).

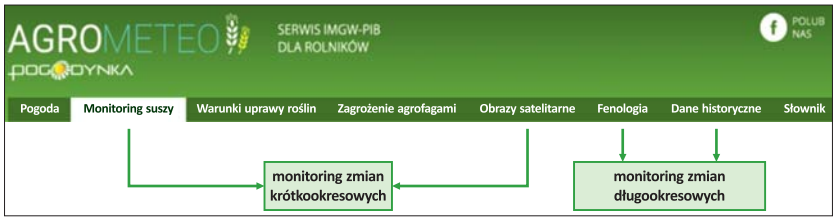
Zmiany klimatu wyrażają się zarówno w znacznych odchyleniach wartości wskaźników klimatycznych od średnich wieloletnich tj. w zmianach długookresowych, jak i w dużych wahaniach wskaźników w krótszych okresach, takich jak miesiąc, dekada, a nawet doba. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej monitoruje zmiany długookresowe, co umożliwia ocenę tendencji wieloletnich, przyczyniając się w ten sposób do lepszego zrozumienia tych pro-

←

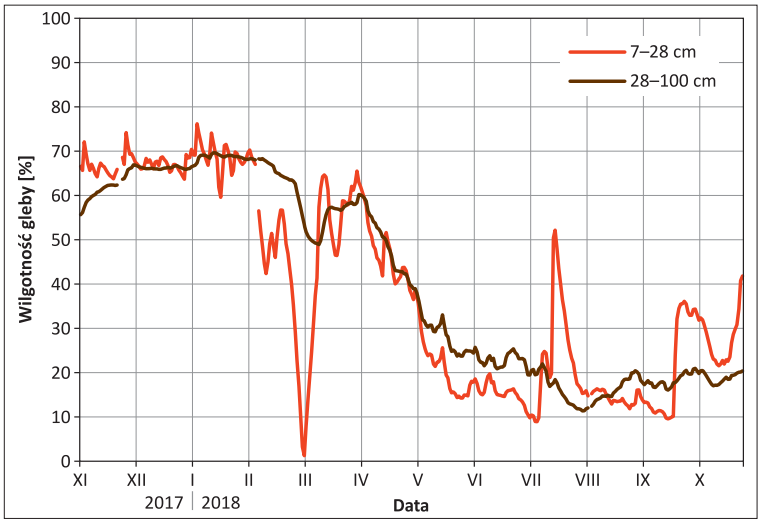
Ryc. 6. Anomalie średniej rocznej obszarowej sumy opadów dla Polski w okresie 1961–2016



Ryc. 7. Średnia obszarowa suma opadu atmosferycznego w Polsce [mm] w poszczególnych dekadach



Ryc. 8. Monitoring zmian klimatycznych prezentowany w ramach internetowej agrometeorologicznej osłony kraju prowadzonej przez IMGW-PIB



Ryc. 9. Wilgotność gleby na głębokości 7–28 oraz 28–100 cm w okresie XI.2017–X.2018 na podstawie danych satelitarnych, powiat świebodziński

cesów i tworzenia planów adaptacyjnych, m.in. w celu minimalizowania skutków susz rolniczych i hydrologicznych (Kępińska-Kasprzak, 2015). Monitorowane są również zmiany krótkookresowe, których znajomość pozwala redukować ryzyko wystąpienia zniszczeń lub nawet utraty zdrowia przez ludzi w wyniku wystąpienia zjawisk ekstremalnych.

Wyniki bieżących obserwacji oraz monitoringu długofalowych zmian warunków klimatycznych i hydrologicznych są publikowane na prowadzonych przez IMGW-PIB stronach internetowych – www.imgw.pl oraz www.pogodynka.pl. W ramach tej ostatniej instytut prowadzi również internetowy system agrometeorologicznej osłony kraju (Agrometeo) – http://agrometeo.pogodynka.pl/ (ryc. 8).

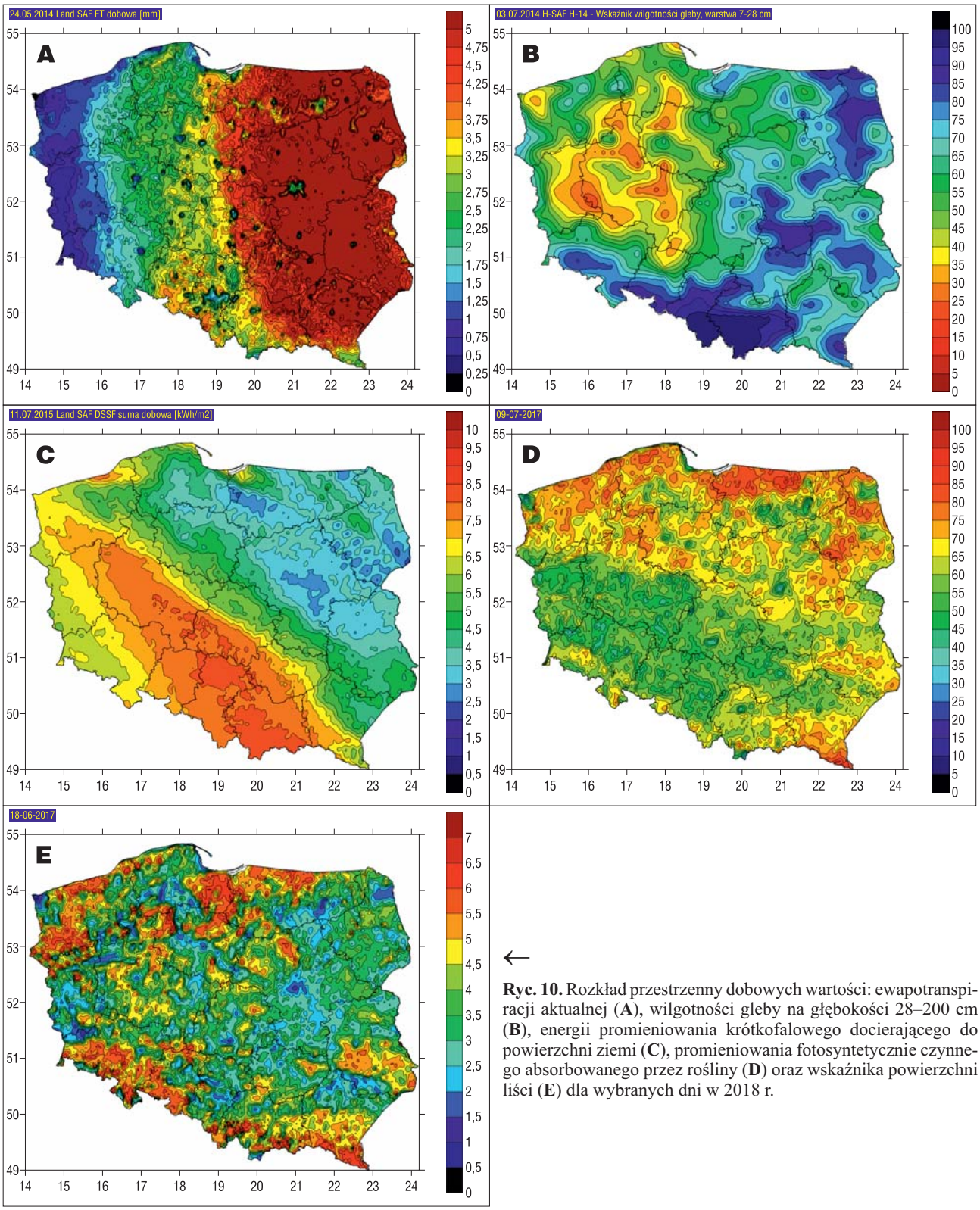
W serwisie tym są na bieżąco zamieszczane wyniki monitoringu zmian krótkookresowych, np. wilgotność gleby na różnych głębokościach, wskazująca na ewentualne zagrożenie suszą rolniczą, czy też rozkład przestrzenny wskaźników takich jak: ewapotranspiracja, promieniowanie słoneczne itp., na podstawie obrazów satelitarnych (Kępińska-Kasprzak, Struzik, 2019).

Poziom wilgotności gleby jest prezentowany w postaci wykresów dla ostatnich kilku miesięcy, z dobowym krokiem czasowym (ryc. 9). Wykresy są tworzone dla każdego z 380 powiatów w Polsce i umożliwiają obserwowanie zmian wilgotności gleby w warstwie korzeniowej, co daje bardzo istotną informację podczas śledzenia ewentualnego zagrożenia suszą rolniczą.

Zamieszczone na stronie Agrometeo w kolejnej zakładce obrazy satelitarne pozwalają na obserwowanie zmian w rozkładzie przestrzennym, z krokiem dobowym, wskaźników takich jak: ewapotranspiracja aktualna, promieniowanie krótkofalowe, wilgotność gleby na różnych głębokościach, promieniowanie fotosyntetycznie czynne absorbowane przez rośliny (fAPAR) czy też wskaźnik powierzchni liści LAI (ryc. 10), szczególnie istotnych do oceny rozwoju wegetacji w zmiennych warunkach klimatycznych (Kępińska-Kasprzak i in., 2017).

Monitoring zmian długookresowych, którego wyniki są publikowane na stronie Agrometeo, obejmuje dane fenologiczne oraz dane historyczne. Te drugie to wykresy obrazujące przebiegi dekadowe (10-dniowe) podstawowych wskaźników agroklimatycznych w okresie wegetacyjnym (IV–IX) na stacjach synoptycznych IMGW-PIB. Dla poszczególnych stacji synoptycznych są również opracowane i opublikowane w postaci wykresów dane obejmujące wszystkie wskaźniki agroklimatyczne od roku 1966, ze wskazaniem tendencji ich zmian (ryc. 11). Wyraźne, wyższe wartości temperatury powietrza (temperatura maksymalna) i usłonecznienia przekładają się m.in. na istotny wzrost ewapotranspiracji, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie ilości wody dostępnej dla roślin w okresie wegetacyjnym i wydłużanie się okresów deficytu wilgoci (Struzik, Kępińska-Kasprzak, 2016).

Na stronie Agrometeo umieszczane są dane fenologiczne. Powszechnie obserwowane od wielu lat zmiany klimatyczne, w tym tendencja wzrostu średnich temperatur powietrza, szczególnie na półkuli północnej, znajdują swoje odbicie m.in. w świecie roślinnym i zwierzęcym. Monitoringiem tych zjawisk i ich powiązaniami ze zjawiskami pogodowymi zajmuje się fenologia. Obserwacyjne sieci fenologiczne pełnią istotną rolę w badaniach zarówno warunków meteorologicznych panujących w danym sezonie

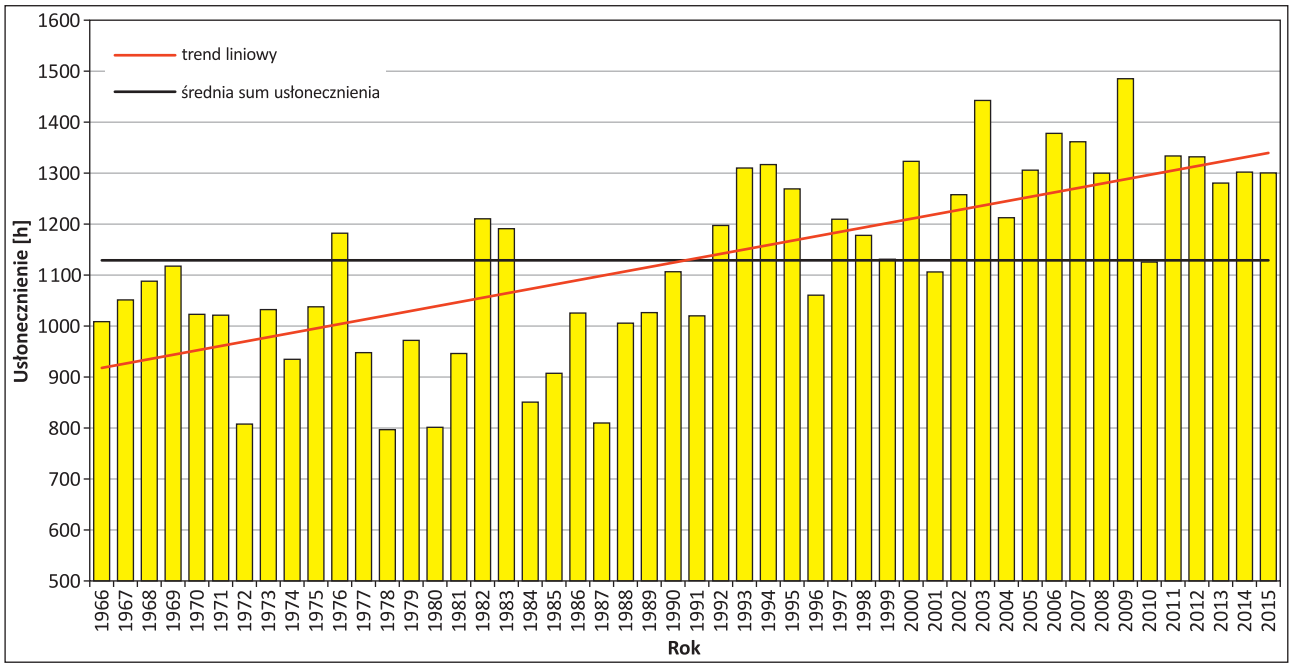


←

Ryc. 10. Rozkład przestrzenny dobowych wartości: ewapotranspiracji aktualnej (**A**), wilgotności gleby na głębokości 28–200 cm (**B**), energii promieniowania krótkofalowego docierającego do powierzchni ziemi (**C**), promieniowania fotosyntetycznie czynnego absorbowanego przez rośliny (**D**) oraz wskaźnika powierzchni liści (**E**) dla wybranych dni w 2018 r.

