

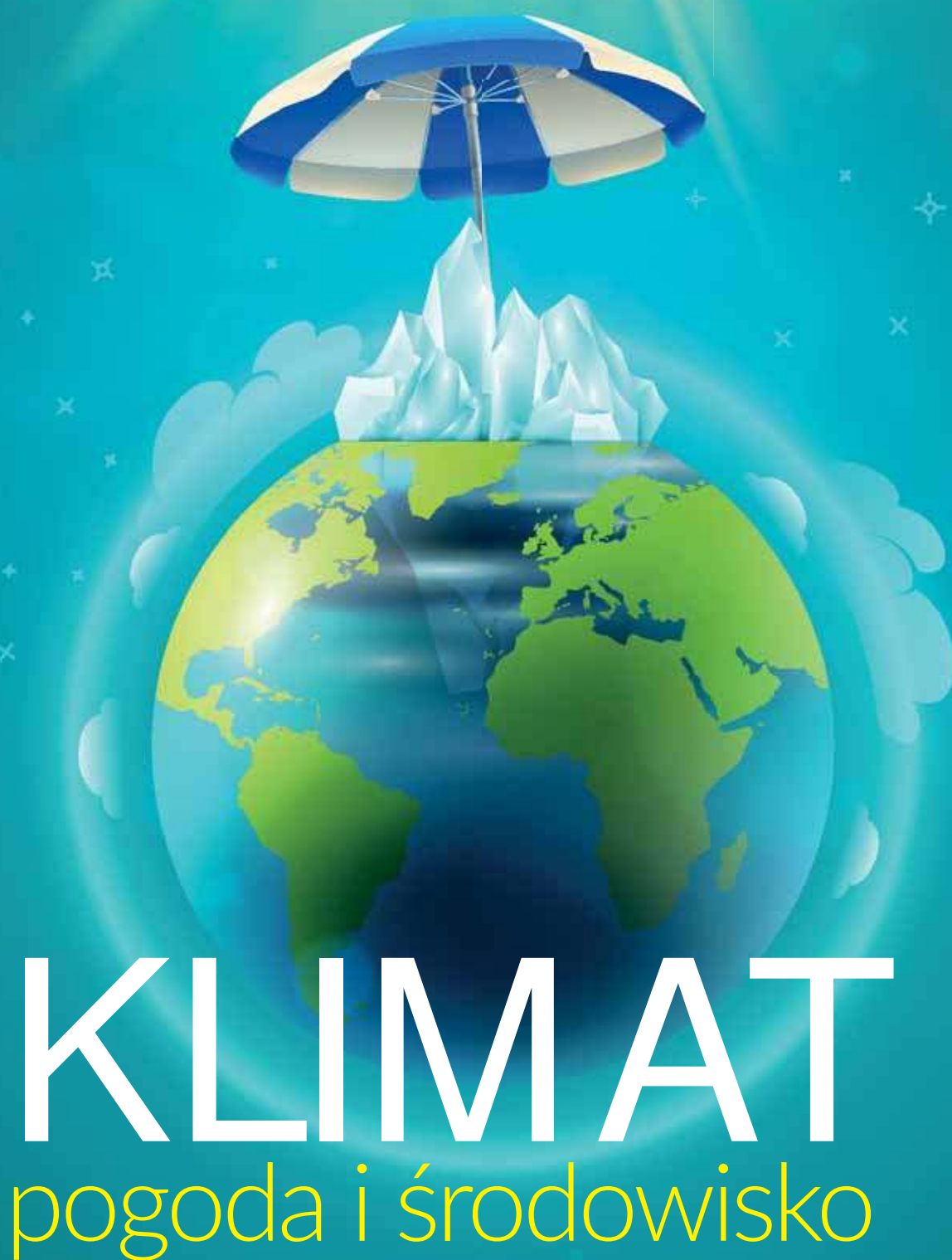
e-wydanie
specjalne

Czasopismo dla nauczycieli

Geografia

w Szkole

nr 1/2019
ISSN 0137-7566
cena 15,00 zł
(w tym 23% VAT)



KLIMAT

pogoda i środowisko

Wybór artykułów drukowanych w „Geografii w Szkole” w latach 2013–2017

eprasa.pl c6cf6bae88

Lekcje w terenie



- ✓ Hydrologia w praktyce.
- ✓ Edukacja wokół drzew.
- ✓ Miasta i ich przeobrażenia.
- ✓ Wisłą od źródeł do ujścia.
- ✓ Prognozowanie pogody.
- ✓ Historia Ziemi w kamieniach.

Wydanie specjalne
w wersji elektronicznej
(plik PDF)

Tylko 15 zł!

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie: www.aspress.com.pl/scenariusze/

eprasa.pl c6c6bae88

- 4 Katastrofy naturalne – żeby przetrwać trzeba zrozumieć**
● Jolanta Burda
- 10 Dokąd zmierza klimat?**
● Michał Krupiński
- 14 Fale upałów**
● Małgorzata Pajewska
- 16 Z globalnego ocieplenia w ochłodzenie?** ● Krzysztof Trojan
- 21 Dlaczego zmienia się poziom morza?** ● Paweł Wolniewicz
- 24 Krótki żywot jezior**
● Paweł Wolniewicz
- 26 Tonące miasta**
● Aleksandra Zaparucha
- 30 Śródziemne morze północy**
● Krzysztof Trojan
- 36 Czy Polsce grozi stepowanie?**
● Krzysztof Trojan
- 40 Polska na szlaku tornad**
● Krzysztof Trojan
- 45 Zasoby i znaczenie lasu w gospodarce narodowej**
● Krzysztof Trojan
- 50 Walka o wodę czy walka z wodą?**
● Adam Bartnik
- 56 Polskie powietrze – najgorsze w Europie?** ● Krzysztof Trojan
- 60 Nowe znaczenie Arktyki**
● Krzysztof Trojan
- 64 Przyszłość – nadzieja czy katastrofa?** ● Waldemar Rejda



Klimat – nie tylko plus 1,5°C

Klimatowi, pogodzie, ochronie środowiska poświęcaliśmy w ostatnich latach wiele artykułów na łamach „Geografii w Szkole”. Dziś prezentujemy je w formie wydania specjalnego.

Jak ważne i aktualne są to zagadnienia niech świadczą dwa raporty – „**Global Warming of 1,5°C**” – **Specjalny Raport IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) – Międzyrządowy Zespołu ds. Zmian Klimatu powołany w 1988 r., aby zapewnić decydom regularne oceny naukowe na temat obecnego stanu wiedzy o zmianach klimatu) dotyczący globalnego ocieplenia i skutków, które ze sobą niesie, jeśli średnia temperatura na Ziemi wzrośnie o 1,5°C z października 2018 r. oraz „**Raport ONZ o zagrożeniach różnorodności biologicznej**” z kwietnia 2019 r.

W pierwszym raporcie naukowcy twierdzą m.in.:

- I Szacuje się, że działalność ludzka spowodowała wzrost globalnego ocieplenia o około 1,0°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej, czyli od 1850 roku. Jeśli globalne ocieplenie będzie nadal postępowało w obecnym tempie, prawdopodobnie wzrośnie o 1,5°C między 2030 a 2052 r.
- I Skutkiem dalszego długotrwałego ocieplenia będą zmiany klimatu oraz podnoszenie się poziomu morza. Przewiduje się, że przy ociepleniu o 1,5°C, 6% owadów, 8% roślin i 4% kręgowców utraci ponad połowę swojego zasięgu geograficznego.
- I Najbardziej ucierpią ekosystemy arktyczne, regiony suche, małe rozwijające się państwa wyspiarskie oraz kraje najsłabiej rozwinięte. W niektórych populacjach spodziewany jest wzrost ubóstwa i pogarszanie się warunków życia;
- I Obecne krajowe plany ograniczenia emisji nie gwarantują ocieplenia o 1,5°C, do realizacji tego celu potrzebne jest znacznie większe ograniczenie światowych emisji CO₂ przed rokiem 2030.
- I Warunkiem nieprzekroczenia progu 1,5°C jest spadek emisji o około 45% do 2030 roku w porównaniu z poziomem z 2010 i osiągnięcie zero emisji netto około 2050 roku. Wymaga to szybkich i daleko idących zmian m.in.

w energetyce, infrastrukturze miejskiej, transporcie oraz w przemyśle. Zmiany te wiążą się z ograniczeniem emisji we wszystkich sektorach.

- I Cele te można osiągnąć we wszystkich krajach i dla wszystkich ludzi, z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju. Kluczową rolę w tym procesie odegra współpraca międzynarodowa oraz pomoc rozwijającym się i regionom podatnym na te zagrożenia.

Z „Raportu ONZ o zagrożeniach różnorodności biologicznej” wynika, że prawie milion gatunków zagrożonych jest wyginieciem w ciągu dziesięcioleci, jeśli zawiodą obecne wysiłki na rzecz ochrony zasobów Ziemi. Raport zawiera prace 400 ekspertów z ponad 50 krajów, koordynowanych przez międzyrządową platformę naukowo-polityczną z Bonn w sprawie różnorodności biologicznej i usług ekosystemowych (IPBES – Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Autorzy raportu sygnalizują, że zagrożony wyginieciem jest jeden na cztery gatunki, co oznacza, że około milion gatunków zmaga się już z wymarciem, a wiele będzie w najbliższych dziesięcioleciach zagrożonych, chyba że zostaną podjęte działania w celu zmniejszenia intensywności czynników powodujących utratę różnorodności biologicznej. Bez takich środków nastąpi „dalsze przyspieszenie” globalnego tempa wymierania gatunków, które jest już „co najmniej dziesiątki do setek razy wyższe niż uśrednione w ciągu ostatnich 10 milionów lat”, stwierdza raport. Jako przykład podano, że mimo wysiłków ludów tubylczych i lokalnych społeczności do 2016 r. wymarło 559 z 6190 udomowionych ras ssaków wykorzystywanych w hodowli i rolnictwie, a co najmniej 1000 jest zagrożonych. Zanieczyszczenie morza „wzrosło dziesięciokrotnie od 1980 r.” a w niektórych obszarach nadal rośnie zanieczyszczenie powietrza, wody i gleby. „W szczególności zanieczyszczenie plastikiem morskim zwiększyło się dziesięciokrotnie od 1980 r., dotycząc co najmniej 267 gatunków”, w tym 86% żółwi morskich, 44% ptaków morskich i 43% ssaków morskich.

Mamy nadzieję, że edukacja w procesie ochrony klimatu odegra swoją rolę. Temu celowi służy nasza publikacja.

Redakcja





Katastrofy naturalne

– żeby przetrwać trzeba zrozumieć

■ W ostatnich latach obserwuje się wzrost występowania zjawisk ekstremalnych. Zrozumienie procesów, jakie zachodzą na Ziemi jest absolutnie niezbędne, aby odpowiednio wcześniej przewidzieć wystąpienie katastrof naturalnych, zaplanować działania zapobiegawcze, a następnie sprawnie usuwać ich skutki.

Jolanta Burda

Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

Katastrofy naturalne takie jak trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne, huragany, powódzie, fale tsunami i powierzchniowe ruchy masowe są przykładami geozagrożeń, które stają się coraz większym problemem życia społeczeństw.

Katastrofalne zjawiska przyrodnicze są zjawiskami zdarzającymi się na każdej szerokości geograficznej. Na ogół są one określane jako wydarzenia skoncentrowane w czasie i przestrzeni, podczas których dochodzi do strat ludzkich i materialnych. Stopień ich natężenia i niszczące skutki określa się najczęściej liczbą ofiar, ilością osób dotkniętych żywiołem, bądź szacunkiem strat ekonomicznych.

Katastrofalne zjawiska przyrodnicze można podzielić na pięć głównych grup:

- **geologiczne** (trzęsienia ziemi, erupcje wulkaniczne, ruchy masowe, tsunami, erozja),
- **hydrologiczne** (pustynnienie, lawiny śnieżne),
- **oceanologiczne** (powódzie w strefie przybrzeżnej, zmiany poziomu morza, zanieczyszczenia akwenów itp.),
- **meteorologiczne** (sztormy, cyklony, tornada, huragany, zawieje śnieżne itp.),
- **związane z pokrywą roślinną** (pożary, pustynnienie, szarańcza),
- **kosmiczne** (kolizja z Ziemią meteora, komety lub planetoidy).

Ruchy tektoniczne i związane z nimi wstrząsy sejsmiczne oraz wybuchy wulkanów są przykładami geozagrożeń wzbudzających największe zainteresowanie, które wynika po części z nieprzewidywalności tych zjawisk, potencjalnie dużej skali zniszczeń, jak również dużej liczby ofiar. Podczas ostatnich kilku dekad, trzęsienia ziemi i erupcje wulkaniczne pochłonęły najwięcej ofiar wśród populacji dotkniętej różnymi kataklizmami oraz spowodowały najwięcej zniszczeń spośród wszystkich katastrof naturalnych (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie wybranych katastrof naturalnych w latach 1980-2013

Zjawisko	Ilość zdarzeń	Ilość ofiar	Ilość pokrzywdzonych osób
Trzęsienia ziemi i tsunami	865	866 882	158 794 738
Susza	499	561 540	1 766 356 773
Powódzie	3 741	229 080	3 277 580 121
Ekstremalne temperatury	461	166 921	97 822 633
Wybuchy wulkanów	160	25 539	4 476 906

na podstawie: http://emdat.be/advanced_search/index.html

Trzęsienia ziemi

Trzęsienia ziemi należą do najbardziej tragicznych katastrof naturalnych. Tylko wielkie epidemie i klęski głodu powodują więcej ofiar. Trzęsienia ziemi są to naturalne wstrząsy gruntu rozchodzące się w postaci fal sejsmicznych. Powstają w wyniku gwałtownego rozładowania się naprężeń mas skalnych w skorupie ziemskiej. Obszary, gdzie trzęsienia ziemi są stosunkowo częste i silne, nazywa się strefami sejsmicznymi. Rozróżnia się dwie podstawowe strefy sejsmiczne Ziemi: strefę okołopacyficzną (ok. 80% wszystkich trzęsień ziemi) oraz strefę śródziemnomorsko-transazjatycką (ok. 15% wszystkich trzęsień ziemi). Większość z pozostałych 5% trzęsień ziemi przypada na obszary grzbietów śródoceanicznych na Oceanie Atlantyckim, Oceanie Indyjskim i Oceanie Arktycznym oraz rejon rowów tektonicznych we wschodniej Afryce.

Zdecydowana większość trzęsień ziemi należy do trzęsień tektonicznych i jest wywołana przemieszczaniem się płyt litosfery. Najsilniejsze i najliczniej występujące wstrząsy są związane ze strefami subdukcji, a więc z miejscami kolizyjnego kontaktu płyt. Mniej liczne i znacznie słabsze trzęsienia ziemi pojawiają się w strefach rozrostu litosfery. Znane są również trzęsienia ziemi o lokalnym zasięgu wywołane działalnością wulkaniczną nazywane trzęsieniami wulkanicznymi, jak również trzęsienia zapadliskowe, związane z zapadaniem się jaskiń krasowych czy spowodowane działalnością człowieka, np. górnictwem. Najsilniejsze trzęsie-

nia ziemi od początku XX wieku miały magnitudę powyżej 9: trzęsienie w Chile w 1960 roku ($M = 9,5$) i trzęsienie na Alasce w 1964 roku ($M = 9,2$).

Wstrząsy sejsmiczne oprócz śmiertelnego niebezpieczeństwa dla ludzi, powodują także znaczące zmiany ukształtowania terenu – rozwój wielkich osuwisk i obrywów skalnych, nie tylko na obszarach lądowych, lecz również na podmorskich stokach kontynentalnych. Podczas trzęsienia ziemi mogą nastąpić znaczne zmiany w topografii. Trzęsienie na Alasce w 1964 r. spowodowało przesunięcia pionowe na obszarze o powierzchni ponad 500 tys. km², przy czym teren w niektórych miejscach uległ podniesieniu o ponad 20 metrów. Poziome przesunięcia na odległość kilku metrów zaobserwowano w Kalifornii wzdłuż uskoku San Andreas na przestrzeni ponad 400 km.

Katastrofalne trzęsienia ziemi o magnitudzie powyżej 8 zdarzają się średnio raz na 5-10 lat. Energia fal sejsmicznych powstałych w czasie takiego trzęsienia odpowiada energii średniej bomby wodorowej. Trzęsień o magnitudzie 6,5 notuje się rocznie ok. 100. Powodują one poważne zniszczenia w rejonie epicentrum. Energia fal sejsmicznych w czasie takiego trzęsienia jest porównywalna z energią wybuchu jednej z pierwszych bomb atomowych. Słabe wstrząsy o magnitudzie 2-3 występują w ilości ok. 100 tys. rocznie. Na ogół nie są one odczuwane przez ludzi; rejestrują je tylko przyrządy badawcze.

W przypadku trzęsień ziemi na dnie morskim dochodzi często do powstania niszczącej fali tsunami. Fala ta osiąga

czasem wysokość kilkudziesięciu metrów (67 m w czasie trzęsienia na Alasce w 1964 r.), a rozchodzi się na znaczne odległości z prędkością kilkuset kilometrów na godzinę, prowadząc do zniszczeń w rejonach odległych od samego trzęsienia o tysiące kilometrów.

Sejsmiczność Polski

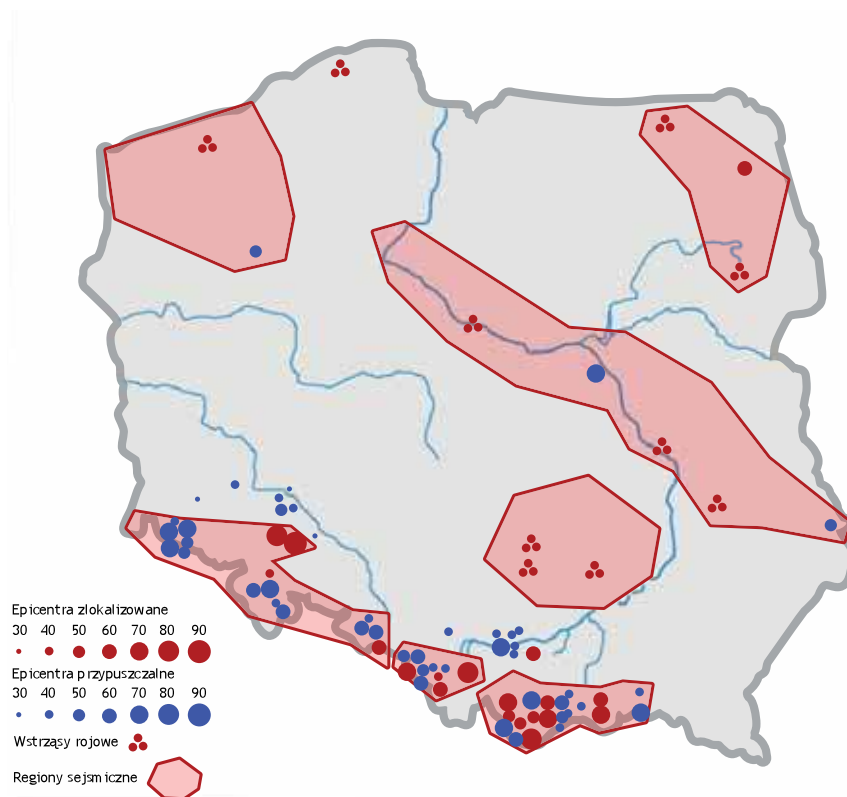
Polska leży w strefie asejsmicznej, co nie znaczy, że na obszarze naszego kraju nie obserwujemy współczesnych ruchów powierzchni ziemi i słabych wstrząsów tektonicznych. Pojawiają się one głównie na obszarze Polski południowej – w Sudetach (wzdłuż linii uskoku dzielących ten górów na szereg odrębnych masywów) i w Karpatach. W przeszłości najsilniejsze z nich występowały w rejonie pienińskiego pasa skałkowego, stanowiącego wyraźną granicę tektoniczną pomiędzy Karpatami Zewnętrznymi i Karpatami Wewnętrznymi.