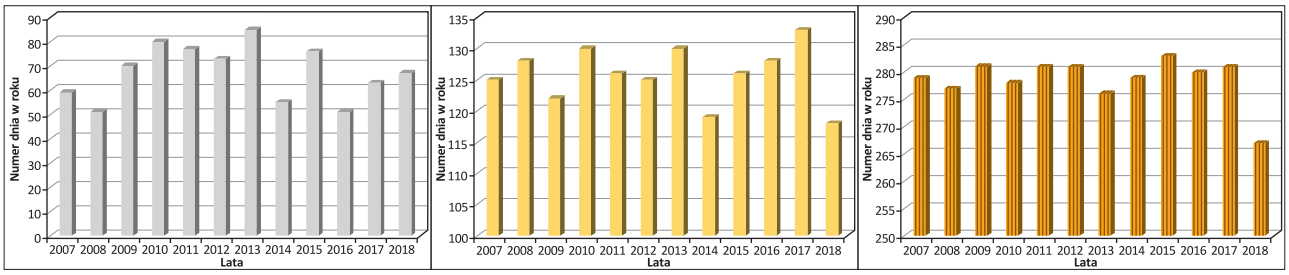
na określonym obszarze, jak i w analizach zmian klimatycznych. Szczególne zainteresowanie budzą obserwacje faz fenologicznych związanych z rozwojem roślin, na które w bardzo dużym stopniu wpływają czynniki środowiskowe, przede wszystkim temperatura powietrza. Ponieważ obserwacje fenologiczne są względnie proste i nie wymagają szczególnych inwestycji, stanowią doskonałą informację uzupełniającą pomiary instrumentalne prowadzone przez służby meteorologiczne. Poprzez związek pomiędzy rozwojem roślin a przebiegiem aktualnych zjawisk pogodowych oraz warunkami klimatycznymi stanowią instrument wczesnego wykrywania zmian w biosferze i są ważnym narzędziem w badaniach nad globalnymi zmianami ekosystemów na skutek zmian klimatycznych.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej prowadzi sieć fenologiczną, na której obserwacjom podlega pięć różnych faz rozwoju roślin (tzw. fenofaz) u dziesięciu roślin dziko rosnących. Uzyskane wyniki pozwalają m.in. na wyznaczanie siedmiu fenologicznych pór roku (zaranie wiosny, wczesna wiosna, pełnia wiosny, wczesne lato, lato,



Ryc. 11. Przebieg rocznych sum usłonecznienia oraz trend prostoliniowy (czerwona linia) na stacji synoptycznej Katowice

Ryc. 12. Rozkład przestrzenny: początku wczesnego lata w 2018 r. (**A**), średniej daty początku wczesnego lata w wieloleciu (**B**) oraz odchylenia początku wczesnego lata w 2018 r. od średniej wieloletniej w Polsce (**C**)



Ryc. 13. Średnie daty zakwitania leszczyny pospolitej i kasztanowca zwyczajnego oraz żółknięcia liści lipy drobnolistnej w Polsce w latach 2007–2018

wczesna jesień, jesień), zamieszczanych następnie na stronie Agrometeo w postaci map. Prezentowane są na nich trzy rodzaje informacji: data początku danej pory roku w konkretnym roku kalendarzowym, średnia data początku danej pory roku obliczona z wielolecia oraz odchylenie (w dniach) daty początku poszczególnych pór roku od średnich z wielolecia. Na rycinie 12 zaprezentowano przykładowe trzy rodzaje map opracowane dla wczesnego lata w 2018 r., które było wyjątkowo ciepłe na tle wielolecia, na co wskazuje m.in. bardzo znaczne przyspieszenie początku tej pory roku w całym kraju – o ok. trzy tygodnie w stosunku do terminów średnich wieloletnich.

Z kolei obserwacje fenologiczne początku poszczególnych faz fenologicznych (listnienie, kwitnięcie, dojrzewanie owoców, żółknięcie i opadanie liści) pozwalają na analizę ich zmienności w kolejnych latach. Wahania początku wszystkich fenofaz w wieloleciu bardzo dobrze odzwierciedlają zmienność warunków termicznych w Polsce w tych okresach. Rycina 13 przedstawia przebieg początku trzech wybranych fenofaz w Polsce w okresie 2007–2010.

Opisane powyżej przykładowe analizy, oparte na danych pochodzących z monitoringu hydro-meteorologicznego IMGW-PIB, wskazują na wiele możliwości związanych z ich wykorzystaniem do oceny wielkości zmian klimatu w Polsce.

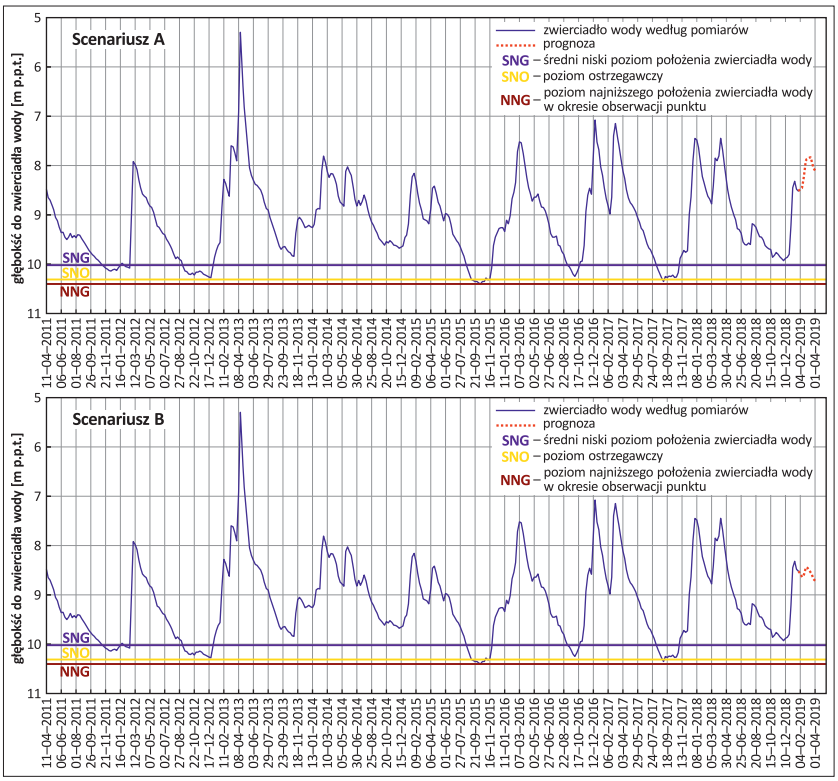
WODY PODZIEMNE W KONTEKŚCIE MOŻLIWYCH SCENARIUSZY ZMIAN KLIMATU I PRZECIWDZIAŁNIA ICH NEGATYWNYM SKUTKOM

Wody podziemne są najbardziej stabilnym elementem cyklu hydrologicznego i stanowią olbrzymi potencjał badawczy w kontekście prognozowania zmian klimatycznych. Wahania poziomu zwierciadła wód podziemnych są wypadkową wielu elementów i reakcją na wiele nistabilnych w czasie czynników środowiskowych, które często pojedynczo sprawiają trudności w monitorowaniu lub interpretacji ich zmian (Kowalczyk i in., 2018). W wyniku tego wody podziemne mogą być rozpatrywane w kontekście działań adaptacyjnych do zmian klimatu w dwóch płaszczyznach – jako źródło informacji o samych zmianach klimatycznych i jednocześnie jako źródło cennej substancji – (wody) najlepiej zabezpieczonej w przyrodzie w sposób naturalny przed zanieczyszczeniami z powierzchni terenu, a także fluktuacjami warunków meteorologicznych.

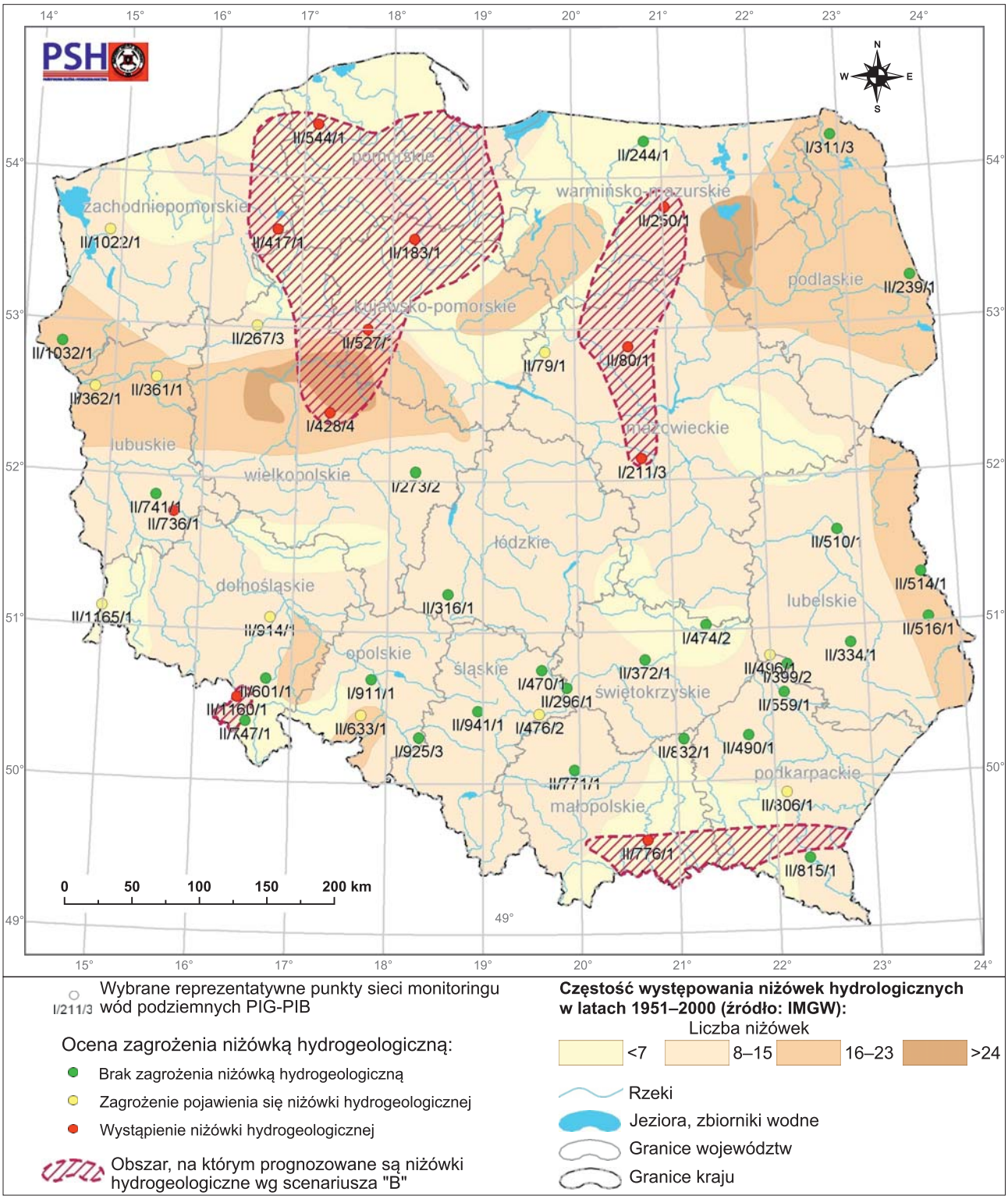
Monitoringiem wód podziemnych w Polsce zajmuje się Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, który zgodnie z ustawą *Prawo wodne* (Ustawa, 2017) pełni funkcję państwowej służby hydrogeologicznej (PSH). Od 2001 r. PSH realizuje zadania państwa na potrzeby rozpoznawania, bilansowania i ochrony wód podziemnych w celu ich racjonalnego wykorzystania przez społeczeństwo i gospodarkę. W 2019 r. dane o położeniu zwierciadła wód podziemnych były zbierane z 1250 punktów zlokalizowanych w 13 regionach hydrogeologicznych kraju (Paczyński, Sadurski, 2007). Punkty te reprezentują zarówno pierwszy, jak i głębsze, użytkowe poziomy wodonośne. Strop najgłębiej obserwowanego otworu zalega na głębokości 595 m względem powierzchni ziemi. Dane pomiarowe są gromadzone w **bazie danych Monitoring Wód Podziemnych (MWP)**. Jeszcze kilka lat temu były to głównie manualne pomiary codzienne (stacje I rzędu) lub cotygodniowe (stacje II rzędu), wykonywane z zastosowaniem miernika akustycznego (świstawka). Obecnie, skutkiem postępującego zautomatyzowania procesu, częstotliwość pomiarów jest w wielu punktach większa (na stacjach z automatyczną aparaturą pomiarową z transmisją danych pomiar jest wykonywany co godzinę). Poza wynikami pomiarów głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych baza MWP zawiera podstawowe informacje o punktach obserwacyjnych, które umożliwiają ich uproszczoną charakterystykę hydrogeologiczną. Pozyskane dane monitoringowe są wykorzystywane do śledzenia bieżącej sytuacji hydrogeologicznej w kraju i przeprowadzenia symulacji jej rozwoju w najbliższych miesiącach. Wyniki przeprowadzonych analiz w formie zilustrowanej wykresami oraz mapami są dostępne na stronie internetowej www.pgi.gov.pl/psh/psh-2 (ryc. 14, 15). Do interpretacji danych z monitoringu ilościowego wód podziemnych wykorzystuje się wskaźnik zagrożenia niżówką hydrogeologiczną, wskaźnik zmian retencji (Komunikat, 2019) i standaryzowany wskaźnik wód podziemnych. Zgromadzone dane o głębokości zalegania zwierciadła wody są także podstawą różnych badań np. analizowania długości trwania i częstotliwości występowania okresów ekstremalnie wysokich i niskich stanów wód podziemnych na obszarze Polski (Kowalczyk i in., 2017; 2018b). W wyniku takich prac określa się m.in. obszary najbardziej narażone na długotrwałe niżówki hydrogeologiczne (Kowalczyk i in., 2017) i na ich negatywne skutki, co jest kluczowe w planowaniu czy podejmowaniu działań adaptacyjnych.