Znane są liczne przypadki zniszczeń spowodowanych przez trzęsienia na terenie Polski. W 1443 r. w Krakowie zawałiło się sklepienie kościoła św. Katarzyny, a w wielu domach mieszkalnych zarysowały się ściany. Wiele domów w Warszawie zostało zniszczonych w 1680 r. Znane są trzęsienia ziemi w Hrubieszowie w 1875 r. i koło Niemczy w 1895 r. Wiele wstrząsów zanotowano w lutym 1932 r. w okolicach Płocka, Kielc, Lublina. Dość częste są słabe trzęsienia ziemi w Karkonoszach. Dużym zaskoczeniem dla sejsmologów były wstrząsy sejsmiczne (o magnitudzie 5,0-5,3), które wystąpiły w 2004



Rys. 1. Rozmieszczenie trzęsień ziemi na kuli ziemskiej

(kolor czerwony – granice dywergentne; kolor zielony – granice konwergentne), źródło: NOAA National Centers For Environmental Information, <http://maps.ngdc.noaa.gov>



Rys. 2. Trzęsienia ziemi w Polsce w latach 1900-1995, na podstawie opracowania ekofizjograficznego do Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Lubelskiego 2015 r., źródło: <http://www.bpp.lublin.pl/pzpwl/2015/ekofizjografia.html>

roku na północy Polski. Ognisko trzęsienia ziemi zlokalizowano na północny zachód od Kaliningradu, na głębokości 15 km. Wstrząsy w Polsce północnej najprawdopodobniej były echem trzęsień ziemi na sejsmicznych obszarach położonych na południe od naszego kraju.

Działalność człowieka również może powodować powstanie słabych trzęsień ziemi (wstrząsy indukowane). Eksploatacja kopalin prowadzi często do naruszenia równowagi górotworu i wyzwala-

nia się naprężeń. Skutkiem działalności górniczej są wstrząsy sejsmiczne występujące na Górnym Śląsku; (niektóre z nich mają magnitudę dochodzącą do 4), podobnie jak trzęsienie w 1980 r. w Bełchatowie (magnituda 4,6).

Erupcje wulkaniczne

Większość wulkanów związana jest z granicami płyt litosfery. Grupują się w wąskich strefach, które najczęściej są młodymi pasmami górskimi lub łukami

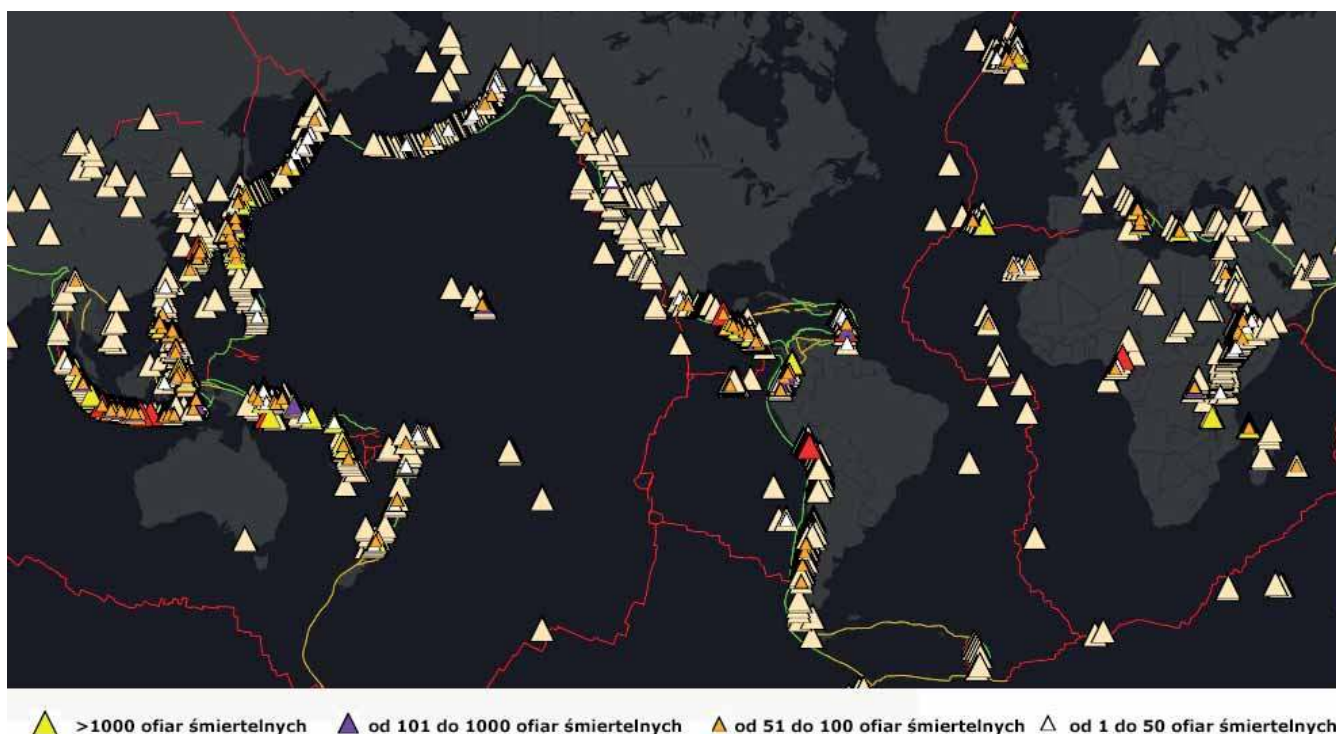
wyspowymi, 2/3 czynnych wulkanów znajduje się u wybrzeży Oceanu Spokojnego. Strefą aktywną wulkanicznie są również ryfty grzbietów śródoceanicznych. Część wulkanów związana jest z tzw. gorącymi plamami występującymi nad pióropuszami płaszcza. Przykładem wysp wulkanicznych, które powstały nad pióropuszem płaszcza jest Grzbiet Hawajski.

W zależności od rodzaju materiału wydostającego się podczas erupcji wyróżnia się:

- **erupcje** (erupcje wylewne, erupcje lawowe) – wydobywa się jedynie lava. Wulkany lawowe mogą być dwójakiego rodzaju (tarczowe i kopułowe). Wulkany tarczowe powstają, gdy lava odznacza się małą lepkością. Przykładem są wulkany hawajskie. Jeśli lava ma dużą lepkość tworzą się wulkany kopułowe (kopuły wulkaniczne). Przykładem może być wulkan Merapi na Jawie,
- **erupcje eksplozywne** – podczas erupcji wydobywają się materiały piroklastyczne i produkty lotne, mają one zazwyczaj gwałtowny charakter,
- **erupcje mieszane** – dostarczają jednocześnie lawy, materiałów piroklastycznych i materiałów lotnych.

Porównując siłę, przebieg i skutki rozmaitych erupcji, można zadać pytanie, w jaki sposób określa się rozmiary erupcji wulkanicznych? Jakie kryteria wykorzystywane są do porównania siły erupcji różnego typu? Czy w przeszłości zdarzały się erupcje silniejsze od znanych współcześnie, i jakie byłyby skutki takich erupcji? Pytania te mają ogromne znaczenie związane z prognozowaniem i przewidywaniem erupcji wulkanicznych.





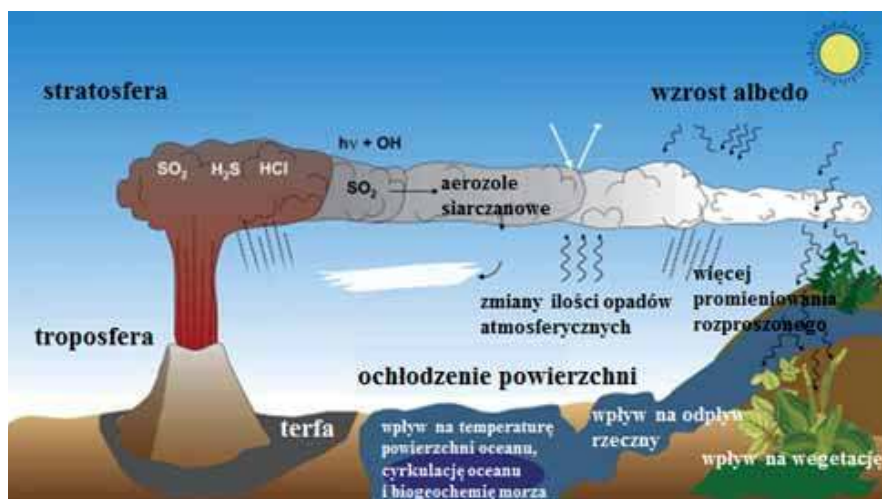
Rys. 3. Rozmieszczenie wulkanów na kuli ziemskiej

(kolor czerwony – granice dywergentne; kolor zielony – granice konwergentne), źródło: NOAA National Centers For Environmental Information, <http://maps.ngdc.noaa.gov>

Jako wskaźnik rozmiarów (wielkości) erupcji wykorzystuje się ilość produktów erupcji, wyrażoną poprzez objętość materiałów piroklastycznych (czyli tefry), jak też objętość magmy lub masę magmy wyemitowanej w toku erupcji.

Objętość tefry jest podstawą tzw. wskaźnika eksplozywności wulkanicznej VEI (ang. Volcanic Explosivity Index). Skala ta obejmuje 9 stopni, od 0 do 8. Każdy kolejny stopień skali powyżej 1 opowiada wyrzutowi 10-krotnie większej objętości tefry.

Kolejnym wskaźnikiem jest wskaźnik określany jako DRE (ang. Dense Rock Equivalent). Wartość DRE oznacza pierwotną objętość wyrzuconej magmy z pominięciem porowatości produktów erupcji. Objętość tefry jest zwykle 2-3 razy większa od objętości magmy, z której powstała. Oprócz ilości produktów erupcji ważnym parametrem, który charakteryzuje skalę i siłę aktywności wulkanicznej jest tempo erupcji, które oznacza masę magmy wyrzucanej przez wulkan w jednostce czasu. Tempo wielkich erupcji może sięgać 10^9 kg/s (milion ton/s). Im bardziej intensywna erupcja, tym wyżej sięga chmura popiołu nad wulkanem (kolumna erupcyjna).



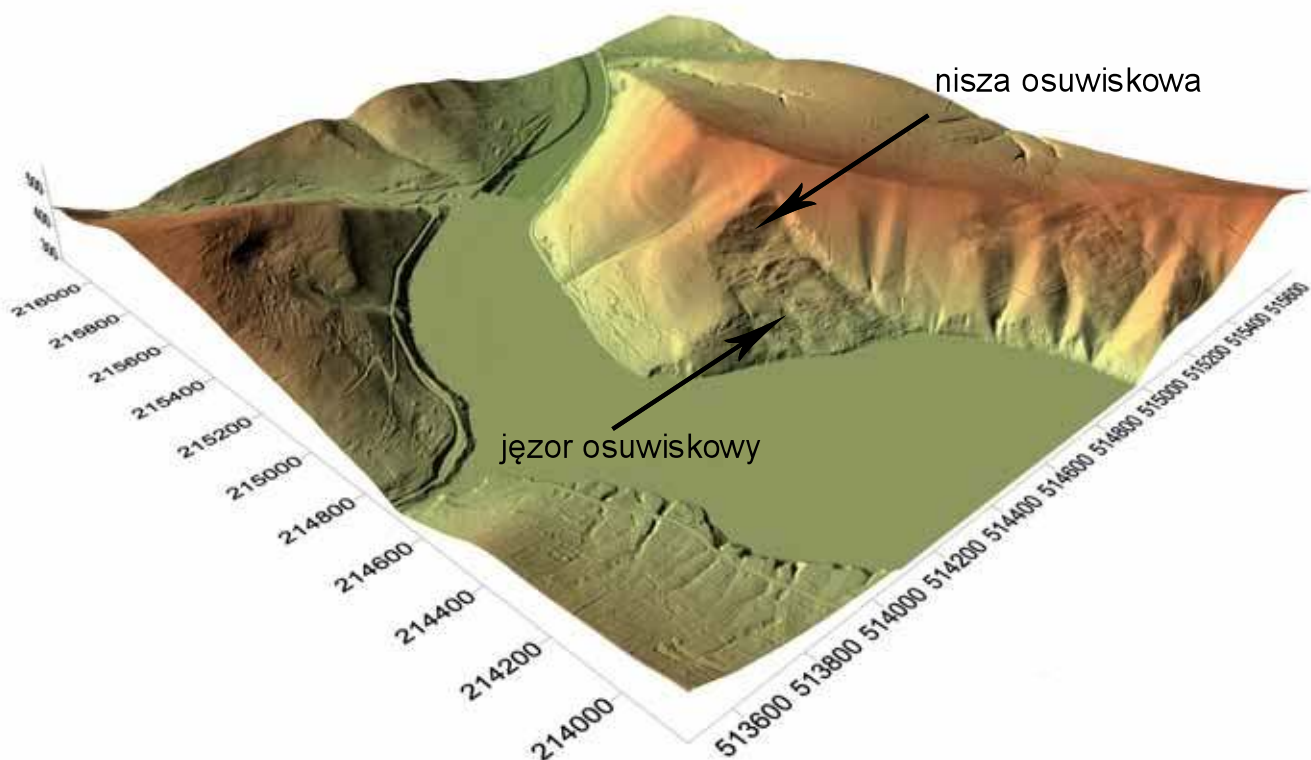
Rys. 4. Schemat przedstawiający wpływ supererupcji na klimat, źródło: McCormick, Thomason i Trepte, 1995

Największe kolumny erupcyjne osiągną wysokości ponad 50 km.

Zagrożenia związane z największymi erupcjami (supererupcjami), w tym możliwe globalne zmiany klimatyczne i katastrofalne skutki dla biosfery sprawiają, że problemy dotyczące wielkoskalowych erupcji budzą żywe zainteresowanie. Aktualne badania ukierunkowane są m.in. na lepsze zrozumienie procesów powstawania wielkich ilości magmy, przebiegu transportu magmy w li-

tosferze, oraz zjawisk erupcyjnych na powierzchni. Poznanie natury tych podstawowych procesów jest niezbędne dla realnego prognozowania i przewidywania wielkich erupcji wulkanicznych.

Na obszarze Polski najmłodsze wulkany czynne były w rejonie Łądko-Zdroju, przed około 3,8-5,2 mln lat. Obecnie na Śląsku znamy ponad 330 miejsc, w których zachowały się lawy wulkaniczne i osady powstałe z popiołów i bomb wulkanicznych.



Rys. 5. Osuwisko w Łaskach nad Zbiornikiem Międzybrodzkim, numeryczny model terenu – lotniczy skaning laserowy (LiDAR)., źródło: praca własna

Powierzchniowe ruchy masowe

Powierzchniowe ruchy masowe są jednym z najbardziej rozpowszechnionych zjawisk generujących katastrofy przyrodnicze na Ziemi. Należą do nich osuwiska, obrywy, spęływania, osiadania i procesy erozji wąwozowej. Polska jest krajem, w którym powierzchniowe ruchy masowe stanowią poważne zagrożenie dla działalności i życia ludzi.

Najgroźniejszym przejawem tych procesów są osuwiska, czyli nagłe przemieszczenia mas skalnych w warunkach stałego kontaktu z podłożem, odbywające się wzdłuż wyraźnej powierzchni poślizgu/ścięcia. Ruch taki zachodzi pod wpływem siły ciężkości. Prędkość przemieszczenia jest stosunkowo zróżnicowana i waha się w granicach od jednego metra w przeciągu kilku minut, godzin, czy dni, do jednego metra na miesiąc czy rok.

Osuwiska są szczególnie częste w obszarach o sprzyjającej im budowie geologicznej, gdzie warstwy skał przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych występują naprzemiennie. Miejsca występowania osuwisk to naturalne stoki i zbocza dolin i zbiorników wod-

nych, obszary źródłowe rzek, skarpy wykopów i nasypów oraz wyrobisk. Główną przyczyną naturalną uruchamiającą osuwiska są zjawiska meteorologiczno-hydrologiczne, przede wszystkim intensywne lub długotrwałe opady deszczu, połączone z powodziami i wzmożoną erozją boczną rzek oraz gwałtowne topnienie pokrywy śnieżnej wczesną wiosną.

Osuwiska należą do najbardziej rozpowszechnionych zagrożeń na Ziemi i są przyczyną około 17% zgonów spowodowanych katastrofami naturalnymi. Według raportu Banku Światowego obszary zagrożone występowaniem osuwisk zajmują 3,7 mln km² powierzchni Ziemi.

W Polsce najwięcej osuwisk powstaje w Karpatach fliszowych (około 95% wszystkich zarejestrowanych osuwisk), czemu sprzyja charakter ich rzeźby (wysokie i stromo nachylone zbocza dolin), budowa geologiczna (naprzemianległe warstwy wodoprzepuszczalnych piaszczyców i słabo przepuszczalnych łupków, iłowców i margli), obecność miękkich pokryw zwietrzelinowych podatnych na procesy osuwiskowe

oraz budowa tektoniczna (ułożenie skał, spękania, uskoki). W mniejszej skali osuwiska występują na wybrzeżu Bałtyku, na pojezierzach, w Sudetach i na ich przedpolu, w Górach Świętokrzyskich, na Wyżynie Lubelskiej oraz na Rostoczu.

W ostatnich 20 latach na obszarze Karpat fliszowych odnotowano dużą aktywność ruchów masowych wywołanych ekstremalnymi opadami deszczu. W tym okresie powstało lub odnowiło się wiele osuwisk, doprowadzając do ogromnych strat gospodarczych: do zniszczenia wielu budynków mieszkalnych, gospodarczych, a także infrastruktury komunikacyjnej i przesyłowej. Osuwiska uruchomione w wyniku katastrofalnych opadów wiosną 2010 roku doprowadziły do zniszczenia lub uszkodzenia ponad 1000 domów oraz wielu kilometrów dróg i infrastruktury przesyłowej (linie wodociągowe, kanalizacyjne, gazowe).

W celu opracowania całościowej koncepcji skutecznego zapobiegania i przeciwdziałania negatywnym skutkom ruchów masowych powstał projekt SOPO – System Osłony Przeciwosuwiskowej.

skowej, realizowany przez Państwowy Instytut Geologiczny (<http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/>).

Dużym wsparciem w badaniach osuwisk są dane uzyskane metodą skaningu laserowego. Uzyskane tą metodą wyniki pozwalają obserwować nawet najmniejsze przemieszczenia w obrębie monitorowanej powierzchni.

Zakończenie

W minionym półwieczu zaobserwowano gwałtowny wzrost katastrof naturalnych, w wyniku których zmarło prawie 5 mln osób, a straty materialne oszacowano na 4,5 trylionów dolarów. Średnio około 80 tys. ludzi umiera każdego roku na skutek różnego rodzaju katastrof naturalnych. Straty finansowe z tytułu klęsk żywiołowych przekraczają obecnie 50 mld dolarów rocznie. Wielki cyklon Bhola, nazywany cyklonem wszechczasów, który w 1970 roku uderzył z niewyobrażalną siłą w wybrzeża Bangladeszu spowodował śmierć ponad 500 tys. osób. Na skutek trzęsienia ziemi w Chinach w 1976 roku zginęło ponad 300 tys. osób. Kolejny huragan, który w 1991 roku nawiedził Bangladesz spowodował śmierć 145

tys. osób. W wyniku fali tsunami powstałej po trzęsieniu ziemi (9,1 w skali Richtera) na Oceanie Indyjskim w 2004 roku zginęło co najmniej 230 tys. osób, a kilka milionów osób straciło dach nad głową. Huragan Katrina, który w 2005 roku wywołał powódź w Nowym Orleanie zabijając 1600 osób, spowodował straty materialne, które oszacowano na 100 miliardów dolarów. Trzęsienie ziemi w Haiti (7,0 w skali Richtera) w 2010 roku pochłonęło 316 tys. ofiar śmiertelnych. Według najnowszego raportu ONZ i Banku Światowego, straty spowodowane przez katastrofy naturalne mogą sięgnąć pod koniec XXI wieku aż 185 mld dolarów rocznie, nie licząc strat wynikających ze zmian klimatu.