Poza monitoringiem ilościowym PSH od roku 1991 prowadzi też monitoring jakościowy (stanu chemicznego), który polega na wykonywaniu badań w zakresie oznaczania stężeń określonych wskaźników fizykochemicznych w wodach podziemnych. Jest on podstawą opracowywania przez PIG-PIB oceny stanu chemicznego jednolitych części wód podziemnych i wielu innych analiz, jak np. wyznaczanie tła hydrogeochemicznego w Polsce czy badanie zmienności stężeń poszczególnych parametrów fizykochemicznych w czasie (m.in. analiza presji i oddziaływań). Obecnie w bazie MWP znajdują się wyniki 27 225 analiz chemicznych z 2736 punktów obserwacyjno-badawczych.

Dane monitoringowe są dla PSH danymi początkowymi do przeprowadzania analiz zmienności poszczególnych zjawisk w czasie. Przykładem badanych zjawisk są: wahania zwierciadła wód podziemnych, występowanie okresów niedoboru wody, trendy w składzie geochemicznym wody



Ryc. 14. Przykład wykresów z prognozą położenia zwierciadła wody dla jednego z punktów obserwacyjno-badawczych PIG-PIB: **A** – scenariusz korzystny dla gospodarki wodnej; **B** – niekorzystny dla gospodarki wodnej



Ryc. 15. Przykład mapy z zaznaczonymi obszarami prognozowanej niżówki hydrogeologicznej w okresie trzech miesięcy (Prognoza PSH 4b/2016)

podziemnej. Należy podkreślić, że bez rozpoznania danego zjawiska niemożliwe jest właściwe jego prognozowanie czy określenie działań adaptacyjnych. Dla obszarów, dla których częstotliwość występowania niżówek hydrogeologicznych jest najwyższa, PSH na podstawie rozpoznania warunków hydrogeologicznych oraz udokumentowanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych określa możliwości łagodzenia skutków suszy w rolnictwie, z wykorzystaniem dostępnych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych. Taka analiza dostarcza informacji umożliwiających podejmowanie konkretnych działań na obszarach, gdzie zagrożenie suszą rolniczą i ryzyko negatywnych skutków tego zjawiska jest przewidywalne.

Poza bazą Monitoring Wód Podziemnych PIG-PIB prowadzi również inne bazy dotyczące problematyki wód podziemnych, w których zgromadzone dane są istotne w opracowywaniu strategii adaptacyjnych do zmian klimatu. Poniżej zawarto ich krótki opis. Są to w większości bazy,

w których w ramach prac PSH informacja już jest w pewnym zakresie zinterpretowana, aby mogła służyć szerszemu gronu odbiorców i była łatwiejsza do wykorzystania w różnych celach, w tym w działaniach ukierunkowanych na łagodzenie negatywnych skutków zmian klimatu.

Baza danych o Głównych Zbiornikach Wód Podziemnych (GZWP) została stworzona na podstawie analizy wielu danych hydrogeologicznych. GZWP stanowią strategiczne rezerwy dla zaopatrzenia w wodę – są najbardziej zasobnymi w wodę podziemną kraju. Ustalenie i znajomość ich za-sięgów ma kluczowe znaczenie w gospodarowaniu i ochronie zasobów wodnych, a także w planowaniu i podejmowaniu działań adaptacyjnych. Baza zawiera również klasyfikację GZWP na podstawie wykorzystania zasobów, stopnia przeobrażeń antropogenicznych, odporności na zanieczyszczenia, ekonomicznego aspektu zaleceń ochronnych oraz wskaźników opłat wodnych.

Baza danych GIS zasobów dyspozycyjnych i perspektywicznych wód podziemnych dla obszaru Polski zawiera informacje na temat aktualnego stanu rozpoznania zasobów wód podziemnych na terenie kraju zarówno w aspekcie udokumentowanych zasobów dyspozycyjnych, określonych w trybie zgodnym z ustawą *Prawo geologiczne i górnicze* (Ustawa, 2011), jak i w obszarach nie objętych udokumentowaniem hydrogeologicznym – zasobów perspektywicznych oszacowanych metodami uproszczonymi. Baza stanowi podstawowe źródło informacji na temat stanu udokumentowania oraz wielkości dostępnych do zagospodarowania wód podziemnych na obszarze kraju, a także wykonywania długoterminowych prognoz zmian wielkości zasobów dostępnych do wykorzystania w perspektywie szacowanych scenariuszy klimatycznych. Zgromadzone dane umożliwią przeprowadzanie bilansów wodnogospodarczych zlewni oraz wydawanie pozwoleń wodnoprawnych na pobór wód podziemnych. Baza jest corocznie aktualizowana.

Baza danych o poborze rejestrowanym z ujęć wód podziemnych – Pobory zawiera informacje przestrzenne o poborze rejestrowanym wód podziemnych z ujęć, tzn. poborze realizowanym w ramach szczególnego korzystania z wód podziemnych i wymagającym pozwolenia wodnoprawnego (Ustawa, 2017) na terenie Polski. Baza jest aktualizowana w cyklu rocznym.

Baza danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski (MHP) w skali 1 : 50 000, która zawiera warstwy informacyjne MHP dotyczące identyfikacji głównego użytkowego piętra/poziomu wodonośnego z podaniem jego charakterystyki w zakresie: zasięgu i głębokości występowania oraz miąższości i przewodności, jakości wód podziemnych jako źródła zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, stopnia zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniami z powierzchni terenu, możliwości uzyskania wydajności z typowej studni wierconej, aktualnego położenia zwierciadła wód podziemnych i kierunków ich przepływu, odnawialności zasobów wód podziemnych oraz ich dopuszczalnego zagospodarowania. W ostatnich latach bazę danych MhP uzupełnia się o nowe warstwy informacyjne dotyczące charakterystyki pierwszego poziomu wodonośnego w aspekcie wrażliwości na zanieczyszczenie i jakości wód. Baza MHP była m.in. wykorzystana do opracowania:

– programów działań dla zaopatrzenia w wodę ludności ze źródeł alternatywnych w sytuacjach kryzysowych i awaryjnych (Nowicki, 2007);

– programów działań dla zaopatrzenia rolnictwa w wodę i łagodzenia skutków suszy (Zadania PSH w latach 2015–2017);

– oceny zagrożenia podtopieniami terenu; projektowania obszarów ochronnych zbiorników wód podziemnych i stref ochronnych ujęć wód podziemnych;

– planowania przestrzennego – określania kierunków zagospodarowania terenu; budowy modeli matematycznych przepływu wód podziemnych, np. do ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych i określania potencjalnego czasu migracji zanieczyszczeń;

– opracowania programu wodno-środowiskowego kraju i planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy;

– ustalania warunków korzystania z wód regionu wodnego i zlewni; analizy wyników monitoringu wód podziemnych;

– identyfikacji warunków hydrogeologicznych w chronionych ekosystemach zależnych od wód podziemnych; wstępnej oceny warunków i możliwości lokalizacji obiektów uciążliwych dla środowiska;

– analizy możliwości okresowego wykorzystania rezerw zasobów wód podziemnych do działań związanych z poszukiwaniem i eksploatacją gazu łupkowego;

– analizy i oceny stosunków wodnych oraz opracowywania programów działań dla ochrony wód podziemnych;

– opracowywania programów ochrony środowiska i strategii rozwoju regionalnego.

Wiele ze wspomnianych wyżej prac, które można powiązać z działaniami adaptacyjnymi, prowadzono w PIG-PIB.

Przykładem może tu być **Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami (Podtopienia)** – obecnie dostępna w formie Bazy danych GIS, która jest wynikiem wielokryterialnych analiz, w tym z wykorzystaniem MHP i SMGP, prowadzących do wyznaczenia obszarów możliwych, maksymalnych zasięgów występowania podtopień w rejonie i sąsiedztwie dolin rzecznych. W 2018 r. ukończono opracowanie wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) w zakresie powodzi spowodowanych wodami gruntowmi, co zgodnie z dyrektywą powodziową stanowi istotny wkład do opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym (PZRP) dla obszaru kraju. Warto podkreślić, że uwzględnienie po raz pierwszy w PZRP powodzi od wód gruntowych jest pionierskim wdrożeniem w skali Unii Europejskiej – Polska jako pierwsza podjęła działania w tym zakresie.

Ważnym uzupełnieniem wymienionych baz jest **Centralny Bank Danych Hydrogeologicznych – Bank HYDRO**, w którym są zbierane szczegółowe dane o obiektach hydrogeologicznych (studnie, piezometry, otwory badawcze, źródła) na ternie kraju i **Bank danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin – Bank Wód Mineralnych**, zawierający dane na temat otworów, którymi zostały ujęte wody lecznicze, termalne lub solanki. Bazy te, chociaż nie w sposób bezpośredni, są związane z adaptacją do zmian klimatu, ponieważ zawierają informacje podstawowe, na bazie których powstają opracowania dedykowane kwestiom klimatycznym, takim jak np. wskazanie alternatywnych źródeł zaopatrzenia w wodę na potrzeby łagodzenia niedoborów wody.

Reasumując, prace prowadzone w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym w aspekcie wód podziemnych, takie jak: monitoring, rozpoznawanie zasobów i użytkowania wód podziemnych,

różnego rodzaju analizy prowadzące do identyfikowania poszczególnych zjawisk oraz gromadzenie informacji hydrogeologicznej, stanowią cenną podstawę do opracowywania strategii adaptacji do zmian klimatu. Są źródłem rzetelnych danych, na których można budować scenariusze zmian klimatycznych. Należy jednak pamiętać, że w skali długoterminowych zmian zapis zgormadzony przez PIG-PIB jest bardzo krótki, a założenia dla scenariuszy zmian klimatu charakteryzują się znaczną niedokładnością. Sprawia to, że wszelkie prognozy dotyczące dłuższych horyzontów czasowych są obarczone dużą dozą niepewności, dlatego opracowywane strategie powinny brać pod uwagę różne, w tym przeciwstawne, scenariusze zdarzeń.

ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z OSUWISKAMI

Postępujące zmiany klimatyczne i związane z nimi zjawiska obfitych, a czasem ekstremalnych opadów atmosferycznych wpływają również na intensyfikację ruchów masowych. Większość obszaru Polski nie jest w sposób szczególny zagrożona ruchami masowymi, ale w pewnych rejonach, w których ich koncentracja jest znaczna, stwarzają one często znaczne zagrożenie, przede wszystkim dla infrastruktury, zdrowia i życia ludzkiego. Większość osuwisk występuje w Karpatach, gdzie fliszowa budowa geologiczna oraz zwiększone opady wpływają na powstanie nowych i uaktywnienie istniejących form osuwiskowych. Poza Karpatami osuwiska występują również wzdłuż zboczy dużych dolin rzecznych, wzdłuż wybrzeża klifowego, na obszarach występowania miąższych pokryw lessowych porozcinanych licznymi wąwozami. Obecne są również na morenowych formach rzeźby oraz na pozostałych obszarach górskich, przede wszystkim Sudetach i Górach Świętokrzyskich.

W ramach Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) prowadzonego przez Centrum Geozagrożeń PIG-PIB są wykonywane kompleksowe działania mające na celu:

– inwentaryzację osuwisk i terenów zagrożonych na obszarze kraju i przedstawienie ich na mapach w skali 1 : 10 000 (ryc.16A), zgodnie z jednolitą metodyką i przyjętymi standardami (Grabowski i in., 2008);

– prowadzenie bazy danych o osuwiskach i terenach zagrożonych ruchami masowymi wraz z kartami rejestracyjnymi (ryc.16B);

– monitoring wybranych osuwisk (ryc.16C);

– ocenę ryzyka osuwiskowego wraz z przygotowaniem map podatności osuwiskowej.

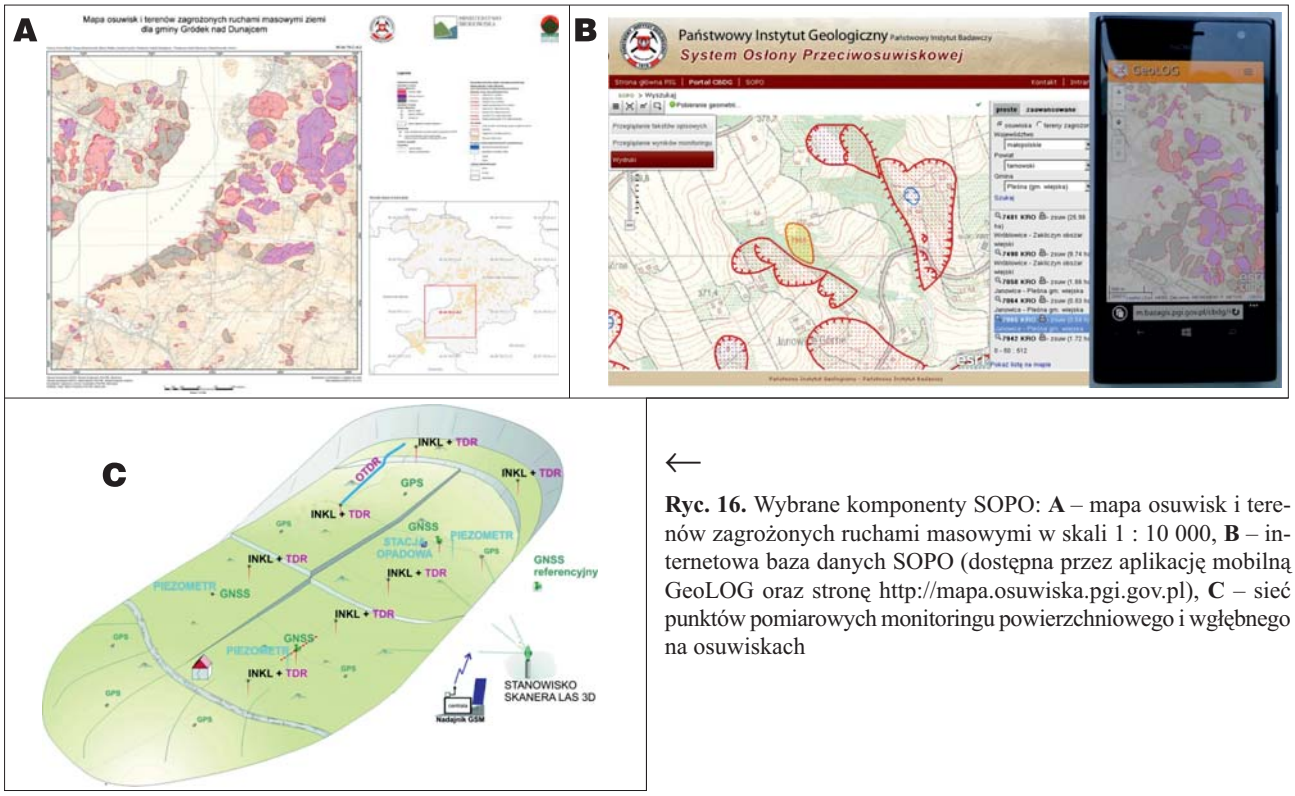
Według stanu na marzec 2019 r. na obszarze Polski rozpoznano ok. 70 000 osuwisk (dla ok. 64 000 wprowadzono karty do bazy SOPO), z czego najwięcej form występuje w Karpatach (ryc. 17).

Przykład zagrożenia dla lokalnych społeczności ze strony istniejących osuwisk dobrze obrazuje mapa gminy Dubiecko (ryc. 18) położonej na Pogórzu Przemyskim. W obrębie gminy o powierzchni 154,26 km^2 zinwentaryzowano 1623 osuwiska, które zajmują 16% powierzchni gminy. Na osuwiskach występuje ok. 450 budynków mieszkalnych, z czego 10% jest w różnym stopniu uszkodzonych, 6 km odcinków dróg, 34,5 km linii energetycznych.

W ostatnich kilkudziesięciu latach (1990–2018) na terenie Karpat wystąpiło kilka katastrof osuwiskowych (ryc. 19) spowodowanych wystąpieniem ekstremalnych opadów atmosferycznych.

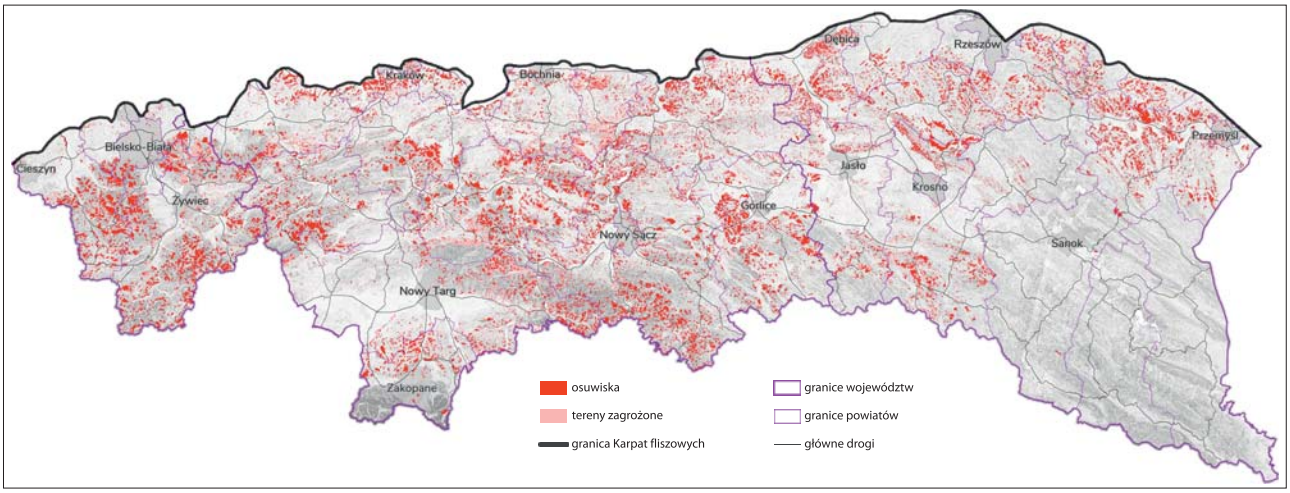
Ze względu na postępujące zmiany klimatyczne i związane z nimi możliwe ekstremalne opady atmosferyczne oraz powodzie prawdopodobieństwo uaktywnienia się ruchów masowych zwiększa się, statystycznie raz na 8–10 lat dochodzi do odnowienia się aktywności osuwisk na skalę zagrażającą budownictwu i człowiekowi.

Niektóre najbardziej niebezpieczne osuwiska są monitorowane w celu zapobiegania potencjalnym zagrożeniom i szkodom wywołanym przez ruchy masowe (ryc. 16C, 20). Obecnie jest ich 60 i niemal wszystkie są położone Karpatach. Na jednym z nich, w miejscowości Łaski



←

Ryc. 16. Wybrane komponenty SOPO: **A** – mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, **B** – internetowa baza danych SOPO (dostępna przez aplikację mobilną GeoLOG oraz stronę http://mapa.osuwiska.pgi.gov.pl), **C** – sieć punktów pomiarowych monitoringu powierzchniowego i wgłębnego na osuwiskach



Ryc. 17. Mapa obszaru karpackiego z zaznaczonymi zinwentaryzowanymi osuwiskami (na podstawie danych z bazy SOPO 10k zestawił M. Kułak, 2019; wykorzystano dane z BDOO – Baza Danych Obiektów Ogólnogeograficznych)

w Międzybrodziu Bialskim jest obecnie uruchamiany monitoring w czasie rzeczywistym (online). Jęzor osuwiska schodzi częściowo pod powierzchnię wody zbiornika wyrównawczego. W przypadku nagłego uaktywnienia tego osuwiska miliony ton ziemi mogą się zsunąć do zbiornika, powodując znaczne podniesienie poziomu wody, co z kolei jest niebezpieczne dla istniejącej nieopodal tamy na rzece Sole, a jej przerwanie skutkowałoby zatopieniem setek siedzib ludzkich; na osuwisku tym występuje kilkadziesiąt domów, przeważnie rekreacyjnych.

Mając na uwadze postępujące zmiany klimatu oraz potrzebę działań prewencyjnych, ostrzegających społeczeństwo przed możliwymi negatywnymi skutkami dalszego i nieuniknionego rozwoju ruchów masowych, tworzy się również dla wybranych rejonów (na ogół gęsto zabudowanych) mapy podatności osuwiskowej i zagrożenia osuwiskowego, które są podstawą do opracowania map ryzyka osuwiskowego (uwzględniające także tzw. ryzyko inwestorskie).

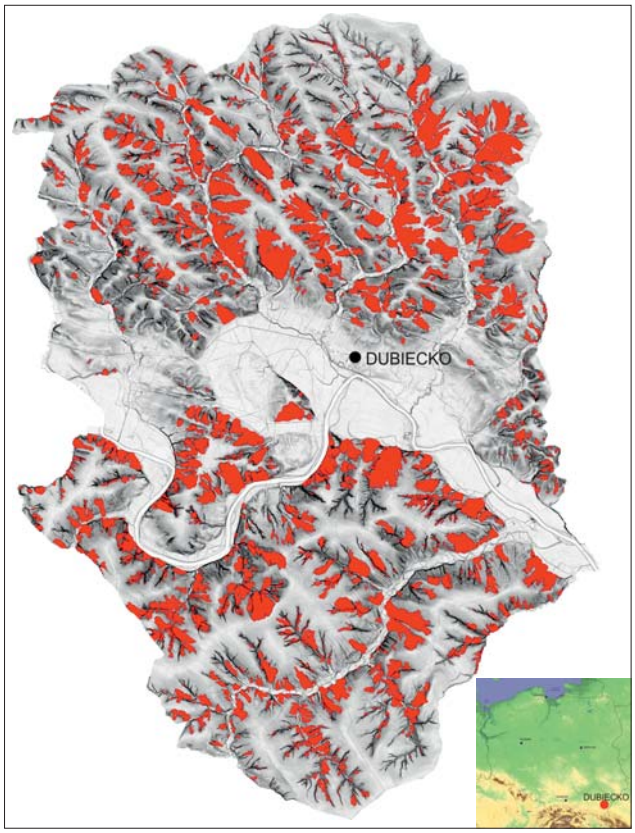
Wszystkie działania realizowane w ramach Projektu SOPO służą głównie dostarczeniu najbardziej wiarygodnych i aktualnych danych, niezbędnych do rozsądnego planowania przestrzennego na poziomie gminnym, powiatowym i krajowym, w celu ograniczenia w przyszłości rozwoju infrastruktury na obszarach najbardziej narażonych na ruchy masowe.

DANE PALEOKLIMATYCZNE W DZIAŁANIACH ADAPTACYJNYCH

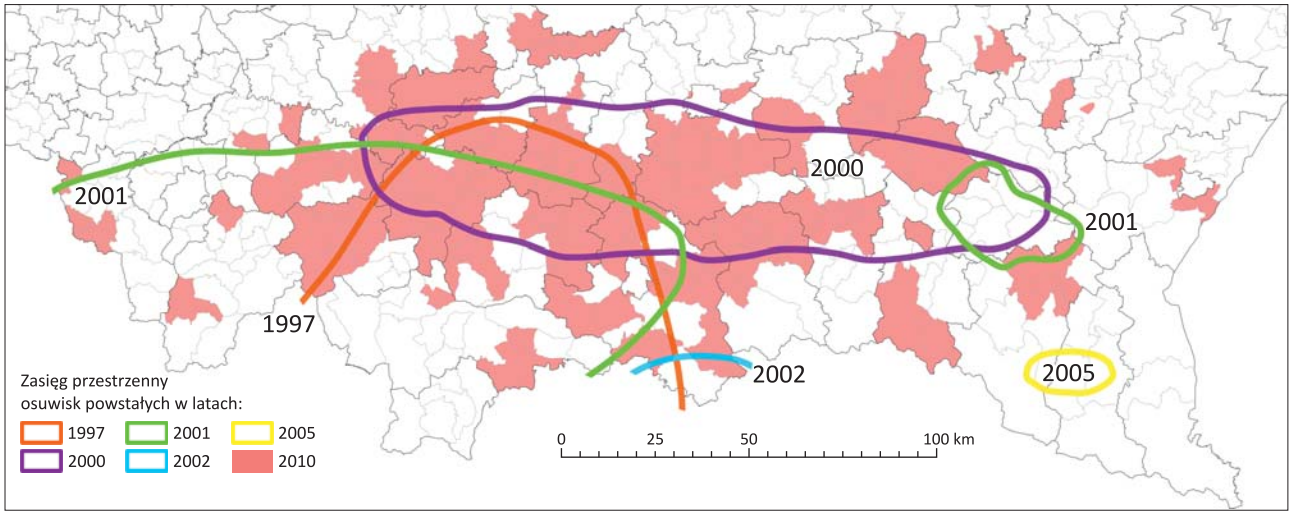
Typ roślinności, jaki rozwija się na danym obszarze, zależy od kilku czynników, takich jak: klimat, typ gleby, warunki orograficzne, hydrologiczne oraz antropogeniczne (Latałowa, 1992). Najważniejsze z nich, mające bezpośredni wpływ na rozwój konkretnego typu roślinności (formacji roślinnej), to klimat i typy gleb (Walter, 1976). Czyni to z roślinności jeden z najlepszych wskaźników zmian klimatu w skali geologicznej. W holocenie dołączył bardzo istotny czynnik zmieniający roślinność zarówno w skali lokalnej, jak i regionalnej – człowiek i jego działalność.

Naturalnymi archiwami, w których znajdują się zapisy zmian roślinności, a zatem i zmian klimatu, są osady torfowisk, jezior oraz mórz, a narzędziem służącym do ich odczytania jest paleobotanika. W tej dziedzinie do badania szczątków roślinnych zachowanych w osadach są stosowane dwie grupy metod. Pierwsza to analiza pyłkowa (Faegri, Iversen, 1989), w której przedmiotem badań są ziarna pyłku roślin kwiatowych oraz zarodniki roślin niższych; druga to badanie szczątków makroskopowych roślin, przede wszystkim nasion i owoców, oraz w mniejszym stopniu fragmentów wegetatywnych części roślin.