Poważnym wyzwaniem staje się więc poznanie mechanizmów tych procesów w celu ich dokładnego prognozowania, monitorowania możliwych zagrożeń oraz współdziałanie w zakresie opracowania scenariuszy postępowania w sytuacjach wystąpienia tego typu katastrof. Są to podstawowe zadania nowego kierunku studiów – Inżynierii Zagrożeń Środowiskowych – który powstał na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Nowy kierunek oferuje studentom wszechstronną edu-

kację w zakresie przyczyn, przebiegu i skutków geozagrożeń skupiając się nie tylko na aspektach geologicznych, ale również aspektach społecznych, środowiskowych i prawnych. Głównym celem nowego kierunku studiów jest przygotowanie specjalistów o szerokiej wiedzy z dziedziny przyczyn powstawania, przebiegu i skutków katastrof naturalnych i zjawisk ekstremalnych o wymiarze lokalnym, jak i globalnym.

LITERATURA

- Graniczny M. i Mizerski W., 2009: *Katastrofy przyrodnicze*. Polska Akademia Nauk. Warszawa.
- Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Surata M., 2012: *Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (Gmina Lanckorońska)*. „Przegląd Geologiczny” 60/2: 64–89.
- McCormick M. P., Thomason L.W., Trepte C. R., 1995: *Atmospheric effects of the Mt Pinatubo eruption*. „Nature” 373: 399–404.
- Miller CF, Wark DA. 2008: *Supervolcanoes and their explosive supereruption*. „Elements” 4/1:11–16.
- Keller E.A., DeVecchio D.E., 2015: *Natural hazards: Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes*, 4th Edition. Pearson: 1–554.
- <http://www.bpp.lublin.pl/pzpw/2015/ekofizjografia.html>
- <http://maps.ngdc.noaa.gov>
- http://emdat.be/advanced_search/index.html



Dokąd zmierza klimat?

■ Globalne ocieplenie to mit – takie głosy pojawiają się zwykle wtedy, gdy spodziewamy się ładnej, słonecznej pogody w maju, a za oknem ewidentnie widzimy, że właśnie spadł śnieg. Zadziwiające jest to, jak wiele osób, na podstawie pogody w danym dniu jest w stanie stwierdzić, że mamy do czynienia z globalnym ociepleniem, lub że jest to zupełny absurd.

Michał Krupiński

Zespół Obserwacji Ziemi CBK PAN

Interesujące w tej kwestii okazują się badania psychologów społecznych, którzy wykazali, że liczba osób wierzących w globalne ocieplenie rośnie w dni upalne i spada w dni chłodne. Wynika to z tego, że często jesteśmy skłonni potwierdzać nasze poglądy (np. że nie ma globalnego ocieplenia) akceptując tylko te informacje, które to potwierdzają (aktualna pogoda za oknem) a wyniki badań ekspertów (klimatologów), które choć jasno dowodzą, że coś istnieje (globalne ocieplenie), uznawać za niezetelne, bo niezgodne z naszym osądem. Przykład ten pokazuje jednocześnie powszechne mieszanie pojęcia pogody i klimatu.

Różnicę pomiędzy tymi pojęciami najlepiej chyba opisuje zdanie: *Climate is what you expect, weather is what you get*. Upraszczając można więc stwierdzić, że pogoda to stan w danym momencie, a klimat to jakby uśredniona pogoda na podstawie długoterminowych (np. 30-letnich) obserwacji. Pogoda może więc być bardzo zmienna, natomiast klimat zmienia się w nieporównywalnie mniejszym stopniu.

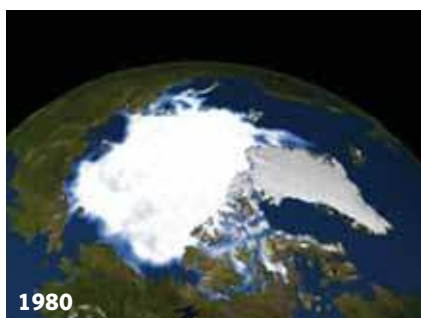
Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu

Zdarza nam się zapominać, jak duży wpływ na ziemski klimat ma Słońce. Okazuje się, że według badań kilku niezależnych zespołów naukowych istnieje bardzo ścisła zależność między temperaturą powierzchniową wód oceanicznych a aktywnością Słońca. Wykazano, że w ciągu ostatnich 50 lat trzy oceany (na obszarach zwrotnikowych i podzwrotnikowych) ulegały ochłodzeniu lub ogrzaniu o około 0,1°C, dokładnie w rytmie 11-letniego

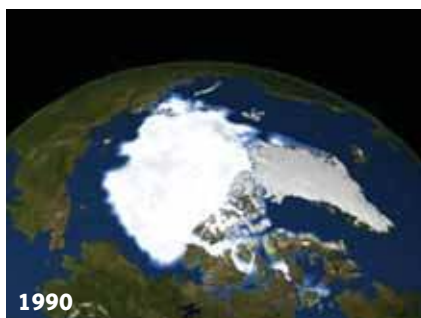
cyklu zmian słonecznych. Jest to tym bardziej zdumiewające, jeśli weźmiemy pod uwagę fakt, jak małe są różnice w jasności słonecznej (0,1%).

W ramach projektu EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) przebadano rdzenie lodowe z odwiertów sięgających ponad 3 kilometry w głąb lodu, które dostarczyły naukowcom informacji o zmianach temperatury i stężeniu gazów cieplarnianych (gazów odpowiedzialnych za efekt cieplarniany) z ostatnich 800 tysięcy lat. W tym okresie zaobserwowano osiem cykli glacialnych oraz osiem krótszych okresów interglacialnych. Okazało się również, że obecne stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze jest wyższe niż kiedykolwiek w okresie minionych 800 tysięcy lat. Ponadto badania potwierdziły zależność między poziomem gazów cieplarnianych a zmianami klimatycznymi. W okresach glacialnych cechujących się chłodnym klimatem stężenie CO₂ w atmosferze było mniejsze.

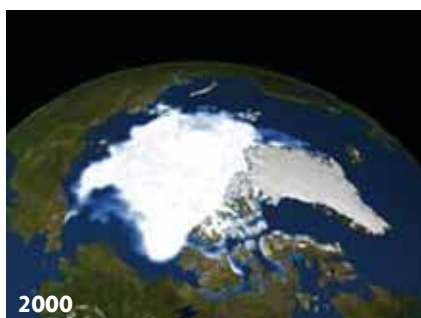
Aby wyznaczyć historyczne wartości temperatury przeanalizowano stosunki izotopów w zamrażniętej wodzie. Dane o stężeniu gazów cieplarnianych uzyskano na podstawie badań uwiecznionych w wodzie mikroskopijnych pęcherzyków powietrza. Aktualny poziom CO₂ wynosi ok. 380 ppm (cząstek na milion), a więc o 28% więcej niż w epoce przedindustrialnej. Najniższy



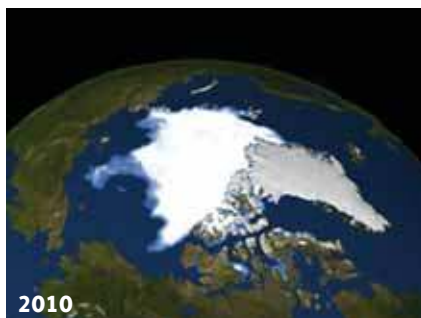
1980



1990



2000



2010

Rys. 1. Zasięg pokrywy lodowej w latach 1980–2010, Arktyka, NASA

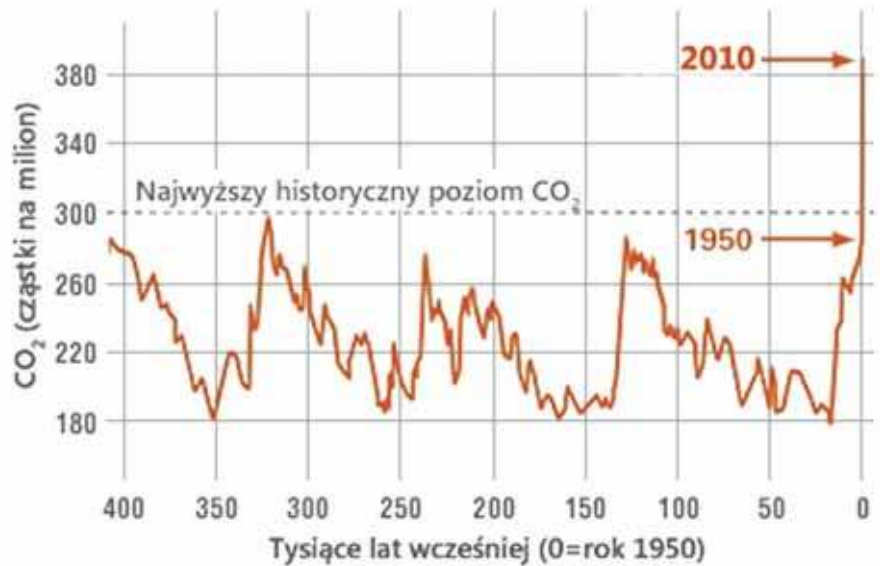
Zadania

- Jakie jest maksymalne i minimalne stężenie CO₂ na mapie?
- Gdzie na świecie wystąpiło najmniejsze, a gdzie największe stężenie?
- Jakie wartości stężenia wystąpiły nad terytorium Polski? Jak w tym czasie wyglądała sytuacja w Europie?

poziom CO_2 (poniżej 180 ppm) przypadł na okres glacialny między 650 tys. a 750 tys. lat temu.

Człowiek również przyczynia się do emisji gazów cieplarnianych. Sam efekt ocieplenia wywołany przez człowieka określa się jako „antropogeniczne globalne ocieplenie”. Mówiąc „zmiana klimatu” mamy na myśli zauważalną zmianę np. temperatury, opadu, czy wiatru, która utrzymuje się przez dłuższy okres czasu z pewnych przyczyn. Pewną standaryzację nazewnictwa wprowadziła ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych, która w sprawie zmian klimatu używa terminu „zmiana klimatu” do zmian spowodowanych przez człowieka, a „zmienność klimatyczna” do zmian powstającą z przyczyn naturalnych.

Określenie „globalne ocieplenie” odnosi się do ocieplenia obserwowanego w ciągu dziesiątek lat, jak i jego prognoz. Pomimo że naukowcy nie są w stu procentach zgodni, czy faktycznie mamy do czynienia z globalnym ociepleniem, to większość z nich potwierdza tą tezę. Jeszcze mniejsza zgodność panuje, gdy podawane są przyczyny globalnego ocieplenia i udział w nim działalności człowieka. Musimy pamiętać, że klimat jest bardzo złożonym zjawiskiem, zależnym od bardzo wielu czynników. Zmiana wartości jednego parametru może mieć inny wpływ na różne elementy klimatu.



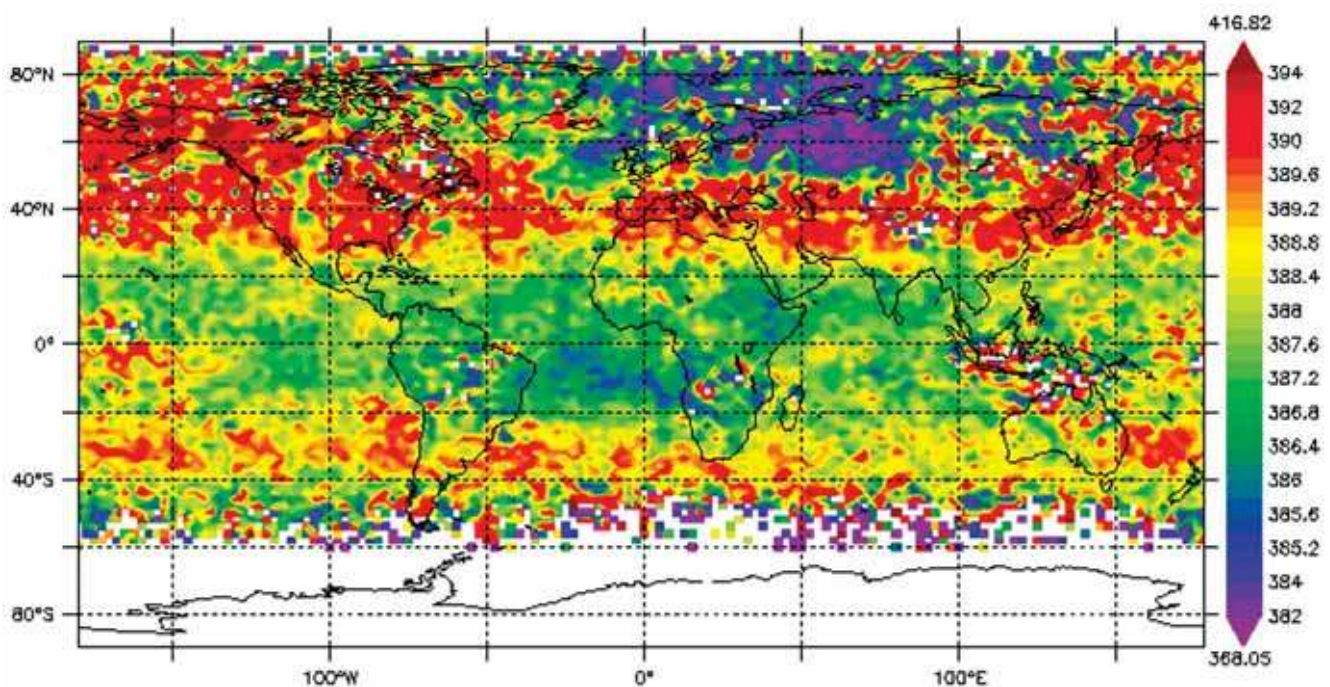
Rys. 2. Zmiany poziomu CO_2 , NOAA

Zmiany temperatury

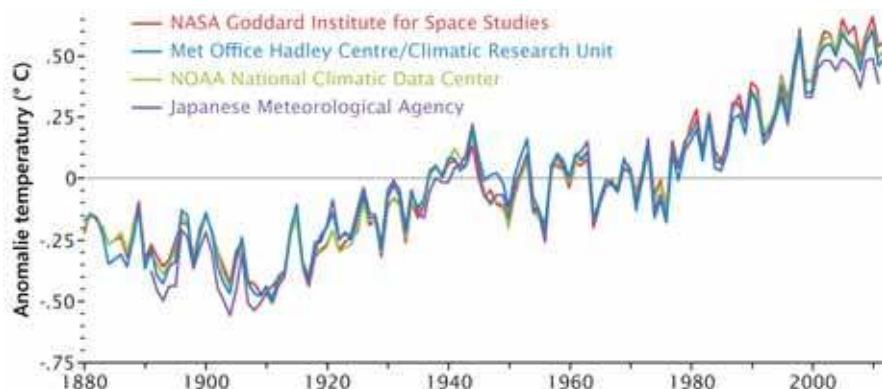
Bazując na pomiarach z 6 300 stacji meteorologicznych na całym świecie, pomiarów na morzu i z poziomu satelitów, naukowcy z Goddard Institute for Space Studies (GISS) zbadali jak zmieniała się temperatura całej planety od 1880 roku (wcześniejsze obserwacje nie miały wystarczającego zasięgu). Okazało się, że wzrosła średnio o $0,8^\circ\text{C}$. Czy powinniśmy przejmować się tym, że temperatura wzrosła o mniej niż jeden stopień? Przecież w ciągu jedne-

go dnia temperatura potrafi zmienić się o kilka stopni. Sęk w tym, że porównanie zmiany jaką zaobserwujemy w swojej okolicy z temperaturą globalną jest bezzasadne i nie doprowadzi nas do żadnych sensownych wniosków. Temperatura globalna to średnia temperatura dla całej planety.

Temperatura, którą odczuwamy na co dzień podlega okresowym wahaniom, które wynikają z przewidywalnych, cyklicznych zdarzeń jak dzień i noc lub lato i zima. Z kolei globalna



Rys. 3. Stężenie CO_2 na dzień 15 stycznia 2010, NOAA



Rys. 4. Zmiana temperatury globalnej

temperatura zależy głównie od tego jak dużo energii słonecznej trafi na Ziemię, i jak dużo tej energii Ziemia odda z powrotem w przestrzeń kosmiczną. Wartości tej energii podlegają bardzo małym zmianom. Wyobraźmy więc sobie jak dużo ciepła potrzeba, by ogrzać ocean, atmosferę i lądy o ten jeden stopień.

W przeszłości (ok. 20 tys. lat temu), pięciostopniowe obniżenie temperatury globalnej wystarczyło, by pokryć masą lodu znaczną część Ameryki Północnej. Analizując mapy zmian globalnej temperatury łatwo zauważyć, że globalne ocieplenie objawia się podwyższeniem temperatury w każdym miejscu na Ziemi o jeden stopień. W danym roku temperatura w jednym regionie mogła wzrosnąć nawet o 5°, a równocześnie zmaleć o 3° w innym regionie.

Po wyjątkowo mroźnej zimie może przyjść wyjątkowo ciepłe lato. Może się też zdarzyć, że mroźna zima w pewnym regionie jest balansowana przez wyjątkowo ciepłą zimę w innej części naszego globu. Można zauważyć również generalną tendencję, że ląd ogrzewa się łatwiej niż ocean, ponieważ woda wolniej absorbuje (i uwalnia) ciepło.

Przeanalizujmy ostatnią dekadę (lata 2000–2009). Z wyników badań możemy wywnioskować, że zmiana temperatury lądu na obszarze Stanów Zjednoczonych była 50% większa niż oceanów, w Euroazji do 2–3 razy i 3–4 razy większa w Arktyce i na Antarktydzie.

Naukowcy z NASA GISS przeprowadzili badania temperatury globalnej, by umożliwić weryfikację prognoz dotyczących zmian klimatu w odnie-

Zadania

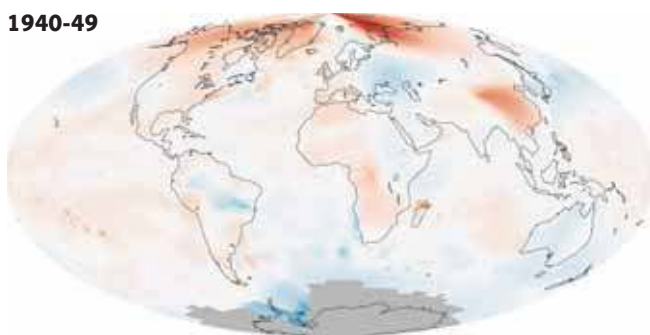
- I Opisz, jak zmieniała się globalna temperatura na półkuli północnej, a jak na południowej.
- I Wybierz region świata, np. dany kraj i przeanalizuj, jak zmiany dotyczyły tego obszaru.
- I Oszacuj średnią zmianę dla całego okresu od 1940 do 2009 roku.

sieniu do dwutlenku węgla, aerozoli i zmian w aktywności Słońca.

A co z chmurami?