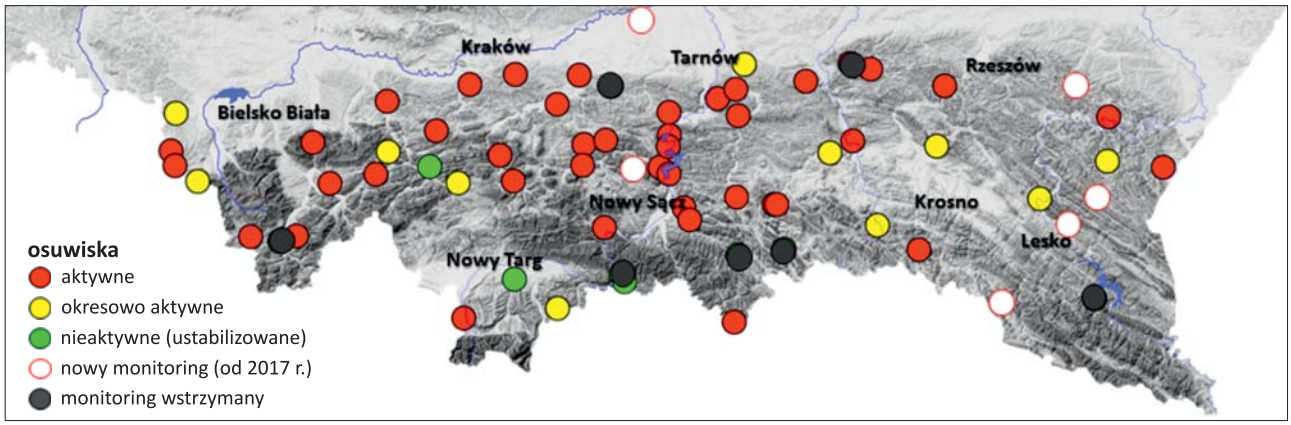
Dzięki znajomości współczesnych wymagań klimatycznych różnych gatunków i rodzajów roślin jesteśmy w stanie zrekonstruować paleoklimat oraz jego zmiany w różnych okresach geologicznych. Oprócz stosunkowo prostej metody wskaźników klimatycznych stosowanej od połowy XX w. (Faegri, Iversen, 1989), w której znaczącą rolę odgrywają szczątki makroskopowe roślin, od końca ubiegłego stulecia coraz większego znaczenia i wiarygodności nabierają



Ryc. 18. Mapa osuwisk w gminie Dubiecko na podkładzie NMT (zestawione przez J. Rubinkiewicza, 2015)



Ryc. 19. Zasięg przestrzenny wystąpienia osuwisk na obszarze Karpat po obfitych opadach atmosferycznych w latach 1997–2010



Ryc. 20. Sieć monitoringu osuwisk w Karpatach na numerycznym modelu terenu (Warmuz, Nescieruk, 2019, zmodyfikowana)

metody oparte na danych palinologicznych. Metoda *najlepszego współczesnego analoga* polega na porównaniu kopalnego spektrum pyłkowego z zestawem współczesnych spektrów pyłkowych pochodzących z miejsc o znanych parametrach klimatycznych (Guiot, 1990). Tymi parametrami są najczęściej: średnia roczna temperatura, średnia najcieplejszego i najzimniejszego miesiąca (w przypadku Europy to średnie lipca i stycznia) oraz wysokość średnich opadów rocznych. Inną, nowoczesną, również ilościową metodą rekonstrukcji paleoklimatycznych, opartą także na wynikach analizy palinologicznej, jest metoda funkcji transferowych (Birks, 2003). Wszystkie te metody zostały zastosowane po raz pierwszy do odtworzenia warunków i zmian klimatycznych mających miejsce w późnym glacjale i holocenie (ostatnie 13 000 lat C^{14} BP). Wraz z datowaniem radiowęglowym pozwoliły na wyróżnienie szeregu okresów globalnych zmian klimatu oraz ich czasową korelację. Wraz ze wzrostem liczebności populacji człowieka wzrastał jego wpływ na środowisko, w tym na roślinność, chociażby przez odlesienie coraz większych obszarów z przeznaczeniem ich pod uprawy. W zapisach paleoekologicznych (paleobotanicznych) młodszej części holocenu na zmiany roślinności wynikające z naturalnych zmian klimatu *nakładają się* zmiany wynikające z działalności człowieka, co czyni odczytanie tych pierwszych trudniejszymi.

Badania zmian roślinności zapisanych w osadach biogenicznych, których proces sedymentacji odbywał się w interglacjałach starszych od holocenu, pozwala na prześledzenie zmian klimatu z wyłączeniem czynników antropogenicznych. Wydaje się, że najważniejsze znaczenie mają tutaj dwa wcześniejsze interglacjały: eemski (Brewer i in., 2008) i mazowiecki (Koutsodendris i in., 2012; Tzedakis, 2010). Wyniki badań nad klimatem tych dwóch interglacjałów pokazały jak szerokie może być spektrum naturalnych zmian klimatycznych, a niektóre z nich znalazły nawet swoje analogi w zmianach klimatycznych holocenu, np. ochłodzenie holoceńskie mające miejsce ok. 8,2 tys. lat BP temu (Koutsondendris i in., 2012). Ważność i nie dająca się przecenić przydatność badań paleoklimatycznych ciepłych odcinków plejstocenu (interglacjałów) zawiera się przede wszystkim w uświadomieniu, że immanentną cechą klimatu jest jego zmienność (nawet bez wpływu człowieka), a dokładne poznanie paleoklimatu pozwoli współczesnej ludzkości na przygotowanie się na skutki tychże zmian (Marks, 2016).

KONIECZNOŚĆ BADAŃ STREFY BRZEGOWEJ

Strefa brzegowa południowego Bałtyku podlega ciągłym procesom naturalnym powodowanym przez rozliczne czynniki, wśród których główne miejsce należy przypisać zróżnicowaniu budowy geologicznej brzegu wraz z częścią podwodną oraz jej pochodnym – geomorfologii i topografii wybrzeża. Inne czynniki, których wpływ na przebudowę wybrzeża należy uznać jako znaczny to: zjawiska klimatyczne, warunki hydrologiczno-hydrodyna-

miczne, szata roślinna, antropopresja. Wszystkie są wzajemnie powiązane poprzez nakładające się efekty ich oddziaływania i żadnego z nich nie należy rozpatrywać bez uwzględniania pozostałych. Dlatego podczas realizacji zadań badawczych zmierzających do wizualizacji zmian wybrzeża wykonuje się szereg prac i robót zmierzających do możliwie czytelnego i dostosowanego do zadanych potrzeb przedstawienia przyrodniczych danych przestrzennych i czasowych. Dane te stanowią nieodzowny materiał służący minimalizowaniu i zapobieganiu zagrożeniom występującym na styku lądu i morza. Do najpowszechniejszych geozagrożeń należy zaliczyć występowanie różnego rodzaju ruchów masowych w obrębie stromych wybrzeży klifowych, przerwań wałów wydmowych i wlewów wody morskiej na tereny niżej położone (w tym w ujściowe odcinki rzek), podtopienia związane z wahaniem poziomów wód gruntowych, ingresje wód słonych do wód podziemnych, jak również deficyt materiału piaszczystego w podbrzeżu, który stanowi ważny element budujący brzeg morski.

Metody badań

W ramach realizacji zadań badawczych prowadzonych w obrębie strefy brzegowej morza konieczne jest określenie zakresu danych, które będą niezbędne dla realizacji celów. Stosowane jest tu odrębne podejście metodyczne dla obszarów lądowych i morskich. Zróżnicowanie obszarowe determinuje rodzaje prowadzonych prac i robót geologicznych oraz geofizycznych, jak również danych pozyskiwanych w czasie ich prowadzenia.

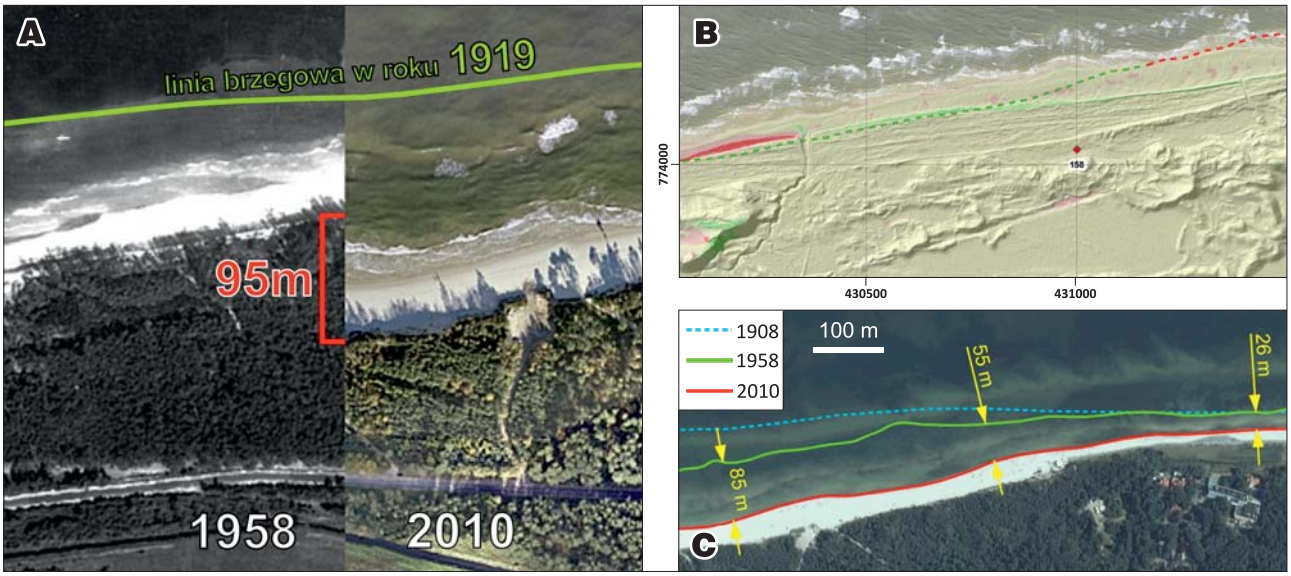
Wspólnym elementem badawczym jest analiza archiwaliów, a przede wszystkim analiza teledetekcyjna umożliwiająca identyfikację stałych punktów na wybrzeżu oraz śledzenie zmian linii brzegowej w różnych interwalach czasowych. Dla obszaru lądowego zastosowanie znajdują prace i roboty geologiczne znane i rozwijane w ramach szeroko pojętej kartografii geologicznej i identyfikacji geozagrożeń, w tym analizy stateczności klifów. Należy tu wyróżnić zwłaszcza rozwijaną metodykę opracowania teoretycznego i numerycznego modelu stanu mechanicznego ośrodka opartą o Metodę Elementów Skończonych (MES) (Dąbrowski i in., 2008).

W odniesieniu do części morskiej badania są prowadzone za pomocą specjalnie zaadaptowanej i wyposażonej do pracy w strefie przybrzeżnej (z zakresie głębokości od 2 m) łodzi badawczej. Umożliwia ona jednoczesne prowadzenie pomiarów batymetrycznych po założonych liniach profilowych, obrazowania sonarowego dna oraz rozpoznanie struktur geologicznych metodami sejsmoakustycznymi. Pomiary batymetryczne i geofizyczne są uzupełniane poprzez pobór próbek powierzchniowych dna i rdzeni osadów.

Dodatkowo gromadzone są informacje o sytuacji hydrogeologicznej, hydrologicznej, meteorologicznej i oceanograficznej obszaru badań oraz informacje o środowisku.