Naukowcy obserwując i mierząc warunki meteorologiczne wyszukują prawidłowości i budują modele matematyczne, które mają im pomóc w analizie i przewidywaniu zmian klimatycznych. Chmury i aerozole (małe cząstki zawieszone w powietrzu) skutecznie utrudniają modelowanie takich zmian. Mimo że wiadomym jest, że chmury, które w danym momencie mogą pokrywać nawet 70% powierzchni Ziemi, są jednym z głównych mechanizmów zmian klimatu, to istota ich wpływu jest stosunkowo słabo poznana. Wiemy, że chmury mocno odbijają promieniowanie słoneczne, a więc ograniczają jego dopływ do powierzchni planety. Każdy pewnie tego doświadczył pod-

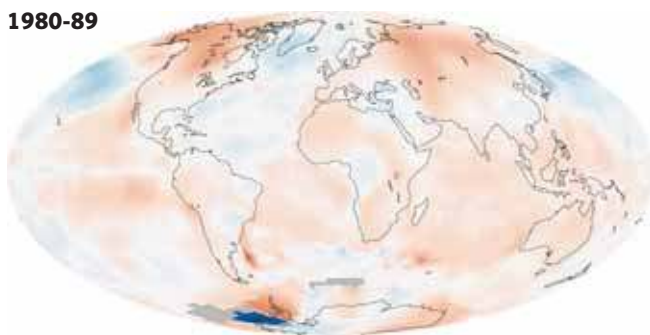
1940-49



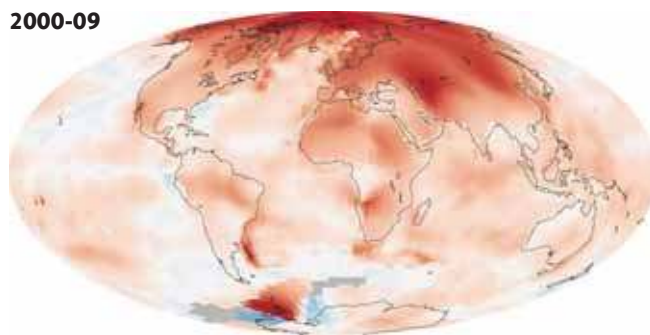
1960-69



1980-89



2000-09



Rys. 5. Średnie zmiany temperatury globalnej w latach 1940-2009, NASA



Rys. 6. Procentowe pokrycie powierzchni Polski śniegiem (zima 2012-2013), CBK PAN

Zadania

- Przeanalizuj średnie pokrycie śniegiem Polski w latach 1996–2011:
 - wyznacz najbardziej śnieżny dzień i miesiąc
 - gdyby za początek zimy uznać pierwszy dzień, gdy przynajmniej 20% powierzchni Polski pokrytych jest śniegiem, kiedy rozpoczynałaby się zima?
- Analogicznie wyznacz początek i koniec zimy dla ostatnich pięciu lat:
 - przez ile dni w tym roku cała Polska pokryta była śniegiem?
 - przez ile dni w zimie, na przełomie 2005 i 2006 roku cała Polska była bezśnieżna?

czas opalania, gdy nagle obłok przysłonił nam słońce.

Niskie chmury głównie odbijają promieniowanie słoneczne, a więc ochładzają powierzchnię Ziemi. Z kolei chmury wysokie głównie transmitują docierające promieniowanie, jednocześnie blokując odpływ promieniowania podczerwonego Ziemi i odbijając je z powrotem, przyczyniając się do ogrzewania powierzchni Ziemi. To, czy dana chmura wpływa na ocieplenie

lub ochłodzenie zależy od kilku czynników – wysokości, rozmiaru czy częstotliwości, z których jest zbudowana. Wpływ chmur na klimat jest znaczący i nawet niewielkie zmiany w zachmurzeniu mogą przyspieszyć lub spowolnić proces ogrzewania. W sumarycznym globalnym bilansie, bliskim równowagi, wygrywa jednak chłodzenie. Obecne modele klimatu nie odwzorowują zbyt dobrze stanu zachmurzenia, przez co są priorytetem w badaniach klimatologów.

Maszyna czasu

NASA opracowała bardzo ciekawy portal, który nazwała maszyną do podróży w czasie. Dzięki niemu możemy przeanalizować kluczowe czynniki związane ze zmianami klimatu, takie jak temperatura, emisja węgla, poziom mórz czy poziom lodu.

http://climate.nasa.gov/interactives/climate_time_machine

Klimatologia satelitarna

Od kilkudziesięciu lat badania klimatu wspomagane są z poziomu satelitarnego. Satelity serii Landsat monitorują jak zmienia się powierzchnia naszej planety, Calipso, CloudSat i Aura prowadzą pomiary właściwości atmosfery, a Jason-1 i Aquarius dedykowane są obserwacjom morza. Wymienione satelity to tylko kilka z satelitów należących do Globalnego Systemu Obserwacji Ziemi; projektu, który wspiera około 40 organizacji międzynarodowych. W ramach systemu działa łącznie z instrumentami na lądzie, bojach i dnie oceanów, urządzeń pomiarowych jest blisko 100 tysięcy.

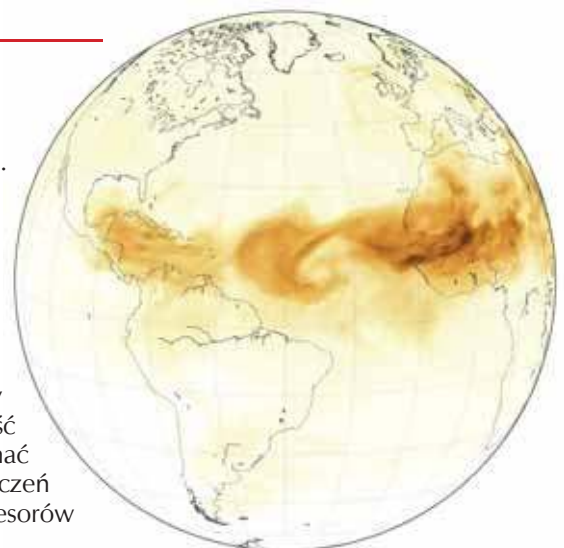
Centrum Badań Kosmicznych PAN również zajmuje się badaniami klimatu, w tym pokrywą śnieżną i zachmurzeniem. Część wyników pomiarów satelitarnych pokrywy śnieżnej dotyczących obszaru Polski jest również udostępniana bezpłatnie na stronie internetowej (<http://zoz.cbk.waw.pl/snieg/>). Znajdziemy tam codziennie aktualizowany zasięg pokrywy śnieżnej w Polsce, jak również dane archiwalne.

Z Sahary na Karaiby

W czerwcu 2018 roku potężna chmura pyłu pokonała blisko 10 tys. kilometrów przenosząc się z Sahary na Karaiby i dalej na zachód.

18 czerwca satelity zaczęły wykrywać grube pióropusze pyłu saharyjskiego nad Mauretanią, Senegalem, Gambią i Gwineą Bissau. Przez następne dni wiatry przenosiły pył nad Atlantykiem. Mapa pokazuje pył przechodzący przez Atlantyk 28 czerwca 2018 r. Jest ona opracowana w modelu systemu GEOS-5.

GEOS-5 to globalny model atmosferyczny, który wykorzystuje równania matematyczne do ilustracji procesów fizycznych. Pomiary właściwości fizycznych, takich jak temperatura, wilgotność i prędkość wiatru oraz kierunki są rutynowo składane w modelu, aby utrzymać symulację w pobliżu obserwowanej rzeczywistości. Miliony obliczeń związanych z takim szczegółowym modelem wymagają tysięcy procesorów komputerowych.



Niebezpieczne zjawiska pogodowe

Fale upałów

Zmiany klimatyczne stanowią obecnie problem globalny. Według Światowej Organizacji Meteorologicznej w ciągu ostatnich 150 lat nastąpił wzrost średniej temperatury powietrza na Ziemi. Fakt ten oznacza wzrost energii w atmosferze ziemskiej. Zwiększona energia oraz położenie Polski w obszarze, do którego napływają masy powietrza o różnorodnych właściwościach, wpływa na duże prawdopodobieństwo występowania niebezpiecznych zjawisk pogodowych. Jednym z nich są fale upałów. Od lat 90. XX w. pojawiają się one na obszarze Polski coraz częściej.

Foto – Fotolia

Małgorzata Pajewska

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, UW

Czym są fale upałów?

Istotnym, z punktu widzenia pogody i klimatu, elementem meteorologicznym jest temperatura powietrza. Ekstremalne jej wartości należą do niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych. **Upał** określany jest jako stan pogody, kiedy w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m nad poziomem gruntu zmierzona temperatura maksymalna powietrza jest równa lub większa niż 30°C.

Za **falę upałów** uważa się natomiast, sytuację, kiedy w ciągu trzech kolejno następujących po sobie dni temperatura maksymalna przekracza 30°C (w klimacie umiarkowanym). Ważnym pojęciem jest również **okres upalny**, czyli okres minimum trzech kolejnych dni, w czasie których średnia temperatura maksymalna wynosi co najmniej 30°C.

W trakcie trwania okresu upalnego wyróżnić można **dni upalne** (temperatura maksymalna powyżej 30°C) oraz **dni gorące** (temperatura maksymalna powietrza przekracza 25°C). Ponadto liczba dni upalnych musi być większa

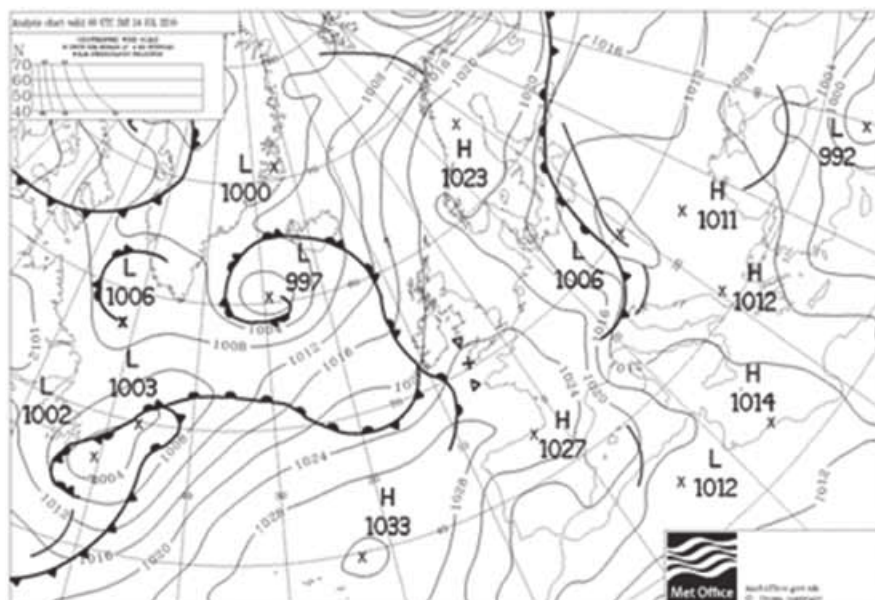
lub równa liczbie dni gorących. Opierając się o powyższą definicję, zauważyć można, że fale upałów stanowią specyficzny przypadek okresu upalnego.

Jedną z kluczowych przyczyn występowania fal upałów jest cyrkulacja atmosferyczna, która wpływa na kształtowanie się warunków termicznych na świecie. W Europie najczęściej przypadków występowania dni upalnych pojawia się podczas sytuacji wyżowych, kiedy adwekcja mas powietrza jest dość słaba. Wówczas silnie rozbudowane wyży nad Europą Środkową oraz Północną blokują dopływ chłodnego powietrza z ośrodków niżowych znad Oceanu Atlantyckiego i znad Rosji.

Fale upałów występują również, kiedy rozległe ciepłe obszary niżowe występują nad Europą Zachodnią i Północną, zaś nad Europą Południową rozciąga się układ wysokiego ciśnienia, co powoduje napływ gorącego powietrza z południa Europy (rys. 1).

Fale upałów w Polsce

Występowanie fal upałów w naszym kraju wykazuje wyraźne zróżnicowanie czasowe i przestrzenne. Dni upalne występują głównie w okresie od czerwca do sierpnia. Około 50% przypadków występuje w lipcu. Jedynie nad morzem wartości te nie przekraczają 30°C. Wyraźny jest tu ochładzający wpływ Morza Bałtyckiego, który przyczynia się do zmniejszenia wartości temperatury powietrza, w tym również temperatury maksymalnej.



Ryc. 1. Sytuacja synoptyczna nad Europą dnia 24.07.2010 r., źródło: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>

Światowy rekord temperatury to $+56,7^{\circ}\text{C}$ w cieniu, odnotowany w Dolinie Śmierci (Kalifornia, USA) dnia 10 lipca 1913 r.

Najwyższą temperaturę w Europie 48°C zanotowano w Atenach 10.07.1977 r.

Najwyższą średnioroczną temperaturę $34,4^{\circ}\text{C}$ odnotowano w Dallol w Etiopii w latach 1960-1966.

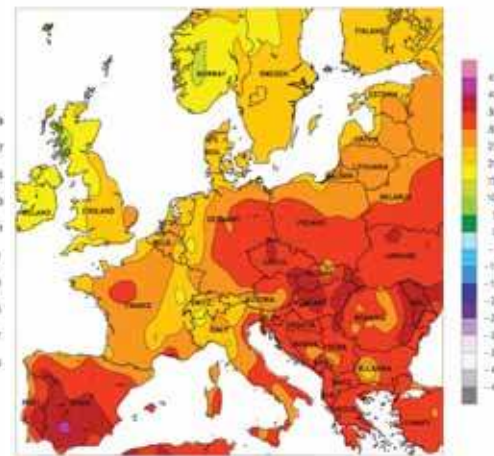
Najwyższa przygruntowa temperatura $70,7^{\circ}\text{C}$ zanotowano na pustyni Lut w Iranie w 2005 r.

Polski rekord temperatury to $+40,2^{\circ}\text{C}$ w cieniu, zanotowany 29 lipca 1921 r. w Prószkowie koło Opola.

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Rekordy_klimatyczne



Anomalie temperatury w Europie w okresie 2-8 sierpnia 2015,
źródło: NOAA



Wartości temperatury maksymalnej dla Europy w dniu 10 sierpnia 2015,
źródło: NOAA

Dni upalne dominują na nizinach (średnio 5-7 dni w ciągu roku), natomiast w pasie pobrzeży występują sporadycznie. Najbardziej odczuwalne są fale upałów w dużych miastach, gdzie temperatura powietrza jest zazwyczaj wyższa w porównaniu do terenów otaczających (miejska wyspa ciepła). Ponadto temperatura powietrza nocą jest niewiele niższa niż w ciągu dnia, gdyż uwalniane jest wówczas ciepło nagromadzone w sztucznych powierzchniach, np. budynkach, drogach.

Wzrost średniej temperatury powietrza obserwuje się również w Polsce. Rok 2003 został uznany przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej za najcieplejszy w historii (od 1781 roku). Od 2010 roku występuje seria okresów z ekstremalnie wysoką temperaturą powietrza – rekordy zostały pobite nawet w Zakopanem, gdzie termometry wskazały 33°C w cieniu (857 m n.p.m) oraz w wielu miastach Polski m.in. w Warszawie (37°C).

Skutki fal upałów

Szczególny wzrost zainteresowania falami upałów nastąpił po upalnym lecie w Europie w 2003 roku. Gwałtowne ocieplenie zostało wywołane wówczas na skutek zmniejszonej aktywności ośrodka wysokiego ciśnienia na zachodzie kontynentu. Największe skutki odczuła Francja, gdzie temperatura doszła do 44°C . W wyniku upału zmarło tam około 15 000 osób. Wysokie liczby zgonów odnotowano także w Portugalii, Szwajcarii, czy też we Włoszech.

Tab. 1. Pięć najbardziej niebezpiecznych fal upałów

Rok	Region	Liczba ofiar śmiertelnych
2003	Europa	71 310
2010	Rosja	55 736
2006	Europa	3 418
1998	Indie	2 541
2015	Indie	2 500

Fale upałów są zjawiskiem rzadkim, jednak biorąc pod uwagę zmiany globalnej temperatury powietrza mogą pojawiać się częściej i trwać dłużej, co w niekorzystny sposób wpłynie zarówno na człowieka i jego działalność, jak i na środowisko naturalne. Najczęstsze skutki fal upałów to uszkodzenia torów kolejowych, dróg, wysychanie ściółki

leśnej (co prowadzi do pożarów), susza atmosferyczna, hydrologiczna i glebowa, zakłócenia w dostawach energii elektrycznej, a dla człowieka – omdlenia, problemy z krążeniem krwi, udar cieplny.

Niemieccy i hiszpańscy naukowcy opublikowali w czasopiśmie „Environmental Research Letters” wyniki badań, które wskazują, że do 2020 roku częstość występowania fal upałów wzrośnie dwukrotnie, a do 2040 r. – czterokrotnie. Również w Polsce fale upałów będą coraz częstsze, głównie w województwach zachodnich, południowych i centralnych. Letnie ekstremalne fale upałów, których doświadczyliśmy do tej pory, mogą być ledwie przedsmakiem tego, co nas czeka w przyszłości – dodaje współautor pracy Jascha Lehmann.



Foto – Fotolia

LITERATURA:

- Kossowska-Cezak U., 2003, Współczesne ocieplenie a liczba dni charakterystycznych. *Balneologia Polska*, 45, 1-2, 92-100
- Kuchcik M., 2001, Mortality in Warsaw: is there any connection with weather and air pollution?, *Geographia Polonica*, 74, 1, s. 29-45
- Kuchcik M., 2006, Fale upałów w Polsce w latach 1993-2002, *Przegl. Geogr.*, 78, 3, 397-412
- Owczarek M., 2012, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie termicznych fal ciepła i fal chłodu w Polsce, 1966-2008, [w:] Bielec-Bąkowska Z., Łupikasza E., Widawski A. (red.), Rola cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu klimatu, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, 219-234
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa
- Szymanowski M. i in., 2012, *Atlas temperatury powietrza w Polsce: Studium metodyczne*, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Warszawskiego, Wrocław

Klimatyczne wahadło

Z globalnego ocieplenia w ochłodzenie?

■ Wstępne prognozy mówią, że po najcieplejszym lecie w historii polskich pomiarów meteorologicznych czeka nas zima bardziej mroźna od tych, które pamiętamy z ostatnich lat. Dla niektórych tego rodzaju odchylenia od trendów wzrostu temperatury są przejawem stabilizacji procesu globalnego ocieplenia. Co więcej – co jakiś czas w dyskusji na ten temat spotkać się można z opinią o czekającym nas ochłodzeniu klimatu. Czy zjawisko zwane dziś małą epoką lodową może powtórzyć się w najbliższej przyszłości?

Krzysztof Trojan

Magister geografii, Uniwersytet Jagielloński

Głosy mówiące o możliwości wystąpienia chłodniejszych warunków klimatycznych (dotyczących głównie północnej półkuli) nie należą do nowości. Siegają one jeszcze lat 70., a oparte były na rejestrowanym przed 1970 r. wyraźnym obniżeniu globalnej temperatury, a także na analizie takich czynników jak roczny przyrost pokrywy śnieżnej czy wartości insolacji powierzchni Ziemi. Od tamtego czasu przewagę uzyskały jednak prognozy wieszczące ocieplenie klimatu, podparte analizą powtarzających się, dodatnich anomalii termicznych. Jak zatem traktować doniesienia o takich wynikach badań jak np. przeprowadzonych przez naukowców z Northumbria University (Newcastle), a które przewi-

dują wyraźne ochłodzenie już w perspektywie najbliższych 20-30 lat?

Mała epoka lodowa

Przewidywania naukowców z brytyjskiego uniwersytetu oparte są na analizie pary fal magnetycznych występujących we wnętrzu Słońca, a które odpowiadają za jego 11-letnie, cykliczne zmiany aktywności. W okresie między 2030 a 2050 r., kiedy obydwie fale rozdzielą się na przeciwne bieguny naszej gwiazdy, nastąpić ma znaczące osłabienie jego pola magnetycznego, a w efekcie – spadek emitowanego promieniowania.

Znane są też wcześniejsze badania mówiące, że najniższe wartości promieniowania słonecznego przypadną na połowę XXI w., kiedy średnie temperatury zimy w Warszawie mogą spaść nawet do -7°C . Przewidywana anomalia może osiągnąć poziom tzw. minimum

Maundera, czyli fazy bardzo niskiej aktywności słonecznej, która przypadła na okres od połowy XVII do początku XVIII wieku.

To właśnie z tym zjawiskiem astronomicznym oraz z późniejszym minimum Daltona z przełomu XVIII i XIX w., w największym stopniu wiąże się wystąpienie największego ostatniego ochłodzenia klimatycznego, zwanego małą epoką lodową (w skrócie: MEL). Mała epoka lodowa rozciąga się w czasie od XIV w. do połowy wieku XIX i jak do tej pory została najlepiej udokumentowana dla obszaru północnego Atlantyku (zwłaszcza w Europie i zachodniej Ameryce Północnej).