Implementacja danych – rekonstrukcja

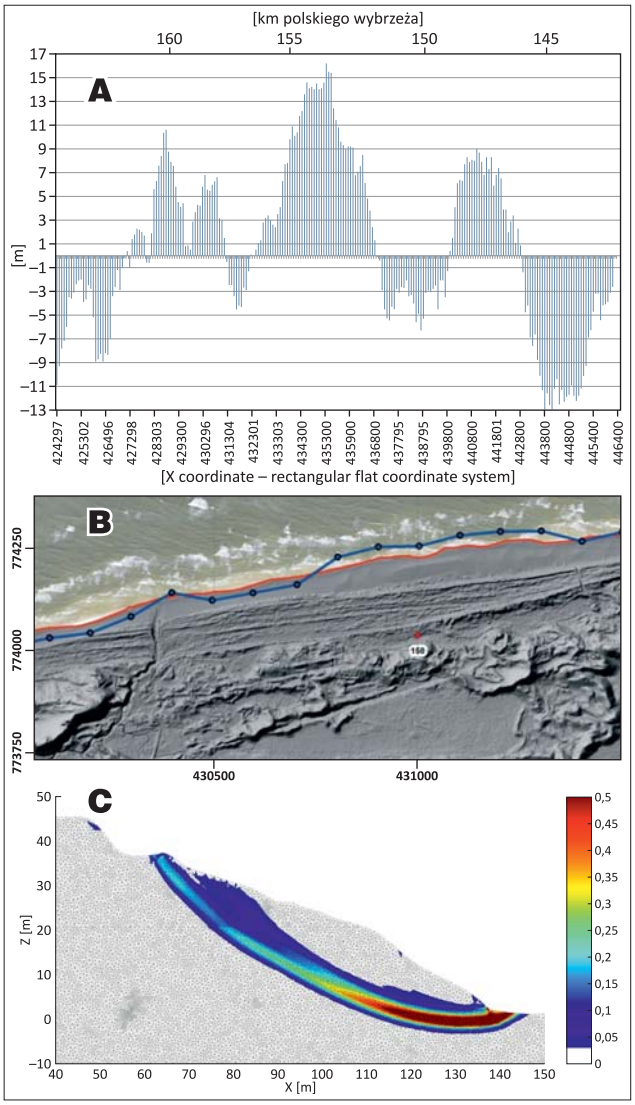
Zrozumienie współczesnych procesów zachodzących na wybrzeżu jest możliwe dzięki odtworzeniu sytuacji przeszłej. Dlatego też zgromadzone, wyselekcjonowane i przetworzone dane służą w pierwszej kolejności jako pośrednie źródło informacji o trendach dominujących w przeszłości. Zastosowanie znajdują tu poszerzone analizy różnicowe nie tylko zmian położenia linii brzegowej, ale również polegające na wykonaniu różnicowych modeli wysokościowych na podstawie numerycznych modeli terenu (ryc. 21). Niewątpliwą zaletą tej metody jest możliwość prześledzenia zmian w zróżnicowanym czasowo okresie. Umożliwia to obrazowanie zmiany wysokości w strefie brzegowej w cyklach np. 1–2 letnich dla kilku, kilkunastu ostatnich lat. W celu uzyskania szerszego (około stuletniego) horyzontu czasowego wykorzystuje się wygenerowany na podstawie geoprzetworzonych, archiwalnych, niemieckich map topograficznych przebieg linii brzegowej i porównuje się jej położenie względem obecnego brzegu. Uzyskane wielorozdzielcze modele różnicowe informują o trendzie zmian jakie zachodzą na poszczególnych odcinkach wybrzeża oraz umożliwiają pewną ogólną parametryzację tych zmian.



Ryc. 21. Przykłady rekonstrukcji zmian zachodzących na wybrzeżu. **A** – kompilacja i wykorzystanie zdjęć lotniczych; **B** – ilustracja zmian wysokości w obrębie pasa plaży i jej zaplecza wraz z pozycją historycznej linii brzegowej; **C** – ilustracja zmian położenia linii brzegowej w oparciu o digitalizacje map topograficznych i ortofotomapy (A, C– zestawione przez W. Jeglińskiego; B – zestawione przez T. Szarafina, G. Uścinowicza)

Implementacja danych – prognoza

Znając trendy i procesy zachodzące w przeszłości, można się pokusić o próbę ich ekstrapolowania. Prognozowanie procesów zachodzących w tak złożonych systemach, jakimi są wybrzeża morskie, jest obarczone olbrzymimi trudnościami i ryzykiem niepowodzenia. Niemniej jednak takie próby są podejmowane i przy odpowiednim doborze założeń oraz bogatym zasobie materiałów wykazują swoją przydatność. Z oczywistych względów odmienne morfologicznie typy wybrzeża wymagają różnego metodycznego podejścia (ryc. 22). I tak dla klifów zastosowanie znajdują m.in. opisywane powyżej metody związane z obliczaniem stateczności ośrodka. Natomiast krótkoterminowa prognoza zmian linii brzegowej wybrzeży mierzejowych może się opierać na metodyce dopuszczającej stosowanie możliwie najmniejszej liczby założeń (Uścinowicz, Szarafin, 2018). Prace prognostyczne pozwalają w ogólnym stopniu przedstawić sytuację przyszłą dla wybranych sektorów wybrzeża oraz poddać ją krytycznej analizie zmierzającej do minimalizacji ryzyk. Niewątpliwą zaletą metod i otrzymywanych wyników jest ich geoprzetwarzalność, która w połączeniu z gromadzeniem tych informacji w odpowiednich strukturach bazodanowych pozwala na względnie łatwy dostęp i możliwość dalszej obróbki.



Ryc. 22. Przykłady prac prognostycznych wykonywanych w strefie brzegowej. **A** – krótkoterminowa (dla 15 lat) prognoza zmian linii brzegowej przedstawiona w formie diagramu; **B** – krótkoterminowa (dla 15 lat) prognoza zmian linii brzegowej (niebieska linia) przedstawiona w formie mapy; linia czerwona – położenie linii brzegowej w 2016 r.; **C** – jeden z wariantów powstawania stref poślizgu w klifie – wynik modelowania numerycznego stateczności klifu (A, B – zestawione przez T. Szarafina, G. Uścinowicza, C – zestawione przez: M. Dąbrowskiego, Ł. Jasińskiego, J. Pacułę)

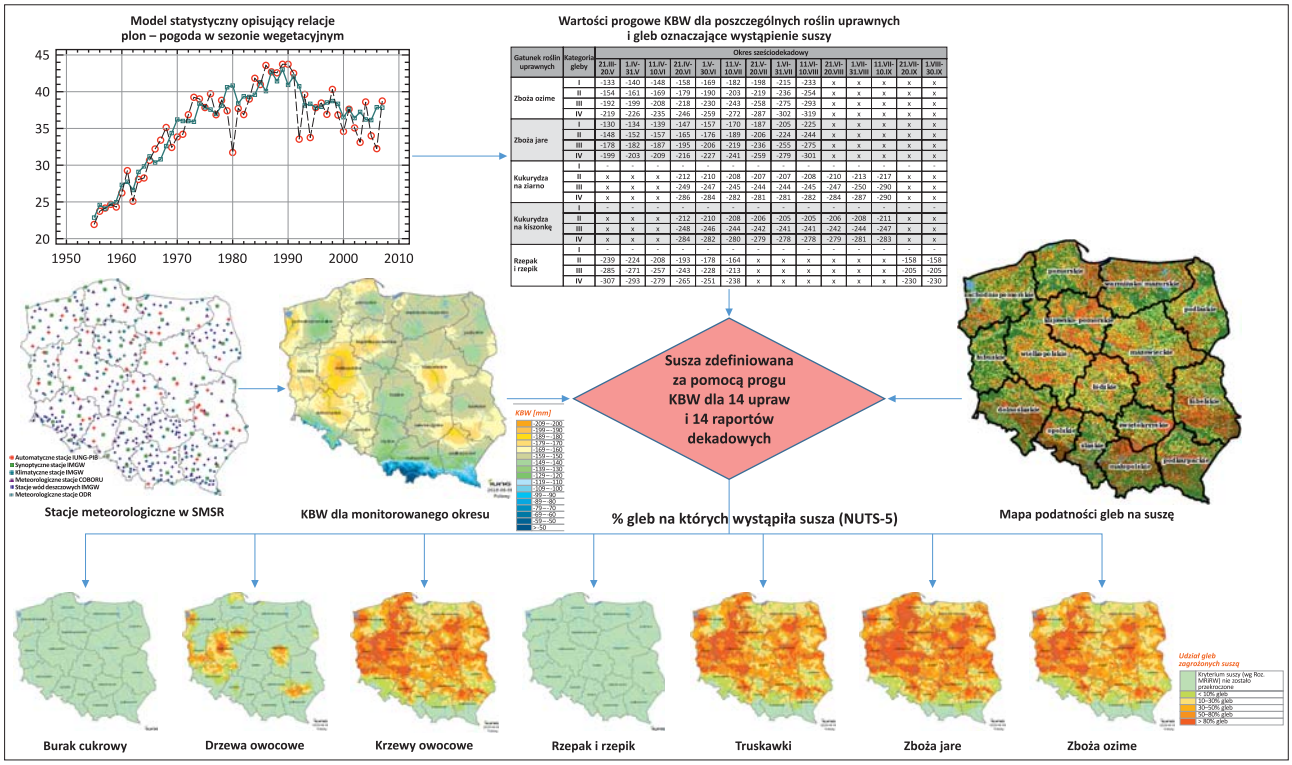
Schemat pracy badania–rekonstrukcja–prognoza i informacje, jakie są pozyskiwane, stanowią punkt wyjścia do wszelkich działań związanych z określeniem podatności na możliwe zmiany klimatu i oceny potencjalnych zagrożeń z tym związanych. A jako takie są podstawą do działań planistycznych i adaptacyjnych.

SYSTEM MONITORINGU SUSZY ROLNICZEJ (SMSR) W POLSCE JAKO ELEMENT WSPARCIA DLA ADAPTACJI ROLNICTWA WOBEC ZMIAN KLIMATU

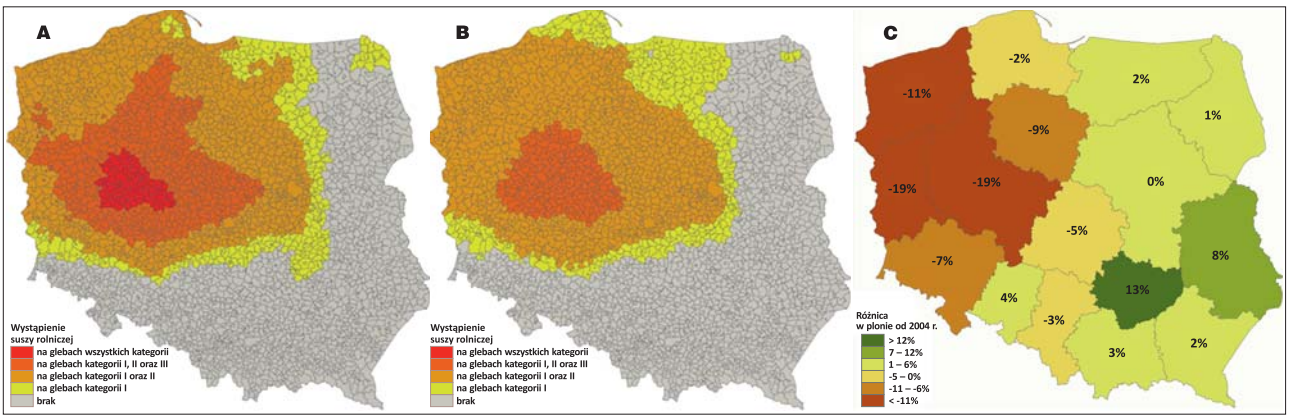
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach od 2008 r. na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi prowadzi System Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR). Został on opracowany w celu udostępnienia informacji o wystąpieniu suszy na poziomie gmin, z uwzględnieniem zróżnicowania warunków glebowych i roślin uprawnych. Na obszarach wskazanych przez system jako obszary zagrożone suszą są powoływane komisje szacowania szkód na polu. Upowszechnianie wyników analiz przeprowadzanych w ramach SMSR odbywa się za pośrednictwem strony internetowej http://www.susza.iung.pulawy.pl/ (Doroszewski i in., 2012).

System Monitoringu Suszy Rolniczej ma za zadanie wskazać obszary potencjalnie zagrożone wystąpieniem strat spowodowanych warunkami suszy dla upraw uwzględnionych w ustawie o dopłatach do ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich w Polsce. W SMSR kryterium wystąpienia suszy stanowią wartości progowe Klimatycznego Bilansu Wodnego (KBW), tj. różnicy między opadem atmosferycznym a ewapotranspiracją potencjalną. Wartości KBW dla okresów sześciorekordowych poprzedzających raport zostały zdefiniowane z uwzględnieniem warunków glebowych i 14 grup roślin uprawnych. Wyznaczono je z wykorzystaniem modeli statystycznych opisujących relacje pogoda–plon, na podstawie wieloletnich badań prowadzonych w IUNG-PIB (Górski i in., 2008) (ryc. 23). System składa się z aplikacji komputerowych integrujących dane meteorologiczne z różnych źródeł, które są niezbędne do opracowania map KBW oraz aplikacji GIS do szacowania powierzchni objętych suszą z uwzględnieniem warunków glebowych na poziomie gmin.

W pierwszym etapie, na podstawie analizy warunków meteorologicznych i wykonanych wartości KBW dla stacji meteorologicznych z obszaru całej Polski, przy użyciu metod interpolacyjnych, są wyznaczane wartości KBW dla gmin. Następnie na podstawie wydzielonych na mapie glebowo-rolniczej czterech kategorii glebowych o różnej podatności na suszę (Kozyra i in., 2009) określa się obszar zagrożenia suszą, są to: gleby bardzo lekkie (bardzo podatne na warunki suszy), gleby lekkie (podatne na warunki suszy), średnie (średnio podatne na warunki suszy) oraz ciężkie (mało podatne na warunki suszy). Kategorie te zostały określone przy użyciu map glebowo-rolniczych wg kategorii agronomicznych. Końcowe mapy analizy wska-



Ryc. 23. Ogólna koncepcja Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej prowadzonego przez IUNG-PIB w Puławach



Ryc. 24. Obszary zagrożone suszą w 2008 r. wg SMSR, wg kryterium redukcji 15% (**A**) i 20% (**B**) plonów z uwzględnieniem warunków glebowych oraz (**C**) różnica plonów statystycznych w 2004 r. (Mizak i in., 2011)

zują na odsetek gleb zagrożonych suszą w danej gminie (ryc. 24).

Podczas sezonu wegetacyjnego, począwszy od 20 maja, co dziesięć dni ukazuje się 14 kolejnych raportów, które są publikowane na stronach internetowych i zawierają: opis sytuacji, zestawia tabelaryczne oraz mapy zagrożenia suszą. Należy podkreślić że raporty SMSR są przygotowywane z wykorzystaniem danych meteorologicznych z różnych sieci obserwacyjnych, należących do: Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Centralnego Ośrodka Badania Odmian Roślin Uprawnych oraz automatycznych stacji meteorologicznych należących do Ośrodków Doradztwa Rolniczego. W 2018 r. w SMSR korzystano z pomiarów pochodzących z 665 stacji meteorologicznych. Taka współpraca jest szczególnie ważna w sytuacji coraz większego negatywnego oddziaływania obserwowanych zmian klimatycznych na rolnictwo w Polsce (Kozyra i in., 2012).

Oprócz wykorzystania SMSR jako systemu wsparcia dla komisji szacujących straty w rolnictwie z powodu suszy, zaproponowano wykorzystanie SMSR jako narzędzia w przygotowaniu planów zarządzania w sytuacjach kryzysowych (Pudełko, Kozyra, 2017). Plan Zarządzania Kryzysowego Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi (PZK MRiRW) został sporządzony na podstawie art. 12 ust. 2 ustawy z dn. 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Ustawa, 2007). Uwzględnia on:

– analizę i ocenę możliwości wystąpienia zagrożeń, w tym dla infrastruktury krytycznej;

– szczegółowe sposoby i środki reagowania na zagrożenia, ograniczania i likwidacji ich skutków;

– organizację monitoringu zagrożeń.

Susza rolnicza dotyczy bezpośrednio gospodarstw rolnych i jej wymierną wartością jest obniżenie wielkości produkcji roślinnej, pośrednio wpływając na potencjał produkcji zwierzęcej. Dlatego wpływa ona pośrednio na gospodarkę narodową poprzez: zagrożenie bezpieczeństwa żywnościowego kraju oraz koszty związane z likwidacją skutków suszy rolniczej w postaci odszkodowań, płatności pomocowych, interwencyjnych i kosztów ogłoszenia stanu klęski

żywiołowej (jeżeli stan ten zostanie ogłoszony). Zaproponowana metodyka określania prawdopodobieństwa wystąpienia suszy rolniczej (zmaterializowania się zagrożenia), dla 14 upraw uwzględnionych w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej i 4 kategorii glebowych, uwzględnia 5-stopniową skalę zagrożenia suszą, tj.:

– zagrożenie bardzo rzadkie – suszy rolniczej w przypadku dla danej uprawy nie odnotowano w okresie prowadzenia monitoringu, co nie oznacza, że nie może wystąpić w kolejnych latach, jednak to prawdopodobieństwo w obecnym stanie klimatycznym jest znikome;

– zagrożenie rzadkie – susza rolnicza dla danej uprawy pojawiła się raz w okresie monitorowania na glebach I kategorii oraz udział tej kategorii w gminie nie jest dominujący (<30% gruntów ornych);

– zagrożenie możliwe – susza rolnicza dla danej uprawy w okresie monitorowania pojawiła się jedynie na glebach I kategorii: nie częściej niż 4 razy lub >0,044;

– zagrożenie prawdopodobne – susza rolnicza dla danej uprawy w okresie monitorowania pojawiła się jedynie na glebach I kategorii częściej niż 4 razy lub przynajmniej raz na glebach II kategorii;

– zagrożenie bardzo prawdopodobne – susza rolnicza dla danej uprawy pojawiła się przynajmniej raz na glebach III kategorii glebowych.

OCENA EKONOMICZNA SKUTKÓW ZMIAN KLIMATU I MOŻLIWOŚCI ADAPTACJI

Wzrost gospodarczy może wpływać na zwiększenie wartości strat, gdy więcej zasobów majątkowych i o wyższej wartości ekonomicznej będzie zlokalizowanych na obszarach narażonych na występowanie ekstremalnych zjawisk będących skutkami zmian klimatu. Równocześnie jednak może się zwiększać odporność danego obszaru na zagrożenia klimatyczne w wyniku podejmowanych działań adaptacyjnych do zmian klimatu, dzięki poprawie możliwości finansowania działań w tym zakresie. Przemiany społeczno-ekonomiczne wpływają na wzrost populacji oraz na zwiększenie ilości i wartości zasobów majątkowych wystawionych na niebezpieczeństwo wystąpienia negatywnych skutków zmian klimatu. Niebezpieczeństwo to jest przedmiotem oceny ryzyka związanego ze zmianami klimatu. W ocenie ryzyka uwzględnia się zagadnienia obejmujące ocenę zagrożenia ze strony zmieniającego się klimatu, podatności (poziomu wrażliwości na zagrożenie klimatyczne oraz wysokości potencjału adaptacyjnyjnego danego obszaru, który może być wykorzystany do radzenia sobie ze skutkami zmian klimatu) oraz poziomu ekspozycji na dane zagrożenie. Ocena ryzyka i ocena ekonomiczna następstw zmian klimatu i adaptacji powinny uwzględniać wiele wymiarów, m.in. funkcjonowanie analizowanego sektora gospodarki (np. gospodarki wodnej, transportu, rolnictwa czy energetyki) i położenie geograficzne, powiązania międzysektorowe, dynamikę występowania skutków zmian klimatu, niepewności związane z przyszłym rozwojem społeczno-ekonomicznym czy wybór między opcjami adaptacji i potrzeby różnych interesariuszy.

Analiza ryzyka

Według Komisji Europejskiej (European Commision, 2010) podstawą oceny i szacowania ekonomicznych skutków zmian klimatu jest analiza ryzyka, bazująca najczęściej na wielokryterialnej ocenie czynników, które mają wpływ na poziom zagrożenia (*hazard*), podatności (*vulnerability*) i ekspozycji (*exsposure*).

Działania łagodzące skutki zmian klimatu (tzw. mitygacyjne), m.in. redukcja emisji gazów cieplarnianych, pośrednio wpływają na poziom zagrożenia. Jednak określenie zależności pomiędzy kosztami takich działań podejmowanych na danym obszarze i wynikającymi z nich korzyściami dla realizujących te działania jest niezmiernie trudne. Dlatego analizując ryzyko wynikające ze zjawisk klimatycznych, można stwierdzić, że bez znaczącego bezpośredniego wpływu na poziom zagrożenia klimatycznego możemy za pomocą odpowiednich działań adaptacyjnych zmniejszać poziom podatności i ograniczać ekspozycję na zagrożenie. Możemy więc podejmować określone działania adaptacyjne minimalizujące skutki oraz koszty wynikające z nasilających się zagrożeń. Te elementy mogą być przedmiotem oceny ekonomicznej.

Działania adaptacyjne są dobierane dla określonych warunków, które są zróżnicowane przestrzennie i decydują o wrażliwości danego sektora gospodarczego lub obszaru na skutki zmian klimatu. W analizie ryzyka istotne jest poprawne rozpoznanie tego zróżnicowania. Przykładowo w analizie ryzyka związanego z intensywnymi opadami dla gospodarowania wodami opadowymi w mieście ważne są: powierzchnia zlewni, ukształtowanie powierzchni terenu, proporcje między terenami uszczelnionymi a nieuszczelnionymi, występowania terenów o wysokiej retencyjności, wyposażenia w infrastrukturę, stanu infrastruktury, ale także występowania szczególnie wrażliwych elementów (oczyszczalnia ścieków). Elementy te decydują o podatności gospodarowania wodami i opadami w danej zlewni, a także o poziomie szacowania skutków w przypadku wystąpienia zagrożeń związanych z opadami. Z drugiej zaś strony elementy te mogą w pewnym zakresie podlegać zmianie poprzez działania adaptacyjne (np. rozszczelnienie powierzchni, wprowadzanie rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury będącej komponentem struktury przestrzennej miasta – miejskich terenów zieleni oraz cieków i zbiorników wodnych) i mogą być wycenione.

Analiza kosztów i korzyści wynikających ze skutków zmian klimatu

Ocena ekonomiczna uwzględnia zmiany klimatu określone poprzez tzw. indeksy klimatyczne (roczną wysokość opadu, dobową temperaturę maksymalną itd.), charakteryzujące dane zagrożenia (powódź, suszę, niedobór wody, fale upałów, przymrozki itd.) dla analizowanych sektorów – rolnictwa, leśnictwa, energetyki, turystyki itp., w obszarach jednostek przestrzennych analizy ryzyka, np. gminy. Uwzględnia także poziom ekspozycji i podatność majątku na zagrożenia klimatyczne Dla wskaźników ekspozycji i podatności zostaną przypisane koszty jednostkowe, które następnie będą przedstawione na mapach, analogicznie do wskaźników ryzyka.

Ocena skutków zmian klimatu bazuje na analizie wskaźnikowej, uwzględniającej koszty i korzyści. Ocena ekonomiczna działań adaptacyjnych powinna umożliwić wyszczególnienie działań, dla których korzyści z adaptacji są większe niż koszty, czyli takich, których zastosowanie będzie najbardziej efektywne.

Tylko niewielka część pozytywnych i negatywnych następstw zmian klimatu oraz efektów implementacji

działań adaptacyjnych może zostać skwantyfikowana, a jeszcze mniejsza wyrażona w wartościach monetarnych. Dlatego, w celu dostarczenia decydentom możliwie pełnej informacji, ważne jest określenie możliwych nieplanowanych korzyści działań adaptacyjnych i dodatkowych kosztów, nawet w wymiarze opisowym.

Metodami stosowanymi w analizie ekonomicznej są metody transferu korzyści, metody wyceny kosztów, statystyczne metody wskaźnikowe, bazujące na modelach zintegrowanych i analizach eksperckich.

Wybór sposobu i narzędzi oceny ekonomicznej zależy od celu przeprowadzenia analizy. Często stosowanymi narzędziami do wyboru alternatywnych działań adaptacyjnych są m.in. analiza kosztów i korzyści oraz analiza wielokryterialna. Natomiast do analiz i ocen strategicznych mogą posłużyć modele zintegrowane i statystyczne bazujące na logice analizy DPSIR (*Drivers-Pressures-State-Impacts-Response*), modele fizyczne czy analizy instytucjonalne. W zależności od potrzeb interesariuszy, w wielu projektach (np. Klimada 2.0 realizowanym obecnie przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy; http://klimada2.ios.gov.pl) wybrane metody są egzemplifikowane w różny sposób i różnymi metodami. W szczególności dotyczy to analiz wielokryterialnych opartych na przestrzennych analizach ryzyka czy analizach kosztów i korzyści. Z tego powodu analizy wykonywane w projekcie Klimada 2.0 stanowią uzupełnienie dotychczas opracowanych analizy i narzędzi, m.in. w projektach: *Opracowanie planów adaptacji do zmian klimatu w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców* (http://44mpa.pl), *Metodyka opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym* (Metodyka, 2019) lub Hydroportal ISOK.

Wybór opcji adaptacji na bazie analizy kosztów i korzyści

Wyniki badań naukowych wskazują, że zjawiska spowodowane zmianą klimatu stanowią zagrożenie dla społeczeństwa i rozwoju gospodarczego krajów. Adaptacja do nowych warunków klimatycznych i związanych z nimi zjawisk stanowi obecnie jedno z najważniejszych wyzwań nie tylko dla polskiej gospodarki i społeczeństwa.

Podobnie jak rekomendowana jest wycena ekosystemów w sposób całościowy (TEEB, 2010) z uwzględnieniem ich licznych funkcji i usług, tak efekty kilku działań adaptacyjnych mogą zostać ocenione kompleksowo w ocenie opcji adaptacji. Planowanym efektem działań adaptacyjnych jest ograniczenie ryzyka, przede wszystkim poprzez redukcję wrażliwości i zwiększenie potencjału adaptacyjnego, czyli zdolności reagowania na zagrożenie, a także ograniczanie ekspozycji. Działania adaptacyjne, których koszty (w tym koszty realizacji i bieżące koszty utrzymania) można oszacować na podstawie cen rynkowych, będą implikować zmiany wysokości wskaźników ekspozycji (np. ilość zagrożonych osuwiskami dróg [km]) i podatności (np. wysokość wydatków na zabezpieczenia przed wystąpieniem osuwisk [zł]). Redukcja poziomu ekspozycji i podatności będzie oznaczała możliwe do wyceny konkretne korzyści. Zyskiem z zastosowania działań adaptacyjnych będzie przede wszystkim uniknięcie strat, które wystąpiłyby, jeśli takie działania nie zostałyby podjęte. Ponadto mogą to być wszystkie dodatkowe korzyści, takie jak poziom dobrobytu społecznego, w tym korzyści wynikające z poprawy stanu środowiska naturalnego i wystąpienia większej liczby usług ekosystemowych. Porównanie korzyści z kosztami z punktu widzenia inwestora (wskaźnik finansowej bieżącej wartości netto – FNPV), czy z uwzględnieniem efektów zewnętrznych (wskaźnik ekonomicznej bieżącej wartości netto – ENPV), czyli społecznych i środowiskowych kosztów i korzyści, umożliwi określenie efektywności analizowanych opcji adaptacji.

Wybrane produkty projektu Klimada 2.0 opracowane na podstawie analizy ekonomicznej

Analizy powstające w ramach projektu Klimada 2.0 są wykonywane w ścisłej współpracy Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego z interesariuszami, tak aby odpowiadać na istniejące potrzeby instytucji i organizacji zajmujących się adaptacją do zmian klimatu. Przykładowo na potrzeby analiz strategicznych na poziomie gmin powstają:

– analiza wskaźnikowa dotycząca strat zdarzeń katastroficznych;

– analiza ryzyka z uwzględnieniem różnych rodzajów zagrożeń, ekspozycji mienia i osób na te zagrożenia oraz poziomu podatności danego obszaru;

– analiza kosztów jednostkowych strat wynikających ze zjawisk klimatycznych;

– wskaźniki dynamicznego kosztu jednostkowego (DGC) i wskaźniki finansowej i ekonomicznej wartości bieżącej (zaktualizowanej) netto (FNPV, ENPV) wybranych działań adaptacyjnych.