Określenie „epoka lodowa” może być mylące, ponieważ sugeruje występowanie warunków podobnych do tych, jakie panowały chociażby w fazie ostatniego glacjału. Rzeczywistość prezentowała się dużo łagodniej, niemniej anomalie termiczne, jakie

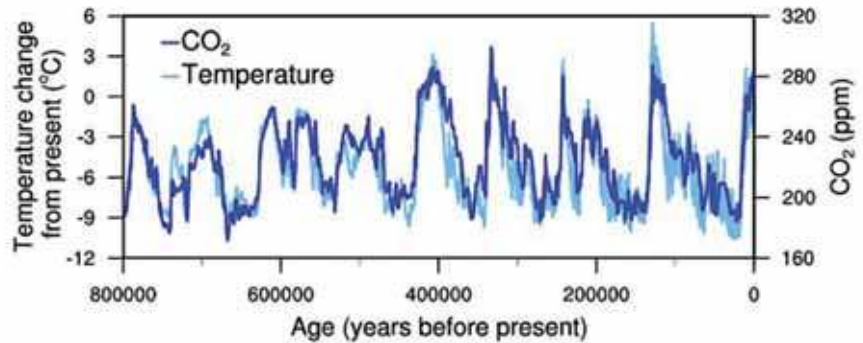
miały miejsce w tamtym czasie były bardzo wyraźne. Po okresie tzw. średniowiecznego optimum klimatycznego, począwszy od XIV w. w kronikach historycznych notowane były coraz częstsze powodzie i rozległe podtopienia w dolinach rzecznych. Wzrost sum opadów (w tym śnieżnych) przy obniżającej się stopniowo temperaturze sprzyjał transgresji lodowców górskich w Alpach i na Półwyspie Skandynawskim, a także miejscami w południowej części globu (Andy Patagońskie, Nowa Zelandia).

Pokrywa lodu pływającego wokół Islandii rozprzestrzeniła się w sposób utrudniający żeglugę morską, a na odciętej od świata Grenlandii, na skutek pogorszenia się warunków klimatycznych, nastąpił stopniowy zanik osadnictwa wikingów. W czasie bardziej mroźnych zim zamarzały m.in. hollenderskie kanały czy londyńska Tamiza. Większe było również zlodzenie Morza Bałtyckiego – możliwość przedostania się wzdłuż brzegów po zamarzniętym morzu z Meklemburgii aż po Zatokę Ryską, z perspektywą zatrzymania się w zbudowanej na lodzie karczmie, prezentuje chociażby „Carta Marina” autorstwa Olaus Magnusa z 1527 r.

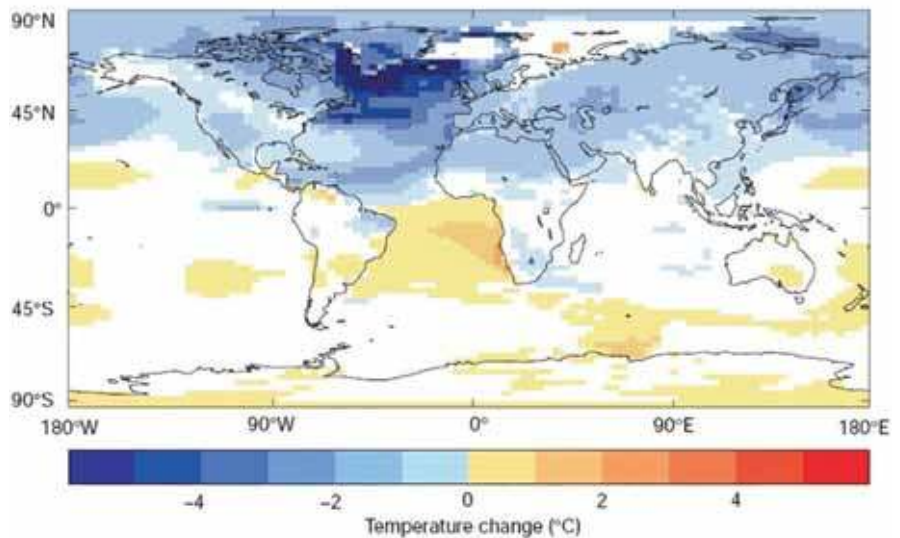
Transport po zamarzniętym morzu był możliwy prawdopodobnie w Zatokach: Botnickiej i Fińskiej, w okolicach Bornholmu oraz w rejonie Cieśnin Duńskich, dzięki czemu w 1657 r. król szwedzki Karol X był w stanie przeprowadzić swoje wojska po bałtyckim lodzie w trakcie inwazji na Danię.

W trakcie MEL średnia roczna temperatura powietrza półkuli północnej uległa obniżeniu o 1°C. Na skutek przesunięcia się na południe granicy uprawy zbóż, większość terenów północnej Europy w rejonie Wysp Brytyjskich czy Skandynawii doświadczyła kryzysu rolnictwa. Spowodowane ochłodzeniem skrócenie okresu wegetacyjnego, czasem nawet o cały miesiąc, przyczyniło się do występowania coraz częstszych lat nieurodaju. Miejscowe załamanie produkcji rolniczej, powtarzające się wybuchy epidemii i klęski głodu uważane są za jedną z przyczyn wielu konfliktów zbrojnych, jakie miały miejsce w czasach nowożytnych do początku XIX w. – z rewolucją francuską łącznie.

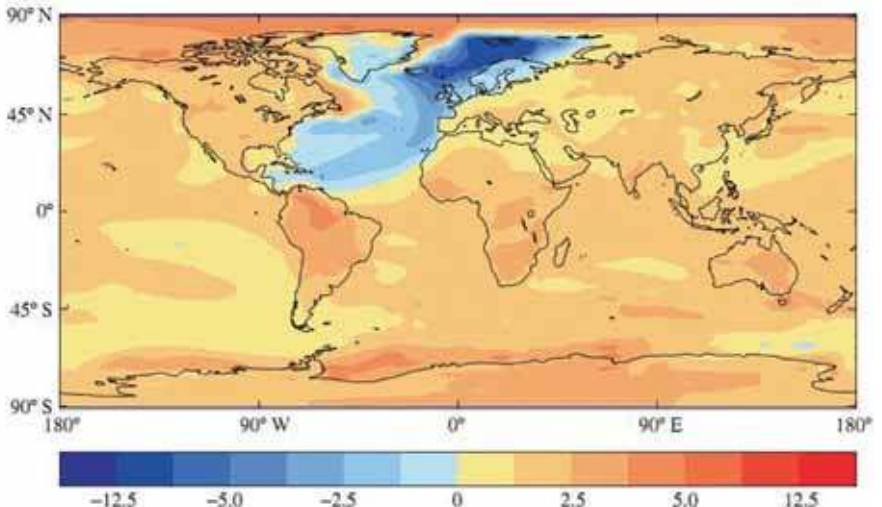
Z drugiej strony panująca sytuacja wymusiła ukierunkowanie się państw europejskich na zagraniczną wymianę towarów i przyczyniła się do rozwoju handlu. To właśnie w XVI i XVII w. Polska uchodziła za „spichlerz Europy”, eksportując wielkie ilości zbóż.



Relacja między stężeniem CO₂ i globalną temperaturą w ciągu ostatnich 800 tys. lat, źródło: www.ncdc.noaa.gov



Prognoza wpływu zatrzymania cyrkulacji termohalinowej na klimat, źródło: Rahmstorf S. 2002, Ocean circulation and climate during the past 120,000 years, „Nature”, 419, s. 207-214

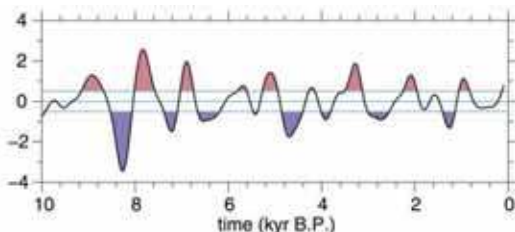


Prognoza wpływu zatrzymania cyrkulacji termohalinowej w połowie XXI w. na klimat, źródło: Rahmstorf S. 2002, Ocean circulation and climate during the past 120,000 years, „Nature”, 419, s. 207-214

Oceaniczny mechanizm chłodzący

Czy jednak aktywność słoneczna jest jedynym czynnikiem, który spowodował tak wyraźne zmiany klimatu małej

epoki lodowej? Oczywiście należy mieć na uwadze, że spadek nasłonecznienia pośrednio przekłada się też na mniejszy ubytek biegunowych pokryw lodowych w sezonie letnim i większy przyrost w okresie chłodnym – to zaś powoduje



Holocenne fazy anomalii termicznych,
źródło: Wanner H. i in., 2011, Structure
and origin of holocene cold events,
“Quaternary Science Reviews”, 1-15

postępujące zmiany bilansu cieplnego Ziemi (mniejszy procent pochłanianego ciepła), podtrzymując tendencję ochładzającą.

Faktem jest jednak, że trwająca od ok. 40 lat tendencja wzrostu temperatury powierzchni Ziemi znajduje się w opozycji do aktualnej fazy spadku aktywności Słońca (obecnie najniższej od ponad 100 lat). Dlatego też naukowcy zwracają uwagę na inne mechanizmy, które mogły wzmocnić efekt spowodowany minimum Maundera. Jednym z nich mogło być osłabienie cyrkulacji termohalinowej północnego Atlantyku (w szerszym rozumieniu tzw. południkowej cyrkulacji wymiennej – Meridional Overturning Circulation, MOC), w której olbrzymie masy wody przemieszczają się w wyniku różnic w ich temperaturze i zasoleniu. Odpowiada ona za transfer ciepła równikowego w wyższe szerokości geograficzne, a także za mieszanie się wód przypowierzchniowych z głębinowymi (łącznie ze związaną z tym wymianą gazów, np. CO₂).

Obniżenia w intensywności MOC występowały nie tylko w okresie MEL (o 10-30% w stosunku do stanu obecnego), ale również w trakcie ostatniego glacjału podczas tzw. zdarzeń Dansgarda-Oeschgera. Były to gwałtowne anomalie termiczne, występujące raz na 1500 lub kilka tysięcy lat. Rozpoczęły się one gwałtownym wzrostem średnich rocznych temperatur powietrza w rejonie północnego Atlantyku, nawet o 5°C w czasie zaledwie kilku dekad (czyli na znacznie większą skalę niż obecnie). Natomiast po fazie cieplej następowało kilkusetletnie ochłodzenie.

W okresie poprzedzającym kolejną fazę ciepłą miały miejsce występujące co ok. 5-15 tysięcy lat zdarzenia Heinricha, kiedy to wielkie ilości odrywających się gór lodowych dryfowały daleko na południe (było to możliwe dzięki



Zamarznięta Tamiza w Londynie, obraz A. Hondiusa, 1677 r., źródło: Wikipedia

większemu zasięgowi chłodniejszych wód polarnych). Tam roztopiały się, dostarczając dużych ilości chłodnych i słodkich wód, powodujących finalne zamarcie cyrkulacji MOC. Wówczas jednak większa ilość ciepła mogła być transportowana w stronę Antarktydy, wymuszając jej topnienie. Tym samym na skutek zachwiania stratyfikacji wód, zakłóceniu ulegał Antarktyczny Prąd Głębinowy, co umożliwiałoby ponowne odtworzenie się prądów cyrkulacyjnych w północnej części Atlantyku.

Gwiazdy, wulkany i arktyczna „lodówka”

Ponieważ energia systemu MOC częściowo ma swoje źródło w cyrkulacji stałych wiatrów, możliwe jest, że to właśnie zmiany ich układu mogły przekładać się na wielkoskalowe zakłócenia termiczne naszego globu. A to z kolei mogło mieć miejsce np. w wyniku przesunięcia międzyzwnikowej strefy konwergencji, której położenie uzależnione jest od nachylenia orbity naszej planety względem Słońca. A zatem potwierdzałoby się tutaj kluczowe znaczenie okresowych zmian natury astronomicznej, takich jak dobrze udokumentowane cykle Milankovicia (okres precesji – 26 tys. lat; nachylenia osi ziemskiej do ekliptyki – 41 tys. lat; zmiany mimośrodów orbity – 100 tys. lat).

Część naukowców twierdzi, że czynnikiem mogącym pogłębiać skutki anomalii astronomicznych jest wzmożona aktywność wulkaniczna. Jedne z ostatnich badań sugerują natomiast połączenie koncepcji „wulkanicznej” i „oceanicznej”. Według nich MEL miała być zapoczątkowana przez cztery niezwykle silne erupcje wulkaniczne, mające miejsce w okresie zaledwie 50 lat pod koniec XIII w. To zaś zapoczątkowało samonapędzający się mechanizm zmian zachodzących w „globalnej



Wybuchy wulkanów pogłębiają anomalie pogodowe

lodowce” Arktyki, w znacznej mierze sterującej klimatem półkuli północnej. Ochładzający wpływ pyłów wulkanicznych mógł spowodować ekspansję lodowców Grenlandii, w tym otaczającej ją pokrywy lodu morskiego. Po rozprzestrzenieniu się w bardziej południowe rejony Atlantyku, lód zaczął topnieć, uwalniając duże ilości zimnych wód, które z uwagi na mniejszą gęstość i zasolenie nie podlegały mieszaniu z wodami głębszymi. Utworzyły one na powierzchni oceanu zimną warstwę, przyczyniając się tym samym do sprzężenia zwrotnego skutkującego długotrwałym utrzymywaniem się chłodniejszych warunków klimatycznych w rejonie północnego Atlantyku.

Trudno jednoznacznie określić czy obecne doniesienia mówiące o alarmującym topnieniu lodów Arktyki i ochładzaniu się otaczających go wód mogą mieć podobny skutek, czy też wynikają tylko z negatywnej fazy meteorologicznej oscylacji północnoatlantyckiej i coraz częstszych wlewów ciepłych wód z niższych szerokości geograficznych. Warto mieć na uwadze, że w otocze-

niu północnego bieguna Ziemi występowały już w holocenie długie okresy o temperaturze wyższej niż obecnie, a wrażliwość tego regionu na zmiany w globalnym transferze ciepła skutkowała już wcześniej anomaliami z zakresu 1-3°C w trakcie zaledwie kilku dekad.

Czy zaskoczą nas mrozy?

Naczelnym pytaniem pozostaje, czy notowane już wcześniej chłodne anomalie termiczne mogą mieć miejsce w najbliższej przyszłości. Odtwarzając holoceniczne warunki klimatyczne stwierdzono, że w rejonie północnego Atlantyku w ciągu ostatnich 11,3 tys. lat miały miejsce wyraźne fazy ochłodzeń powtarzające się co ok. 500-1500 lat. Są to tzw. zdarzenia Bonda, które korelują z fazami obniżonej globalnej temperatury powietrza (o niespełna 1°C), a także z anomaliami przyrodniczymi i znaczącymi zdarzeniami historycznymi. Przesunięcie się międzyzwrotnikowej strefy konwergencji ok. 4200 BP i związane z tym zmiany klimatu Azji mogły przyczynić się do upadku egipskiego Starego Państwa, imperium akadyjskiego (Mezopotamia) oraz państwa Harapy (dolina Indusu).

Z kolei ok. 1400 BP zdarzenie Bonda powiązane jest z okresem wędrówek ludów, kiedy w Europie miały miejsce pogorszenie klimatu, długotrwałe susze oraz klęski głodu, natomiast w Ameryce Środkowej – upadek cywilizacji Majów. W tym okresie występowały również epizody zamarzania Morza Czarnego, zlodzenia dolnego Nilu czy opady śniegu w strefie Europy śródziemnomorskiej.

Możliwość powtórzenia się zdarzeń Bonda czy Dansgarda-Oeschgera w niedalekiej przyszłości podważana jest przez fakt ocieplenia się wód oceanicznych w skali całego globu, podczas gdy wymienione mechanizmy opierały się na odwróceniu strumienia ciepła w systemie cyrkulacyjnym – a zatem ochłodzeniu półkuli północnej odpowiadało ogrzewanie przeciwnej półkuli. Istnieją jednak modele klimatyczne mówiące, że nawet przy obecnym trendzie możliwe jest ochłodzenie obszaru północnego Atlantyku w połowie XXI w., jednak byłoby ono ograniczone przede wszystkim do Europy Północnej. Również i w tym przypadku podkreślany jest wpływ ogrzewania się oceanów na wzmocnienie stratyfikacji wód i utrudnienie ich mieszania – czyli osłabienie cyrkulacji MOC, w tym Prądu Zatokowego, oraz ustanie związanej z nią atmosferycznej cyrkulacji północnoatlantyckiej.

Staje się więc jasne, dlaczego w prognozowaniu klimatycznym coraz większą uwagę zwraca się na badania oceanów, które pochłaniają 30% antropogenicznego CO₂, a ponadto są olbrzymim magazynem tego gazu (głównie wody przydenne), jak również głównym rezerwuarem ciepła w globalnym systemie. Na ogrzewanie wód wszechoceanu zużywane jest aż 90% energii efektu cieplarnianego, a ogrzanie całej atmosfery o 1°C wymaga tyle energii, ile ogrzanie warstwy wód oceanicznych grubości 2,5 m. Stąd pochodzi hipoteza, że wzrost ilości CO₂ w atmosferze jest wynikiem emisji oceanicznej, spowodowanej jego ogrzewaniem. Jej przeciwnicy dowodzą, że

przeczy temu obserwowany wzrost stężenia CO₂ w wodach morskich (zakwaszanie oceanów), dowodzący przewagi pochłaniania tego gazu nad jego emisją do atmosfery. Tutaj z kolei można przytoczyć wyniki badań paleoklimatycznych, które potwierdzają wzrost stężenia oceanicznego CO₂ w trakcie powtarzających się globalnych ociepleń w dalekiej przeszłości – czyli w czasach, kiedy nie mogło być mowy o antropogenicznej emisji.

Wbrew globalnemu ociepleniu?

Perspektywa chłodnego wahnięcia klimatycznego może być przyczynkiem do nieco opozycyjnego głosu w dyskusji o roli człowieka w powodowaniu zmian na naszej planecie. Wszystkie przytoczone hipotezy i prognozy muszą uwzględniać duże ilości zmiennych działających w różnych skalach czasowych, a niektóre mechanizmy sterujące klimatem nie są jeszcze do końca poznane. Dlatego wymagają one ciągłych badań i weryfikacji, co zdaje się być jednym z głównych wniosków stanowiska Komitetu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w sprawie zagrożenia globalnym ociepleniem (2009 r.).

Dokument ten wyróżnia się sceptycyzmem względem przypisywaniu człowiekowi decydującej roli w zmianach klimatycznych kilku ostatnich wieków, a zwłaszcza ostatnich 50 lat. Jako argument przytaczane są m.in. znane z historii Ziemi przykłady licznych wahnięć termicznych i ich skutków, które są nieodłącznym elementem jednej z głównych cech systemu klimatycznego – zmienności.

Wydaje się więc, że część uczonych nadal sugeruje ostrożność w przypisywaniu czynnikiem antropogenicznemu roli decydującej o obecnym stanie klimatu. Zwracają oni uwagę, że nawet wiodące pod względem naukowym i opiniotwórczym raporty IPCC (International Panel on Climate Change) określały dotąd tę wersję jako „wysoko prawdopodobną”, a w ostatnim raporcie z 2014 r. określono, że antropogeniczna emisja gazów cieplarnianych odpowiada „w stopniu niezwykle prawdopodobnym” (90%) za wzrost globalnej temperatury „w ponad 50%”. W tym kontekście sceptycy zwracają uwagę, że oddziaływanie człowieka na klimat w stopniu decydującym, nadal pozostaje naukową hipotezą, która w pewnym momencie przekształciła



Fragment mapy Carta Marina O. Magnusa. Widoczny jest lód na Bałtyku z domkami oraz jeźdźcie i tyżwiarze w Zatoce Botnickiej, źródło: www.wdl.org

się w ogólnie obowiązujący, naukowy, gospodarczy, a także społeczny paradygmat.

Perspektywa nowej, małej epoki lodowej może być inspiracją do interesujących dyskusji prowadzonych w gremiach klasowych. Nie muszą one prowadzić do jednoznacznej konkluzji, ale przez ukazanie różnicowanych hipotez mogą wskazać uczniom drogę do samodzielnych prób weryfikacji tez, z którymi spotykają się w doniesieniach medialnych. Zasadniczy głos należy jednak do naukowców i decydentów państwowych, którzy już w grudniu spotkają się na katowickim szczycie klimatycznym ONZ. Obecna sytuacja zmusza do działania, gdyż bez względu na kierunek zmian klimatu, ludzkość powinna się na nie przygotować.