Zakłada się, że zaproponowane wskaźniki powinny umożliwić śledzenie skuteczności i efektywności podejmowanych w przyszłości działań adaptacyjnych. Z tego powodu istotnym jest, aby w prowadzonych analizach były wykorzystywane wyniki badań naukowych, analiz i ekspertyz wykonanych w Polsce i na świecie (literatura przedmiotu, liczba projektów, inicjatyw i baz danych jest bardzo obszerna). Wartością dodaną projektu Klimada 2.0 jest analiza i synteza dostępnych informacji, użytecznych przy realizacji analiz ekonomicznych.

Określenie skali skutków ekonomicznych prognozowanych w ujęciu scenariuszowym zmian klimatycznych oraz ocena możliwości ograniczenia tych strat, dzięki zastosowaniu rozwiązań adaptacyjnych, pozwoli oszacować efektywność wydatkowania środków publicznych na działania adaptacyjne oraz potrzeby zabezpieczenia takich funduszy w przyszłości przez instytucje publiczne odpowiedzialne za te działania (np. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, ministerstwa odpowiedzialne za poszczególne sektory gospodarcze).

Współpraca z sektorem ubezpieczeń oraz z gminami ma na celu wypracowanie jednolitej i efektywnej formy sprawozdawczości w zakresie ewidencjonowania strat, co wpłynie na poprawę jakości dostępnych danych i w konsekwencji może zwiększyć trafność podejmowanych decyzji dotyczących zarządzania kryzysowego, w tym strategii oraz działań zapobiegawczych i adaptacyjnych.

PODSUMOWANIE

Zmiany klimatu są naturalnym procesem, który przebiegał w przeszłości i najprawdopodobniej z różnym

natężeniem będzie następował w przyszłości. Część zapisanych w historii Ziemi zmian klimatu charakteryzował bardzo gwałtowny przebieg i duży zasięg (zachodziły na ogromną skalę). Pomimo licznych badań i prób wyjaśnienia złożonych zjawisk zachodzących w przeszłości nasza wiedza na ten temat jest wciąż niepełna i daleka od kompletnego wyjaśnienia, szczególnie przy nakładającej się na ten proces działalności człowieka. Dlatego tak ważna jest próba określenia zakresu spodziewanych zmian, ich przyczyn oraz potencjalnych skutków zmian klimatycznych i oszacowanie możliwych do nich adaptacji. Podstawą przy oszacowaniu zagrożeń związanych ze zmianami klimatu jest wytypowanie zagrożonych zniszczeniami obszarów i określenie skali ryzyka z tym związanego. Zagrożenia mogą być różnego rodzaju (od powodzi, podtopień czy suszy do zagrożenia osuwiskami i zniszczeń w rejonie strefy brzegowej i wielu innych), dlatego istotne jest, aby móc je analizować na wspólnej płaszczyźnie, obrazującej różnorodne zagrożenia oraz ich skalę. Tak zebrane informacje mogą być bazą do wskazania odpowiednich praktyk adaptacyjnych.

Przedstawione w niniejszym artykule zagadnienia obejmują głównie tematykę zapobiegania i redukcji ryzyka strat spowodowanych przez zmiany klimatu, poprzez sprawny system monitoringu/analizy danych/prognoz. Tylko taki system umożliwia tworzenie spójnego systemu adaptacji do zmian klimatu, a bez podstawowych informacji pomiarowo-obserwacyjnych nie da się tworzyć planów adaptacyjnych. Współpraca polskich jednostek naukowo-badawczych ma umożliwić wytypowanie obszarów najbardziej zagrożonych przez zmiany klimatu. Obejmują one monitoring: powierzchniowych i podziemnych oraz warunków atmosferycznych, osuwisk, stanu wybrzeża, a także suszy rolniczej. Na podstawie danych z wieloletnich monitoringów są prowadzone analizy i tworzone prognozy oraz scenariusze zagrożenień związanych z prognozowanymi zmianami klimatu, również w powiązaniu z danymi paleoklimatycznymi oraz ekonomiczną oceną skutków zmian klimatycznych na gospodarkę.

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Przygotowanie artykułu oraz organizacja wydarzenia zostało dofinasowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Wkład do artykułu w części dotyczącej systemu monitoringu suszy rolniczej przygotowano w ramach realizacji Programu Wieloletniego IUNG-PIB Zadanie 1.7: *Opracowanie i doskonalenie metod oceny oraz prognozowania (modelowania) skutków środowiskowych i produkcyjno-ekonomicznych WPR i zmian klimatu*. Autorzy dziękują recenzentowi dr. Adamowi Wójcickiemu za cenne uwagi, które wzbogaciły treść artykułu.

LITERATURA

BIRKS H.J.B. 2003 – Quantitative Palaeoenvironmental Reconstructions from Holocene Biological Data. [W:] Mackay A., Batterbee R., Birks J., Oldfield F. (red), Global change in the Holocene. Arnold, London: 107–123.

BREWER S., GUIOT J., SÁNCHEZ-GOÑI, KLOTZ S. 2008 – The climate in Europe during the Eemian: a multi-method approach using pollen data. Q. Sc. Rev., 27: 2303–2315.

DĄBROWSKI M., KROTKIEWSKI M., SCHMID D.W. 2008 – MILAMIN: MATLAB-based Finite Element Method Solver for Large Problems. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 9 (4).

DOROSZEWSKI A., JADCZYSZYN J., KOZYRA J., PUDEŁKO R., STUCZYŃSKI T., MIZAK K., ŁOPATKA A., KOZA P., GÓRSKI T., WRÓBLEWSKA E. 2012 – Podstawy Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej. Woda Środ. Obsz. Wiej., 12, 2 (38): 77–91.

EUROPEAN COMMISSION. 2010 – Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management. Brussels, SEC(2010) 1626 final.

FAEGRI K., IVERSEN J. 1989 – Textbook of Pollen Analsysis. 4th Edition, John Wiley & Sons, Chichester.

GÓRSKI T., KOZYRA J., DOROSZEWSKI A. 2008 – Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions – case studies. [W:] Liszewski S. (red.), The Influence of extreme phenomena on the natural environment and human living conditions. ŁTN Łódź: 35–49.

GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 2008 – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

GUIOT J. 1990 – Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 80: 49–69.

http://agrometeo.pogodynka.pl/

http://klimada2.ios.gov.pl

http://mapa.osuwiska.pgi.gov.pl

http://www.susza.iung.pulawy.pl/

http://44mpa.pl

IPCC 2013 – Summary for Policymakers [W:] Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V.I. Midgley P.M. (red.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridgw University Press, Cembridge United Kingdom and New York, NY USA.

KĘPIŃSKA-KASPRZAK M. 2015 – Susze hydrologiczne w Polsce i ich wpływ na gospodarowanie wodą. Wyd. Nauk. Bogucki.

KĘPIŃSKA-KASPRZAK M., STRUZIK P., MAGER P., LIMANÓWKA D., KILAR P., PYRC R. 2017 – Związek pomiędzy klimatycznym bilansem wodnym a oceną stanu wegetacji roślin określoną na podstawie danych satelitarnych NOAA. Monografie IMGW-PIB.

KĘPINSKA-KASPRZAK M., STRUZIK P. 2019 – Agrometeorological service provided by Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute. Biological Rhythm Research, 50 (2): 327–334.

KOMISJA EUROPEJSKA 2014 – Przewodnik po analizie kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Narzędzie analizy ekonomicznej polityki spójności 2014–2020.

KOMUNIKAT o bieżącej sytuacji hydrogeologicznej w okresie 01.01.2019– 31.01.2019 – 2A/2019. PSH.

KOUTSODENDRIS A., PROSS J., MÜLLER U.C., BRAUER A., FLETCHER W.J., KÜHL N., KIRILOVA E., VERHAGEN F.T.M., LÜCKE A., LOTTER A. 2012 – A short-term climate oscillation during the Holsteinian interglacial (MIS 11c): An analogy to the 8.2 ka climatic event? Global and Planetary Change, 92–93: 224–235.

KOWALCZYK A., SZYDŁO M., JANUSZEWSKI P. 2018a – Punkty analogii i wykorzystanie potencjału zebranych danych o położeniu zwierciadła wód podziemnych w badaniach zmian klimatu. http://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/user_upload/Z3_Punkty_analogii_i_wykorzystanie_potencjalu_zebranych_danych_o_polozeniu_zwierciadla_wod_podziemnych_w_badaniach_zmian_klimatu.pdf

KOWALCZYK A., SZYDŁO M., WESOŁOWSKI P., STĘPIŃSKA-DRYGAŁA I., BEJGER M., GOŁĘBIEWSKI M. 2017 – INFORMATOR PSH, 2017. Niżówki hydrogeologiczne w Polsce w okresie 1981–2015. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

KOWALCZYK A., WESOŁOWSKI P., STĘPIŃSKA-DRYGAŁA I., MIKOŁAJCZYK A., SZYDŁO M., GOŁĘBIEWSKI M. 2018b – INFORMATOR PSH, 2018 – Ekstremalnie wysokie stanów wód podziemnych w Polsce w okresie 1981–2015. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

KOZYRA J., DOROSZEWSKI A., STUCZYŃSKI T., JADCZYSZYN J., ŁOPATKA A., PUDEŁKO R., KOZA P., NIERÓBCA A., MIZAK K., BORZĘCKA-WALKER M. 2009 – Agricultural Drought Monitoring Systems (ADMS) – including crop specific requirements and soil map for the detection of areas af-fected by drought in Poland. [W:] Eitzinger J., Kubu G. (red.), Impact of climate change and adaptation in agriculture. Extend-ed Abstracts of the International Symposium. Vi-enna, June 22–23, 2009. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU). BOKU-Met Report 17. http://www.boku.ac.at/met/ report.pdf, 37–39 (dostęp 12.04.2012).

KOZYRA J., NIERÓBCA A., MIZAK K., PUDEŁKO R., ŚWITAJ Ł., KOZAK M. 2012 – Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych. Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo, tom 3: Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju. IMGW-PIB, Warszawa.

LATAŁOWA M.1992 – Man and vegetation in the pollen diagrams from Wolin Island (NW Poland). Acta Palaeobot., 32 (1): 123–249.

LIMANÓWKA D. 2001 – Rekonstrukcja warunków klimatycznych Krakowa w pierwszej połowie XVI wieku. Materiały Badawcze 33, seria: Meteorologia, IMGW, Warszawa.
MARKS L. 2016 – Zmiany klimatu w holocenie. Prz. Geol., 64 (1): 59–65.
METODYKA opracowania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego w II cyklu planistycznym. KZGW, Warszawa, 2019.
MIZAK K., PUDEŁKO R., KOZYRA J., NIERÓBCA A., DOROSZEWSKI A., ŚWITAJ Ł., ŁOPATKA A. 2011 – Wyniki monitoringu suszy rolniczej w uprawach pszenicy ozimej w Polsce w latach 2008–2010. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 11, 2 (34): 95–107.
POROZUMIENIE paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r. Dz.U. 2017 poz. 36.
PROJEKT KLIMAT 2012 – Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego) nr POIG01-03-01-14-011/08. IMGW-PIB, Warszawa (mat. niepubl.).
PUDEŁKO R. KOZYRA J. 2017 2019 – Scenariusze i kryteria akceptowalności oraz sugerowane kryteria akceptowalności dla scenariusza susze rolnicze. Metodyka oceny ryzyka na potrzeby zarządzania kryzysowego RP.
NOWICKI Z. (red.) 2007 – Informator PSH. Wody podziemne miast wojewódzkich Polski. Państw. Inst. Geol., Warszaw.
PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.) 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
STRUZIK P., KĘPIŃSKA-KASPRZAK M. 2016 – Use of conventional and satellite data for estimation of evapotranspiration spatial and temporal pattern. Meteorol. Hydrol. Water Manag., 4 (2): 3–13.
SENDAI Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. 14–18 March 2015, Retrieved 13.01.2016.
TEEB, 2010 – The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations, Edited by Pushpam Kumar, Earthscan, London and Washington.
TZEDAKIS P.C. 2010 – The MIS 11 – MIS 1 analogy, southern European vegetation, atmospheric methane and the "early anthropogenic hypothesis". Clim. Past., 6: 131–144.
UŚCINOWICZ G., SZARAFIN T. 2018 – Short-term prognosis of development of barrier-type coasts (Southern Baltic Sea). Ocean & Coastal Management, 165: 258–267.
USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne. Dz.U. 2017 poz. 1566.
USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981.
USTAWA z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym. Dz.U. 2007 nr 89 poz. 590.
WALTER H. 1976 – Strefy roślinności a klimat. Państw. Wydaw. Rolnicze i Leśne, Warszawa.
WARMUZ B., NESCIERUK P. 2019 – Konferencja O!suwisko, 14–14.05.2018, Szczawnica. Mat. konf.
WMO 2010 – Guidelines on early warning systems and application of nowcasting and warning operatios. WMO/TD No 1559.
www.imgw.pl
www.pgi.gov.pl/psh/psh-2
www.pogodynka.pl
ZADANIA PSH W LATACH 2015–2017. Państw. Inst. Geol., Warszawa. (mat. niepubl., arch. PSH).

Praca wpłynęła do redakcji 16.04.2019 r.
Akceptowano do druku 2.10.2019 r.