LITERATURA I LINKI:

- www.iopan.gda.pl/~piskozub/klimat – seria wykładów dla doktorantów z cyklu „Klimat a ocean: wczoraj, dziś i jutro”
- www.cordis.europa.eu – Europejski System Informacyjny Badań i Rozwoju, informacje o dotowanych projektach badawczych UE:
- www.cordis.europa.eu/news/rcn/33206_pl.html, www.cordis.europa.eu/news/rcn/126818_pl.html
- www.zycieaklimat.edu.pl – artykuły popularnonaukowe o klimacie
- www.climatesignals.org – zbiór publikacji w tematyce klimatycznej
- www.jednaziemia.pl – portal Państwowego Instytutu Geologicznego, temat: „Zmiany klimatu w holocenie – ostatnie 11 700 lat”
- www.naukaoklimacie.pl – zasoby wiedzy oraz artykuły polemiczne dotyczące argumentów sceptycznych wobec zmian klimatycznych
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M., 2007, *Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII – XXI wieku i ich przyczyny*, „Acta Agrophysica”, 9 (3), s. 555-570.
- Marks L., 2016, *Zmiany klimatu w holocenie*, „Przegląd Geologiczny”, 64 (1), s. 59-64.
- Marsz A., 2009, *Klimat Arktyki w późnym glacie i holocenie*, *Problemy Klimatologii Polamej*, 19, s. 33 – 79.
- Rutkowski M., 2016, *Globalne ocieplenie jako fenomen kulturowy*, „Przegląd Geologiczny”, 64 (1), s. 66-69.

- International Panel on Climate Change, 2018, *Ocieplenie globalne o 1,5°C – raport specjalny*, 48. sesja IPCC, 4 październik 2018, Incheon, Korea Południowa.
- International Panel on Climate Change, 2014, *Climate change 2014. Synthesis report*, Genewa, Szwajcaria.
- <https://www.colorado.edu/today/2012/01/30/new-cu-led-study-may-answer-long-standing-questions-about-enigmatic-little-ice-age>
- <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C397282%2Cfizycy-przez-ocieplenie-oceanu-zmienia-sie-nie-do-poznania.html>
- <https://wlaszosczedzanie.pl/z-badan-wynika-ze-nie-ma-dowodow-na-to-ze-mala-epoka-lodowcowa-w-xvii-wieku-sprawdzila-na-polske-katastrofe-gospodarcza/>
- <http://doskonaleszare.blox.pl/2012/03/Karczmy-na-Baltyku.html>
- <https://www.northumbria.ac.uk/about-us/news-events/news/2015/07/northumbria-academic-says-little-ice-age-could-hit-earth-in-2020/>
- <https://www.ncdc.noaa.gov/abrupt-climate-change/Heinrich%20and%20Dansgaard%E2%80%93Oeschger%20Events>
- http://www.planetaziemia.pan.pl/GRAF_aktual-2009/11_Stanowisko_KNG.pdf

Ekstremalne opady

Nowa analiza danych ze stacji pogodowych na całym świecie wykazała, że połowa całkowitych rocznych opadów na całym świecie spada w zaledwie 12 dni. Według naukowców ten nierówny rozkład opadów będzie coraz bardziej się pogłębiał wraz z postępującymi zmianami klimatu.

Z modeli klimatycznych wynika, że do końca tego stulecia połowa rocznych opadów będzie przypadała już tylko na 11 dni – prognozują badacze w publikacji na łamach „Geophysical Research Letters”, czasopiśmie Amerykańskiej Unii Geofizycznej (DOI: 10.1029/2018GL080298).

Wcześniejsze badania pokazywały, że w przyszłości wraz z ocieplaniem się klimatu czeka nas zarówno więcej ekstremalnych zjawisk pogodowych, jak i niewielki wzrost rocznej sumy opadów. W nowym badaniu naukowcy próbują ustalić zależności między tymi dwoma trendami.

„Odkryliśmy, że spodziewane zwyczajki (sumy opadów – przyp. PAP) mają miejsce, gdy już jest bardzo mokro – najbardziej deszczowe dni dostają jeszcze więcej deszczu” – mówi Angeline Pendergrass z amerykańskiego Narodowego Centrum Badań Atmosferycznych, która kierowała badaniem.

Naukowcy badający pogodę nie porozumieli się jeszcze co do dokładnej definicji „ekstremalnego opadu” i sposobów jego pomiaru. Pendergrass postanowiła więc sięgnąć po prostą metodę: policzyć, ile dni w roku wystarczy, by spadła połowa całkowitej rocznej sumy opadów. Wykorzystała do tego dane z 185 naziemnych stacji pogodowych na całym świecie z 16 lat, od 1999 do 2014 roku i porównała je z danymi z satelity naukowego TRMM (Misja Pomiaru Deszczów Tropikalnych) z tego samego okresu.

„Spodziewałam się, że wyjdzie więcej dni, może miesiąc. Ale mediana z wszystkich dostępnych stacji pogodowych pokazała, że to tylko 12 dni” – mówi badaczka.

Dla prognozy na kolejne dziesięciolecie wykorzystała wraz ze współpracownikami symulacje 36 głównych modeli klimatycznych, zawierających dzienne sumy opadów. Wynika z nich, że roczna suma opadów w stacjach badawczych będzie nieznacznie rosła. Ta zwyczajka nie rozkłada się jednak równomiernie na cały rok – jej połowa przypada na zaledwie sześć dni.

Całkowite opady też będą stawały się coraz bardziej nierównomiernie rozłożone w skali roku, wskazują naukowcy. Do końca stulecia ich połowa przypadnie już na zaledwie 11 dni.

„Choć modele klimatu prognozują tylko niewielki wzrost całkowitych opadów, ustaliliśmy, że te nadwyżki wezmą się z kilku zjawisk o dużej ilości deszczu, i tym samym przyniosą więcej negatywnych konsekwencji” – ostrzega Pendergrass.

Oznacza to powodzie i spowodowane nimi zniszczenia, co – jak zaleca badaczka – należy uwzględnić w przyszłym planowaniu przestrzennym, organizacji służb ratunkowych i zarządzaniu zasobami wodnymi. Zmartwień przybędzie też rolnikom, których produktywność jest najwyższa, gdy opady deszczu rozkładają się równomiernie podczas okresu wegetacyjnego.

(PAP – Nauka w Polsce)



Foto Adobe Stock

Dlaczego zmienia się poziom morza?

Jedną z najpoważniejszych konsekwencji ocieplenia klimatu jest wzrost światowego poziomu morza. Obecnie najczęściej słyszymy o podwyższeniu lustra wód oceanicznych wywołanym działalnością człowieka i związanym z nią topnieniem lądolodów i lodowców. Przyczyn wzrostu poziomu morza jest jednak więcej.

Paweł Wolniewicz

Instytut Geologii, UAM Poznań

Przyczyny te działają w sposób bardziej skomplikowany, a okresy oddziaływania poszczególnych czynników są ekstremalnie zróżnicowane.

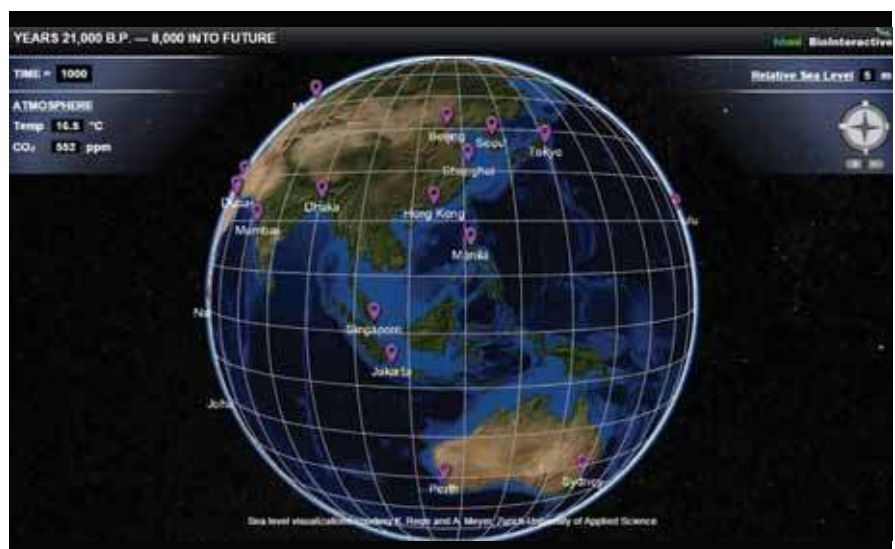
Jeden fakt pozostaje poza wszelką dyskusją – światowy poziom wód oceanicznych zmienia się nieustannie, zmieniał się też cały czas w przeszłości geologicznej. Człowiek nie ma z tym zjawiskiem żadnego związku, choć może on swoją działalnością zakłócać działanie naturalnych mechanizmów. Czynniki, które powodują ciągłe wahania poziomu morza, są bardzo zróżnicowane. Przeanalizujemy je za chwilę. Okres działania każdego z tych czynników jest inny, ale większość z nich ujawnia się w geologicznej skali czasu, to jest na przestrzeni tysięcy i milionów lat. Wyjątek stanowią niektóre cykle wahań poziomu morza związane ze względным położeniem astronomicznym Ziemi, Księżyca oraz Słońca, w tym między innymi pływy.

Koniec stabilizacji

Olbrzymia skala czasu, w której działają czynniki odpowiedzialne za zmiany światowego poziomu morza powoduje, że możliwe są dłuższe, liczące nawet tysiące lat, okresy stabilizacji. Ludzkość doświadczyła tego w ciągu minionych sześciu tysięcy lat, kiedy to lustro wód wszechoceanu pozostawało na niemal niezmiennym poziomie. Umożliwiło to rozkwit cywilizacji, ale z drugiej strony uzależniło ją w niebezpieczny sposób od małej stabilizacji, która nie będzie trwała wiecznie. Na przestrzeni



Rys. 1. Rejon południowo-wschodniej Azji 20 tys. lat temu. Niemal wszystkie wyspy Indonezji stanowiły część kontynentalnej Azji. Wizualizacja z programu Earth Viewer (<http://www.hhmi.org/biointeractive/earthviewer>)



Rys. 2. Rejon południowo-wschodniej Azji w niedalekiej przyszłości, gdy poziom morza wzrośnie o kilka metrów. Widoczne wyraźne zmiany przebiegu linii brzegowej. Wizualizacja z programu Earth Viewer

setek lat jedno z najbardziej pożądanych lokalizacji miast znajdowały się na wybrzeżach, zwłaszcza w pobliżu ujść wielkich rzek. Miejsca takie gwarantują wprawdzie wzrost gospodarczy, ale z drugiej strony są najbardziej podatne na skutki wahań poziomu morza.

Okres stabilizacji światowego poziomu morza, przypadający na czas rozwoju cywilizacji ludzkiej, prawdopodobnie dobiega końca. Trudno przewidzieć rozwój sytuacji, jednak niemal wszystkie modele zakładają wzrost poziomu morza o co najmniej kilkadziesiąt centymetrów w ciągu kolejnego stulecia. Są to realne wartości. Pokazuje to chociażby historia zmian u schyłku plejstocenu i we wczesnym holocenie, między 20 a 6 tysięcy lat temu. Światowy poziom morza wzrósł wówczas o ponad sto metrów! Aby uzmysłowić sobie skalę tego wydarzenia, warto obejrzeć mapy południowo-wschodniej części Azji, gdzie zmiany przebiegu linii brzegowej były najbardziej dramatyczne. Większość dzisiejszych wysp Indonezji była 20 tysięcy lat temu fragmentem lądowej części Azji. Tak niski poziom morza spowodowany został uwiecznieniem ogromnych ilości wody w lądolodach znajdujących się na północnej półkuli, między innymi na terenie Polski, gdzie pokrywa lodowa osiągnęła okolice Leszna.

Gwałtowne podwyższenie lustra wód morskich, które nastąpiło później, wyraźnie pokazuje nam, że prognozy zakładające podwyższenie lustra wód morskich o kilkadziesiąt centymetrów nie są oderwane od rzeczywistości. Zmiany o takiej skali mogłyby okazać się katastrofalne dla ludzkości, ale nie

byłyby niczym niezwykłym w dziejach Ziemi.

Problemy pomiarowe

Analizując zmiany światowego poziomu morza trzeba pamiętać, że wszystkie liczby podawane przez naukowców odnoszą się jedynie do uśrednionych wartości. W rzeczywistości skala podwyższenia lustra wody może być zupełnie inna w większości punktów na kuli ziemskiej. Oprócz liczb ważne są więc również dane dotyczące realnych zmian poziomu morza na wybrzeżach każdego kontynentu (rys. 3). W ciągu ostatnich dwudziestu lat poziom morza wzrastał najszybciej w rejonie północnej Australii, Filipin oraz Japonii. Lustro wody wznosiło się tam nawet kilka milimetrów rocznie. W innych rejonach, na przykład na Atlantyku, wzrost ten był niemal niezauważalny. Różnice są więc znaczne, a dodatkowo trzeba wziąć pod uwagę duże trudności związane z szacowaniem rzeczywistych zmian poziomu morza. Wynikają one z wielu czynników, a jeden z nich stanowią pionowe ruchy fragmentów skorupy ziemskiej, nazywane ruchami izostatycznymi. Jeżeli kontynent ulega systematycznemu, choć powolnemu wypiętrzaniu, to ewentualny wzrost poziomu oceanów nie będzie odczuwalny na jego wybrzeżach. Wręcz przeciwnie – poziom morza mierzony na obrzeżach lądu może się obniżać. Taka sytuacja ma miejsce w rejonie Skandynawii oraz Kanady. Jeszcze dwadzieścia tysięcy lat temu znajdował się tam lądolód. Po jego ustąpieniu skorupa kontynen-

talna spoczywająca na znajdującej się głębiej, plastycznej astenosferze zaczęła się unosić, rekompensując w ten sposób utratę obciążenia. Lądolód wycofywał się stosunkowo szybko, to jest w czasie liczącym w tysiącach lat. Ruchy izostyczne działają jednak o wiele wolniej. W efekcie obszary, z których ustąpił lądolód ulegają długotrwałemu, powolnemu wynoszeniu, które rekompensuje wzrost poziomu oceanów spowodowany topnieniem pokryw lodowych.

Ruchy izostyczne nie są jedyną przyczyną trudności w szacowaniu wzrostu poziomu morza. Pomijając kwestie czysto techniczne, związane z rozwojem metod pomiarowych oraz problemami w określaniu bezwzględnego poziomu morza na kuli ziemskiej, która posiada dość skomplikowany kształt geoidy, istnieje szereg innych czynników znoszących lub wzmacniających skutki wzrostu poziomu morza. Stanowią one skutek procesów endo- i egzogenicznych, które nieustannie rzeźbią i zmieniają oblicze naszej planety. Powodują one, że obliczenie aktualnych zmian poziomu morza (nie mówiąc o przewidywaniu przyszłych) jest czynnością najeżoną trudnościami.

Wszystkie te problemy dotyczą tylko kwestii pomiaru poziomu morza. Osobne zagadnienie stanowią czynniki powodujące realny wzrost lub spadek lustra wody wszechoceanu. Jest ich co najmniej kilka.

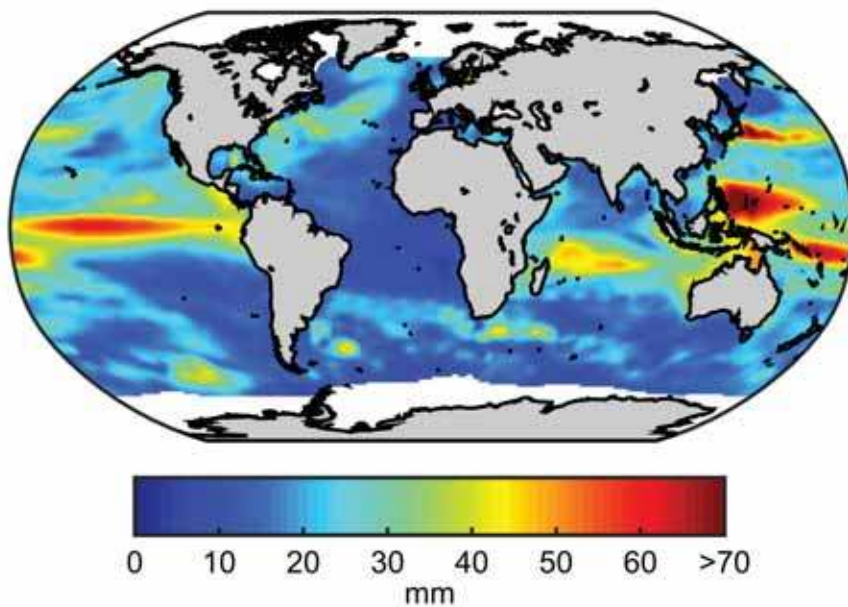
Przyczyny zmian

Najbardziej oczywisty czynnik powodujący zmiany położenia lustra wody w skali globalnej to rozwój i zanik pokryw lodowych. Jest on wymieniany jako główna przyczyna wzrostu poziomu morza, który nastąpi w najbliższym stuleciu. Postępujące ocieplenie klimatu prowadzi do topnienia lądolodów, przede wszystkim na Grenlandii i Antarktydzie, a woda trafia do oceanów. Kurczenie się lub powstawanie pokryw lodowych wpływa na światowy poziom morza bardzo szybko, to jest nawet w skali setek lat. Co więcej, zmiany te mogą mieć bardzo dużą amplitudę, powodując wzrost lub spadek poziomu morza o więcej niż sto metrów, i to w przeciągu kilku tysięcy lat!

Pamiętając o wpływie pokryw lodowych na ilość wody w oceanach nie należy zapominać o drugim czynniku związanym z ociepleniem i ochłodzeniem klimatu. Objętość wody wzrasta wraz z jej temperaturą (z pominięciem



Foto Agencja AS



Rys. 3. Wzrost poziomu morza jest procesem nierównomiernym. Rejony, w których w latach 1993-2014 doszło do najszybszego podniesienia się lustra wody oznaczone są czerwoną barwą. Źródło: R. E. Kopp et al., 2015. Geographic Variability of Sea-Level Change. Curr Clim Change Rep 1, 192–204

zakresu pomiędzy 0 a 4°C). Oznacza to, że ocieplenie klimatu prowadzi do wzrostu światowego poziomu morza nawet wtedy, gdy nie dochodzi do jednoczesnego zaniku pokryw lodowych. Szacunki dotyczące wpływu rozszerzalności cieplnej wód oceanicznych na ich objętość różnią się znacznie, jednak wiele źródeł zakłada, że topnienie lodowców i lądolodów będzie miało w najbliższych latach mniej niż 50% udziału w ogólnym podwyższaniu się poziomu oceanów. Większe znaczenie będzie miała zatem rozszerzalność cieplna. Choć sam ubytek lodu sumarycznie prowadzi bowiem do większych zmian wysokości lustra wody,

to jednak zwiększanie objętości wody na krótką metę działa szybciej.

Topnienie pokryw lodowych, rozszerzalność cieplna, a także procentowy udział wody uwiecznionej w podziemnych poziomach wodonośnych oraz w jeziorach są czynnikami, które najszybciej (oczywiście w geologicznej skali czasu) doprowadzają do podwyższenia lub obniżenia światowego poziomu morza. Działają one na przestrzeni setek, tysięcy oraz dziesiątek tysięcy lat. Istnieją jednak jeszcze inne przyczyny zmian poziomu morza, których oddziaływanie jest o wiele wolniejsze, a stąd praktycznie niedostrzegalne w dziejach cywilizacji.

Czynniki te związane są przede wszystkim z powstawaniem skorupy ziemskiej na obszarach ryftów i grzbietów śródoceanicznych, a także z jej niszczeniem w rejonie stref subdukcji. Generowanie nowej skorupy wiąże się z wyrzucaniem wody z głębi Ziemi, a także ze zmianą konfiguracji den oceanów. Zwiększenie tempa tworzenia skorupy powoduje wzrost światowego poziomu morza. Proces ten daje jednak namacalne skutki na przestrzeni dziesiątek milionów lat, stąd też jest nieodczuwalny dla człowieka. Równie powoli działa usuwanie wody i osadu nasączonego wodą w strefach subdukcji. Obraz zmian wywoływanych przez oba procesy zakłóca jest przez rekonfigurację układu lądów i oceanów w wyniku kolizji i rozpadu kontynentów. Wydarzenia takie wpływają na wielkość szelfów kontynentalnych, a także na obszar oraz głębokość zalewających je mórz. To z kolei ma przełożenie na światowy poziom wód oceanicznych, aczkolwiek i w tym wypadku wszelkie zmiany zachodzą podczas milionów i dziesiątek milionów lat. W połączeniu z działającymi szybciej czynnikami dają one jednak wahania liczone w setkach metrów.

Większość szacunków zakłada, że w przeszłości geologicznej poziom mórz był niekiedy ponad sto metrów wyższy od obecnego. Co więcej, w ciągu ostatnich kilkuset milionów lat oceany zalewały z reguły o wiele większe obszary kontynentalne niż obecnie. W skali ludzkiego życia, a nawet w skali trwania ludzkich cywilizacji działanie tych czynników można jednak zaniebierać. Najważniejszymi dla nas przyczynami zmian poziomu morza, dającymi odczuwalne skutki, pozostają więc te, które związane są z topnieniem pokryw lodowych i rozszerzalnością cieplną wody.



Krótki żywot jezior

Jeziora są jednym z najbardziej zmiennych elementów krajobrazu. Niewielka zmiana klimatu lub zła decyzja człowieka mogą spowodować zanik nawet największego śródlądowego zbiornika wodnego.

Paweł Wolniewicz

Instytut Geologii, UAM Poznań

Dobrze pokazuje to zagłada Jeziora Aralskiego. W ciągu 50 lat utraciło ono ponad 80 procent swojej powierzchni, a jedynym winnym tej katastrofy był człowiek. Dla zysków z uprawy bawełny bezpowszechnie zniszczono bogaty ekosystem, otrzymując w zamian jedynie monokulturowe plantacje. Podjęte próby ratowania jeziora doprowadziły tylko do podwyższenia poziomu wody w jednej z jego dawnych zatok. Raz zniszczonego zbiornika wodnego prawdopodobnie już nigdy nie uda się odtworzyć.

Jezioro Aralskie nie jest jednak jedynym wielkim zbiornikiem śródlądowym, który znikł z mapy świata w ciągu minionych kilkunastu tysięcy lat. Ogromny wpływ na losy wielu jezior miały zmiany klimatyczne na przełomie plejstocenu i holocenu, około 14-10

tys. lat temu. Zanikały wówczas wielkie zbiorniki wodne położone w zachodnich częściach obu Ameryk. Ich historię można prześledzić badając rejon Wielkiego Jeziora Słonego w USA, a także jeziora Titicaca na pograniczu Peru i Boliwii.

Bonneville i Lahontan

Patrząc na zdjęcie satelitarne okolic Wielkiego Jeziora Słonego (leżącego na terenie stanu Utah w USA) można zobaczyć, że zajmuje ono część znacznie większej kotliny, na której powierzchni zalegają białawe osady solne. To pozostałość ogromnego, plejstocenicznego jeziora Bonneville, ponad 10 razy większego od obecnego, mającego i tak ponad 100 km długości, zbiornika wodnego. Swoją maksymalną powierzchnię osiągnął on około 15 tysięcy lat temu. Zbiornik Bonneville zajmował rozległe tereny Wielkiej Kotliny, w tym także obszar zalany wodami dzisiejszego Wielkiego Jeziora Słonego. W odróżnieniu od tego ostatniego był jednak o wiele głębszy, a pamiątką po ostatnich fazach jego zaniku jest Wielka Pustynia Słona, rozciągająca się na obszarze ponad 10 tys. km².

Jak powstało i zanikło jezioro Bonneville? Nie ma wątpliwości, że decydujące okazały się zmiany warunków klimatycznych. Duże znaczenie miał zwłaszcza przebieg polarnego prądu strumieniowego, przemieszczającego się z zachodu na wschód na pograniczu troposfery i stratosfery. Prąd ten powstaje pomiędzy sąsiadującymi ze sobą masami powietrza o różnej temperaturze. Układ tych mas zależy z kolei między innymi od wielkości oraz umiejscowienia pokryw lodowych. Wielkie plejstoceniczne lądolody pokrywające północną część kontynentu amerykańskiego wpływały zatem na trajektorię prądu strumieniowego, a w konsekwencji także na klimat w rejonie Wielkiej Kotliny. Okresy stosunkowo wilgotne przeplatały się

ze skrajnie suchymi, powodując gwałtowne zmiany powierzchni i głębokości zbiornika Bonneville.

Związek fluktuacji linii brzegowej jeziora oraz zasięgu czap lodowych został już przekonująco udowodniony. W okresach, w których lądolód sięgał najdalej na południe, powierzchnia Bonneville również się zwiększała. Po zaniknięciu plejstocenicznego czapy lodowej jezioro również skurczyło się o około 90 procent, pozostawiając resztkowy zbiornik w postaci Wielkiego Jeziora Słonego. Potwierdza to przypuszczenia naukowców, dostrzegających związek trajektorii prądu strumieniowego z zasięgiem lądolodów, a w konsekwencji – również z powierzchnią jeziora na dnie Wielkiej Kotliny.

Istnienie zależności pomiędzy wielkością czapy lodowej a pojawianiem się olbrzymich jezior potwierdza również historia zbiornika Lahontan, zlokalizowanego na terenie dzisiejszego



Zasięg jeziora Bonneville (Utah, USA). Ciemna plama w jego północno-wschodnim krańcu to współczesne Wielkie Jezioro Słone, źródło: NASA Earth Observatory



Zarys późnoplejstocenicznego jeziora Tauca na płaskowyżu Altiplano (Boliwia). W pobliżu górnego skraj zdjęcia widoczne dzisiejsze jezioro Titicaca, u dołu, po lewej stronie – wybrzeże Chile, źródło: NASA Earth Observatory

stanu Nevada w USA. Swoją maksymalną powierzchnię (ponad 20 tys. km²) osiągnął on około 13 tysięcy lat temu, a niemal całkowicie zaniknął cztery tysiące lat później, kiedy lądolody ostatecznie wycofały się z rozległych połaci kontynentu północnoamerykańskiego oraz Europy. Dzisiaj po tym wielkim jeziorze pozostały jedynie pustynie oraz *playa*: suche, płaskie obszary pokryte mułem, stanowiące niegdyś dno jeziora. Chociaż wraz z zanikiem zlodowaceń plejstocenijskich klimat tej części Ameryki Północnej uległ znacznemu ociepleniu, to jednocześnie stał się on o wiele bardziej suchy, półpustynny.

Tauca

Podobne zjawisko miało miejsce na kontynencie południowoamerykańskim. Płaskowyż Altiplano znajdujący się na terenie Boliwii oraz Peru stanowi obecnie półpustynię, na której znajdują się pojedyncze, choć duże jeziora, a także ogromne solniska, na czele z największym na świecie Salar de Uyuni. Na południowy zachód od tej wyżyny, za pasmem Kordyliery Zachodniej, położona jest pustynia Atakama: jedno z najbardziej suchych miejsc na Ziemi. Trudno uwierzyć, że 14 tysięcy lat temu na terenie Altiplano znajdował się ogromny zbiornik śródlądowy (jezioro Tauca), sześć razy większy od współczesnego jeziora Titicaca. Potwierdzają to dane zgromadzone przez naukowców.

Skromną pozostałość po wielkim zbiorniku Tauca stanowi dzisiaj słone jezioro Poopó. Jego lustro wody położone jest na wysokości 3680 m n.p.m. Tymczasem 14 tys. lat temu jezioro to było sto metrów głębsze i sięgało niemal do znajdującego się 200 km na północ jeziora Titicaca. W kierunku południowym zbiornik Tauca rozlewał się na niemal całą powierzchnię Altiplano, obejmując swym zasięgiem współczesne solniska, w tym przede wszystkim Salar de Uyuni.

Olbrzymie jezioro istniało około cztery tysiące lat (18-14 tys. lat temu), a w najpóźniejszym plejstocenie jego powierzchnia skurczyła się znacząco. Jezioro Poopó straciło wówczas połączenie z Salar de Uyuni, a lustro wody opadło o 80 metrów. Płaskowyż Altiplano już nigdy więcej nie został zalany wodą, a dzisiaj poza kilkoma zbiornikami wodnymi pamiątką po dawnych czasach pozostają solniska.



Jezioro Aralskie praktycznie przestało już istnieć. Czarna linia oznacza linię brzegową z 1960 roku, źródło: NASA Earth Observatory

Co doprowadziło do powstania i zaniknięcia jeziora na andyjskim płaskowyżu? Z pewnością były to inne przyczyny niż w przypadku zbiornika Bonneville, położonego na drugiej półkuli i w sąsiedztwie wielkiego lądolodu. Choć oba jeziora osiągnęły swój maksymalny zasięg mniej więcej w tym samym czasie, to jednak mechanizmy rządzące ich powstaniem musiały być zupełnie inne. Badacze przypuszczają, że kilkanaście tysięcy lat temu klimat zachodniej części Ameryki Południowej określały warunki klimatyczne w rejonie Atlantyku, a nie – tak jak obecnie – zjawiska pogodowe i klimatyczne związane z Pacyfikiem. Ochłodzenie wód powierzchniowych Oceanu Atlantyckiego doprowadziło wówczas do spadku średnich temperatur w rejonie płaskowyżu Altiplano do wartości o około 6,5°C niższych niż obecnie, a także zwiększyło sumy opadów trzykrotnie w stosunku do stanu obecnego. Efektem było pojawienie się rozległych lodowców w Andach oraz wielkich jezior, w tym jeziora Tauca.

Losy innych jezior

Choć wielkie jeziora obu Ameryk istniały mniej więcej w tym samym czasie, nie oznacza to, że podobne procesy zaobserwowano na innych kon-

tynentach. Zmiany wysokości lustra wody oraz powierzchni jezior nigdy nie miały takiego samego charakteru na wszystkich lądach, a warunki klimatyczne zmieniały się z reguły inaczej na obu półkulach. Poza tym los jezior zależy od wielu czynników lokalnych, takich jak przepływ w rzekach dostarczających wodę do zbiornika.

Wspomniane na początku Jezioro Aralskie w początkach holocenu – a więc w trakcie zanikania zbiorników Bonneville i Tauca – zaczęło zwiększać swoją powierzchnię. Około 10 tysięcy lat temu było ono jeszcze relatywnie niewielkie, porównywalne ze szczytowym basenem z końca XX wieku. Dopiero potem, wraz z reorganizacją sieci rzecznej, Jezioro Aralskie zaczęło sukcesywnie zwiększać poziom lustra wody oraz powierzchnię. Swój maksymalny zasięg (a także głębokość o 20 metrów większą niż w 1960 roku) uzyskało ono około pięć tysięcy lat temu.

Jeszcze inny schemat można zaobserwować badając historię polskich jezior. Powstały one po ustąpieniu z terytorium naszego kraju lądolodu skandynawskiego – a zatem wtedy, gdy kurczenie się pokryw lodowych na półkuli północnej spowodowało wyschnięcie wielkiego jeziora Bonneville. Wycofanie się mas lodowych umożliwiło utworzenie się jezior, które pokrywają dzisiaj północną Polskę, ale jednocześnie spowodowało zanik jezior zastoiskowych znajdujących się przed czołem lądolodu. Zmiany klimatyczne pociągnęły więc za sobą również przebudowę sieci wodnej.

Wszystkie te przykłady pokazują, jak, nietrwałym i podatnym na zmiany klimatu elementem krajobrazu są jeziora. Historia Jeziora Aralskiego uzmysławia natomiast ich wrażliwość na szkodliwą działalność człowieka, polegającą najczęściej na (jak w tym przypadku) obniżaniu zwierciadła wód podziemnych, a także na zwiększaniu żyzności (eutrofizacji) zbiorników śródlądowych. Skutki oddziaływania zmian klimatu na wielkie jeziora plejstocenijskie stały się wyraźne po setkach lat. Tymczasem człowiek przesądził los Jeziora Aralskiego w czasie nie dłuższym niż 30-40 lat, i to w sposób praktycznie nieodwracalny.

Tonące miasta

Człowiek w obliczu zmian środowiskowych

Zmiany poziomu wody we wszechocenie obserwowane są od dłuższego czasu, lecz ich tempo w ostatnich latach rośnie. Najnowsze projekcje sugerują podniesienie się poziomu o 56 do 200 cm, do końca XXI wieku. Zagroza to głównie społeczności zamieszkującym wyspy oraz regiony nadbrzeżne. Jednak w wielu przypadkach za coraz trudniejszą sytuację powodziową nadmorskich miast odpowiadają także czynniki lokalne.

Aleksandra Zaparucha

SOP Oświatowiec Toruń

Wenecka acqua alta

Wenecja, miasto położone na wyspie w Lagunie Weneckiej, jest sztandarowym przykładem zagrożeń wynikających ze zmieniającego się poziomu wody we wszechocenie. Gdy kilkaset lat temu Wenecjanie zdecydowali się posadowić Bazylikę i Plac św. Marka na zatopionych drewnianych palach, miało to sens. Bezpośredni dostęp do morza był niezbędny do utrzymywania kontroli nad handlem w basenie Morza Śródziemnego. Drewniane pale (olchowe

lub modrzewiowe) przebijają miękkie osady dna laguny i opierają się na podścielających je pokładach gliny. Już wtedy skierowano ujścia rzek pierwotnie uchodzących do Laguny Weneckiej w inne, oddalone miejsca, by zapobiec zasypywaniu zatoki.

Acqua alta, czyli wysoka woda przyплиwu, podtopia Wenecję od setek lat. Pierwsze zapiski o wysokiej wodzie pochodzą z VI wieku, a od XVIII wieku są już dość dokładne i regularne. Acqua alta o wysokości do 90 cm powoduje szkody, ale kolejne 50 cm powoduje zalanie około połowy powierzchni miasta. Rekordowa wysokość przyплиwu miała miejsce w 1966 roku. Wyniosła 194 cm powyżej średniego poziomu morza

i podtopiła ok. 80% miasta. W ostatnich latach częstotliwość wysokich fal przyплиwu dramatycznie się zwiększyła – dochodzi do nich ponad 60 razy w ciągu roku. Nie jest to jedynie skutek podnoszącego się poziomu Morza Śródziemnego. Za hydrograficzną sytuację Wenecji odpowiada kilka niefortunnnych, nakładających się na siebie czynników.

Jednym z nich są sejsze na Adriatyku. Zjawisko to najczęściej występuje pomiędzy jesienią a wiosną, kiedy wiatry wiejące wzdłuż osi basenu Morza Adriatyckiego nie dopuszczają do odpływu spiętrzonych wód przyплиwu w Lagunie Weneckiej. Te wiatry to sirocco i bora, których skutki są potęgowane kształtem i położeniem Laguny Weneckiej. Tak



Położenie Wenecji

źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Localizzazione_GB



Turyści w oczekiwaniu na wejście do Bazyliki św. Marka

źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Acqua_alta_at_Venice.jpg

więć częstotliwość wystąpienia i przebieg wysokiej wody zależy od dwóch czynników, podlegających precyzyjnemu modelowaniu – pływów i kształtu basenu Morza Adriatyckiego, oraz czynnika meteorologicznego, nieprzewidywalnego i niepoddającego się modelowaniu – kierunku i siły wiatru, lokalizacji i typu ośrodków ciśnienia czy opadów.

Kolejny czynnik to osiadanie, czyli proces obniżania się poziomu gruntu, któremu podlega cała Laguna Wenecka. Szacuje się, że od 1897 roku poziom gruntu w mieście obniżył się o 23 cm, za co częściowo obwinia się procesy naturalne, a częściowo ma na to wpływ działalność człowieka:

- budowa dzielnicy przemysłowej na stałym lądzie (Porto Marghera), co spowodowało zasypanie laguny wraz z kilkoma wysepkami oraz wydrążenie kanału żeglugowego w jej dnie,
- intensywny pobór wód podziemnych dla celów przemysłowych; zamknięcie studni głębinowych w latach 60. XX wieku spowodowało procesy osiadania,
- budowa arterii komunikacyjnych łączących Wenecję ze stałym lądem – mostu kolejowego (lata 40. XX wieku) oraz jego późniejsze poszerzenie (1977), oraz mostu drogowego (lata 30. XX wieku) – filary mostów modyfikują przepływ wody w lagunie,
- zmiana biegu rzeki Brenta, która odwadniała swoją deltę o pow. 2,63 ha, a jednocześnie funkcjonowała jako zbiornik absorbujący wodę z laguny w czasie wysokiego przypływu,
- budowa betonowych nabrzeży portowych wewnątrz Laguny Weneckiej w XIX i XX wieku w Malamocco, S. Nicolò oraz Chioggii, które zmieniają naturalny ruch wody,
- budowa sztucznej wyspy Tronchetto z terminalem samochodowo-autobusowym (17 ha, przełom lat 50. i 60. XX wieku).

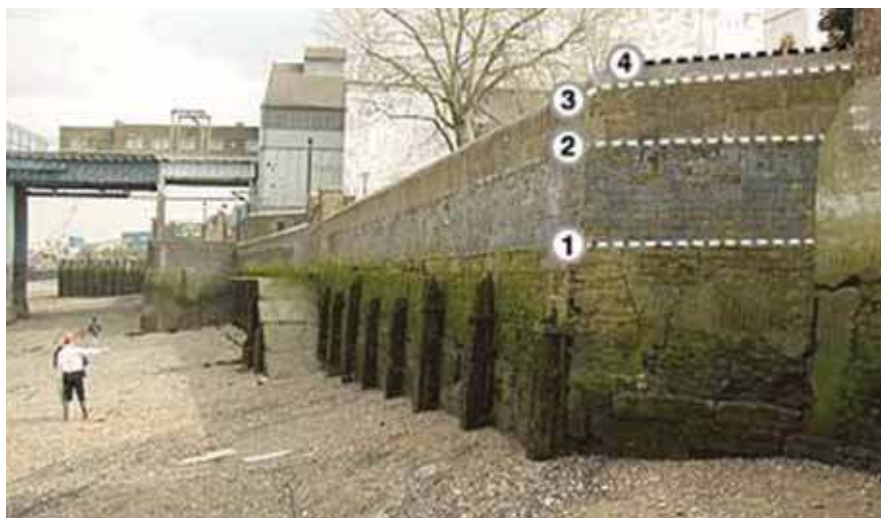
Wszystkie powyższe czynniki powodują, że coraz trudniej jest panować nad wodą, a widok turystów spacerujących po drewnianych kładkach stał się niechlubną wizytówką miasta.

W celu ratowania Wenecji rząd zatwierdził projekt MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico), realizowany od kilkunastu lat. Polega on na zainstalowaniu 79 pojedynczych 300-tonowych grodzi w dnie Laguny Weneckiej i na Morzu Adriatyckim, któ-



Bariera Tamizy

źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thames_Barrier_03.jpg



Zmiany wysokości umocnień przeciwpowodziowych Tamizy wprowadzone aktami prawnymi: 1. Flood Act z 1879 r., 2. Poprawka wprowadzona pod koniec XIX wieku, 3. Lata 1928 i 1930, 4. Podwyższenie umocnień po powodzi w 1953 roku podczas budowy Bariery Tamizy

źródło: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6231334.stm>

re po wypełnieniu powietrzem mogą być podniesione z dna, by uformować tymczasową barierę. Budowę systemu rozpoczęto w 2003 roku jednocześnie w trzech przesmykach łączących Lagunę Wenecką z Morzem Adriatyckim. Całość ma zacząć funkcjonować w 2016 roku i ma chronić Wenecję przed trzymetrowymi falami przypływu.

Niektórzy eksperci twierdzą jednak, że jedynym skutecznym rozwiązaniem problemów z acqua alta byłoby przeniesienie miasta w inne miejsce.

Londyn na huśtawce

Na proces powolnego podnoszenia się poziomu Morza Północnego (1 mm/rok) nakłada się powolne osiadanie Basenu Londyńskiego wraz z całą południowo-wschodnią częścią kraju. Związane jest to z ruchami izostacyj-

nymi. W ciągu ostatniego wieku Londyn obniżył się o 18-20 cm.

Obecnie osiadanie Londynu ocenia się na 1-2 mm rocznie. Po uwzględnieniu podnoszącego się poziomu Morza Północnego daje to 2-3 mm rocznie podnoszenia poziomu wody wobec lądu. Nowe mapy ruchu podłoża pozwalają ocenić dalsze możliwe tempo osiadania różnych skał. Niektóre da się łatwo wyjaśnić, takie jak ciągłe osiadanie osadów holocenu wyścielających dno doliny Tamizy. Niektóre miejsca osiadania związane są jednak z poborem wód podziemnych. Można także zaobserwować osiadanie ziemi ponad konstrukcjami podziemnymi, takimi jak przedłużenie linii metra (Jubilee Line) czy tunel dla kabli energetycznych pomiędzy dzielnicami Battersea i Putney.

Są jednak także niespodzianki, jak podnoszenie się terenu w północno



Powódź w Dżakarcie w 2007 r. przyniosła wielkie straty materialne, a choroby związane z powodzią dotknęły 190 tys. osób. Pod wodą znalazło się 70% miasta, źródło: http://en.wikipedia.org/wiki/File:VOA_People_walk_through_Jakarta%27s_flooded_streets.jpg



Wizualizacja zapory morskiej dla Dżakarty wraz z polderami i zabudową, źródło: <http://en.tempo.co/read/news/2013/11/25/057532226/Govt-Must-be-Cautious-over-Giant-Sea-Wall-Project-Expert>

-zachodnim Londynie o 0,5 mm rocznie, związane ze shtywną, proterozoiczną strukturą znaną jako mikrokraton Midlands. Przypuszcza się, że na jej krawędzi dochodzi do powolnego wybrzuszenia się osadów młodszych.

Londyn ma 300 kilometrów zabezpieczeń przeciwpowodziowych. Są to wały i opaski przeciwpowodziowe oraz grodzie i bariery, które będą musiały być przebudowane lub przesunięte. Ponadto przewiduje się konieczność skonstruowania nowych rodzajów za-

bezpieczeń, by lepiej wykorzystać naturalne tereny zalewowe.

Londyn jest w tej szczęśliwej sytuacji, że już ma barierę Tamizy w Woolwich. Oddana do użytku w 1982 roku, początkowo była uruchamiana w sezonie zimowym, czyli od września do kwietnia, co około dwa lata. Jednak w sezonie 2000/2001 podnoszono ją 24 razy, w 2002/2003 – 20 razy, choć są nadal sezony, gdy bariera nie jest uruchamiana w ogóle. W sezonie 2013/2014 podnoszono ją 43 razy – pięciokrotnie

w związku z wysokimi przypływami oraz 38 razy w związku z wylewami rzeki (wysokie opady). Ocenia się, że choć bariera nie została przygotowana na ostatnie zmiany klimatyczne, jej czas użytkowania może zostać przedłużony – dzięki drobnym zmianom konstrukcyjnym – do około 2070 roku. Później konieczne będzie wybudowanie nowej konstrukcji.

Dżakarta na równi pochyłej

Średnia wysokość, na jakiej położona jest Dżakarta to 7 m n.p.m., ale aż 40% miasta położone jest poniżej poziomu morza, wobec czego w naturalny sposób jest narażone na skutki podnoszenia się poziomu oceanu. Przybór wody w Morzu Jawajskim ocenia się na 7 mm rocznie.

Sprawa ma jednak drugie dno. Przede wszystkim ludność w niekontrolowany sposób wykorzystuje wody podziemne, powodując osiadanie gruntu pod miastem. W latach 1974–2010 większość terenu miasta zapadła się o 25 do 70 cm. Jednak gęsto zaludnione nabrzeża zapadły się w niektórych miejscach od 1,5 do 2 m, w ekstremalnych przypadkach – o ponad 4 m. Średnio ten proces postępuje w tempie 10–20 cm rocznie. Szacuje się, że jeśli nie zaniecha się poboru wody, miasto obniży się o kolejne 5–6 metrów do końca stulecia. Od 1960 roku poziom wód gruntowych obniżył się o 30 m, więc z jednej strony dostęp do wody pitnej jest coraz trudniejszy, a z drugiej osiadanie gruntu intensyfikuje powódzie.

Gwałtowny przyrost ludności Dżakarty to też problem, gdyż wzrasta presja na lokalne zasoby wód podziemnych. Miasto liczy obecnie ok. 10 milionów mieszkańców, a wraz z obszarem metropolitalnym – 30 milionów.

Dżakarta, co prawda posiada 30-kilometrową opaskę przeciwpowodziową (sea wall), ale ona również osiada. Gdyby doszło do katastrofy i opaska zostałaby przerwana, to w ciągu 48 godzin najniższe położone rejony miasta, zamieszkałe przez niemal milion ludzi, zostałyby zalane. Ponadto doszłoby do wybijania nieczystości z rur kanalizacyjnych i skażenia wody pitnej, co jeszcze pogorszyłoby i tak już palący problem dostępu do wody.

Rząd Indonezji planuje budowę nowej, masywniejszej opaski brzegowej. Jej celem jest zabezpieczenie miasta przed podnoszącym się poziomem wód w oceanie, falami przypływu oraz osiadaniem terenu. Jej koroną będzie

przewodziła droga, a system przeciwpowodziowy – by był skuteczny – będzie miał odpowiednio pojemny obszar retencyjny.

Specjaliści podkreślają, że to nie rozwiąże wszystkich problemów miasta, które raczej powinno zacząć kontrolować lub całkowicie zatrzymać pobór wód podziemnych.

Ponadto w Dżakarcie dochodzą do głosu inne czynniki niesprzyjające ochronie przeciwpowodziowej. Są to niewydolny system kanalizacji miejskiej oraz wylesianie w głębi lądu, w okolicach szybko rozwijających się miast Bogor i Depok, i związane z tym wylewy okolicznych rzek. Istniejące zabezpieczenia, w postaci kanału ulgi (East Flood Canal) czy zbiorników retencyjnych, nie są wystarczające.

Ciężar Szanghaju

Szanghaj to jeden z najważniejszych portów i centrów handlu na świecie. To obecnie największe miasto Chin (23 mln ludności) zbudowane na terenach podmokłych otaczających ujście rzeki Jangcy. Z czasem skromna zabudowa pierwotnej wioski rybackiej została zastąpiona wysokościami. Szybki rozwój miasta związany był z coraz częstszym sięganiem po zasoby wód podziemnych, co naruszyło zalegające pod miastem warstwy skalne i spowodowało osiadanie gruntu. Pomiędzy 1921 a 1965 rokiem Szanghaj obniżył się o ponad 240 cm. Obecnie tempo obniżania wynosi 1,2-1,5 cm na rok.

Według ekspertów niewiele można zrobić – miasto jest po prostu za ciężkie na swe fundamenty. Nowe wysokościowce muszą być sadowione na betonowych słupach głęboko wkopanych w grunt. Szanghajski Instytut Badań Geologicznych uważa, że za 70% tego osiadania odpowiedzialny jest pobór wód podziemnych. Pozostałe 30% to nacisk drapaczy chmur na grunt. W 1980 roku Szanghaj miał 650 wysokościowców, obecnie – ok. 2000.

Najpoważniejsze przypadki pęknięć gruntu i lejów z osiadania (sinkholes) notuje się w dzielnicy Pudong, głównym finansowym i biznesowym ośrodku Chin. Pudong ma obecnie ponad 5 milionów mieszkańców (ponad 4 tys. na km²), choć jeszcze 25 lat temu był słabo rozwiniętym regionem rolniczym. To tu powstaje najwyższy budynek Chin – Shanghai Tower o wysokości 632 m. W 2012 roku na powierzchni asfaltu u stóp Shanghai Tower pojawiło



Lej z osiadania gruntu

źródło: <http://global-news-n-views.blogspot.com/2012/06/sinkhole-swallows-mini-bus-in-s-china.html>

się duże pęknięcie. Także przy budowie sąsiedniego World Financial Center (492 m) doszło do zapadnięcia się fundamentów o 6,3 cm. Władze przyjęły do wiadomości istnienie problemu i zapewniły, że monitorują sytuację oraz wpompowują ponownie wodę do gruntu, by ustabilizować fundamenty. Budowa Shanghai Tower jest jednak kontynuowana.

Oczywiście miasto jest także narażone na podnoszący się poziom wody w oceanie, co zagraża infrastrukturze miejskiej oraz zbiornikowi Qingcaosha, głównemu źródłu wody pitnej. Pas lądu oddzielający miasto od morza ma zaledwie 4 metry szerokości. Obszary podmokłe, naturalna strefa buforowa pomiędzy morzem a lądem, została już dawno zabudowana.

Według badań prowadzonych przez East China Normal University w ciągu najbliższych 20 lat podnoszenie poziomu morza w regionie będzie większe niż średnia światowa. Istniejące zabezpieczenia są już niewystarczające, bowiem średni poziom gruntu znajduje się poniżej średniej wysokości przypływu. Gdyby nie zapory przeciwpowodziowe miasto byłoby zalewane każdym większym przypływem.

Co dalej?

Wymienione miasta to zaledwie kilka przykładów dużych kompleksów urbanistycznych zagrożonych podtapianiem. Do zagrożonych osiadaniem

gruntu należą także położone nad Oceanem Indyjskim Bangkok i Kalkuta czy Houston w Teksasie. Wiele miast położonych jest bardzo nisko lub wręcz poniżej poziomu morza, jak Nowy Orlean i Vancouver, czy w rejonach gdzie nakładają się na siebie niekorzystne uwarunkowania hydrograficzno-klimatyczne, jak Nowy Jork. Są wreszcie całe kraje zagrożone całkowitym (Malediwy) lub częściowym zalaniem (Bangladesz).

Ocenia się, że zagrożone miasta mają trzy możliwości: zorganizowane przeniesienie na wyżej położone tereny, przygotowanie kluczowej infrastruktury na regularne zalewanie, lub budowanie tam i innych zabezpieczeń przeciwpowodziowych. Wszystkie kosztowne i wymagające natychmiastowych decyzji.

LITERATURA (wybór)

- Amos J., London's small but relentless dip, BBC News, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6231334.stm>
- On the rise: The Thames in 2100, BBC News, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5092218.stm>
- Pemburuan, S., Indonesia Infrastructure Initiative, October 2011, http://www.indii.co.id/news_daily_detail.php?id=1971
- Shahid, Y., Saich T. (red.) (2008) China Urbanizes: Consequences, Strategies, and Policies. Washington, DC: World Bank Publications
- Sustainable Groundwater Management in Asia, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan: IGES, 2010
- Tide Monitoring and Forecast Centre of Venice
- Tok X., Sinking Cities: Cracks in the Ground, November 2013

Śródziemne morze północy

Perspektywy i zagrożenia Morza Bałtyckiego

Na określenie położenia Polski na mapie Europy używany bywa zwrot „kraj między Tatrami a Bałtykiem”. Można więc powiedzieć, że przejściowość krajobrazowa między łańcuchem Karpat na południu a wybrzeżem morskim na północy stanowi element charakterystyczny dla środowiska przyrodniczego naszego kraju.

Krzysztof Trojan

Magister geografii, UJ

Morze Bałtyckie, w nazwie skróconej – Bałtyk, jest płytkim, śródlądowym morzem szelfowym, a pod względem powierzchni czwartym najmniejszym morzem świata. W jego obecnej strukturze wyróżnić można trzy większe baseny, oddzielone od siebie podwodnymi progami – Basen Botnicki, Gotlandzki i Bornholmski oraz Morze Bełtów, ograniczone od zachodu cieśniną Sund. Struktury te tworzą razem tzw. Bałtyk Właściwy składający się z 14 akwenów o średniej głębokości zaledwie 53 m. Miejsca o głębokości ponad 200 m („głębie”) stanowią zdecydowaną mniejszość, a zaliczają się do nich Głębia Botnicka, Gotlandzka oraz Landsorcka, sięgająca poziomu 459 m p.p.m.

Z kart historii

Przed nastaniem zlodowacenia północnopolskiego Bałtyk nie stanowił osobnego akwenu, lecz tworzył w obrębie jednego szelfu z Morzem Północnym i Białym tzw. Morze Emskie. Dopiero po ustąpieniu lądolodu vistuliańskiego z północnej części Polski ok. 15,5 tys. lat temu było możliwe ukształtowanie się Morza Bałtyckiego w jego obecnej formie – stąd należy ono do najmłodszych mórz na świecie. W czasie recesji ostatniego zlodowacenia przed czołem lądolodu funkcjonowało Jezioro Lodowe. Jego poziom był ok. 20 m niższy niż obecnie, natomiast linia brzegowa znajdowała się do 60 km na północ w stosunku do współczesnych wybrzeży Polski.

Dalsza recesja lądolodu spowodowała przelanie się wód jeziora do oceanu, a następnie ich ponowny wlew na skutek wzrostu poziomu wód (Morze Yoldiowe). Następnie tektoniczne podnoszenie się Fennoskandii zamknęło połączenie Morza Yoldiowego z wszechoceanem, przez co przekształciło się ono w zamknięte Jezioro Ancylusowe, do którego po pew-



Podział Bałtyku na akweny, źródło: HELCOM

nym czasie znów zaczęły przedostawać się wody oceaniczne. W ten sposób powstało bardziej rozległe i cieplejsze niż obecnie Morze Litorynowe. Maksimum jego zasięgu przypada na okres ok. 6 tysięcy lat temu – wówczas zajmowało ono

tereny współczesnych jezior nadmorskich, sięgając w delfie Wisły aż po jezioro Drużno, pozostawiając po sobie miejscami formy typu kluflu morskiego (np. na południe od Gdańska). Zalew Morza Lityrnowego spowodował zatopienie obszarów o rzeźbie młodoglacjalnej i dawnych wysp (dziś tzw. „ławic” podwodnych), czego pozostałością są odkrywane na głębokości kilkudziesięciu metrów zagłębienia dawnych jezior, wzniesienia pagórków glacialnych, a także pokłady torfów czy nawet ślady kopalnego lasu w postaci pni drzew.

Pod koniec funkcjonowania Morza Lityrnowego ogólny zarys linii brzegowej był zbliżony do obecnej, ukształtował się również półwysep Hel, który w podobnej do dzisiejszego formie i w pełnej ciągłości istnieje od ok. 6 tysięcy lat. Około 4 tysięcy lat temu, rozpoczął się trwający do dziś okres funkcjonowania tzw. Morza Mya (nazwa pochodzi od małża *mya arenaria*, który z zachodniego Atlantyku przywędrował z łodziami wikingów), w którym postępował stały dopływ słodkich wód z rzek zlewiska Bałtyku.

Środowisko wód Bałtyku

Niska temperatura wód Morza Bałtyckiego (u wybrzeży Polski średnia roczna to ok. 9°C) i niewielkie wartości parowania wynikające z położenia geograficznego, jak również dostawa słodkich wód uchodzących do niego rzek sprawiają, że zaliczany jest ono do mórz mezohalinowych.

W porównaniu do średniej dla wszechocanu, w którym zawartość soli wynosi ok. 34‰, zasolenie wód powierzchniowych Morza Bałtyckiego jest bardzo niskie i wynosi średnio 7‰ dla całego akwenu (od 2‰ w Zatoce Botnickiej i Fińskiej do ok. 20‰ w Cieśninach Duńskich). Przez większą część roku w Morzu Bałtyckim funkcjonuje wyraźna stratyfikacja, oznaczająca brak możliwości mieszania się wód powierzchniowych z głębinowymi. Wynika to z faktu, że jest ono odcięte od ogólnooceanicznej cyrkulacji morskiej, a jako niewielkie morze śródlądowe nie stwarza możliwości do wykształcenia się rozwiniętego mieszania wód w wyniku falowania (w czasie 2 tygodni sztormowych w ciągu roku na maksymalną głębokość 40 m) lub głęboko sięgającego upwellingu (występuje przy wiatrach z kierunków wschodnich, ukierunkowanych wzdłuż brzegu). W tego typu warunkach w strefie przydennej, gdzie tlen ze stagnujących wód jest stale pobierany przez organizmy żywe, tworzą się obszary ubogie w tlen i o zwiększającym się stężeniu siarkowodoru. Dlatego też bardzo ważnym zjawiskiem z punktu widzenia ekologicznego są występujące nieregularnie, średnio co kilka lat, wlewy lepiej natlenionych i słonych wód głębinowych z Morza Północnego poprzez Cieśninę Duńską.

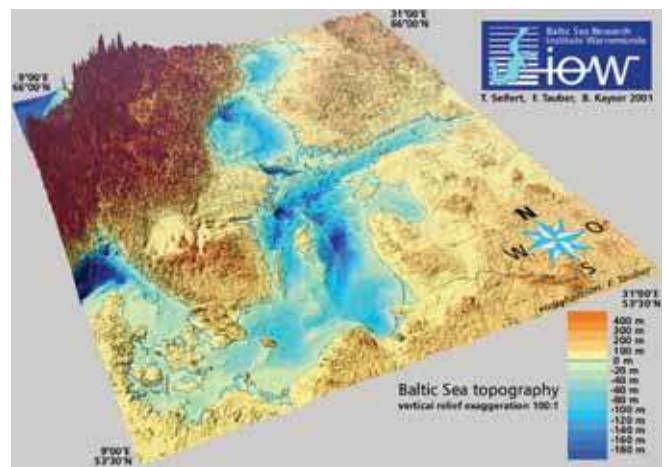
Niskie zasolenie wód bałtyckich stwarza specyficzne warunki bytowania organizmów żywych. Wody te są zbyt słone dla wielu stworzeń słodkowodnych, a jednocześnie niedostatecznie zasolone dla wielu gatunków występujących w morzach otwartych. Dlatego też różnorodność organizmów żyjących w Bałtyku, jest stosunkowo niewielka. Wśród makrofauny występuje 100 gatunków ryb, 57 gatunków ptaków oraz 4 gatunki ssaków, z których wszystkie zagrożone są wyginięciem. Największy spośród trzech gatunków bałtyckich fok – foka szara, występuje w południowej części akwenu w liczebności zaledwie ok. 200 sztuk, natomiast w całym Bałtyku żyje ich prawie 30 tysięcy – a jest to jedynie dziesiąta część ich liczebności sprzed stu lat. Z kolei jedyny waleń naszego morza – morświn, występuje w ilości 100 osobników. Przyczyną tego stanu rzeczy są przede wszystkim masowe tępienia

tych gatunków, uważanych na początku XX w. za szkodniki. Rybacy otrzymywali wynagrodzenie od każdej upolowanej sztuki.

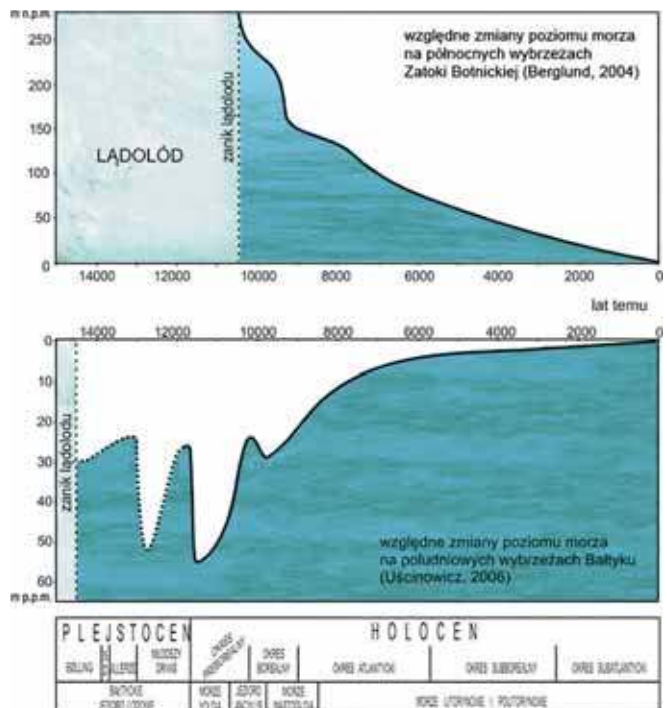
Mimo znacznej izolacji Morza Bałtyckiego, zdarza się, że trafiają do niego również goście z odległych i głębszych wód, np. wal butelkonosy, samogłów czy nawet ryba piła. Okazuje się również, że odwiedziny nawet największych mieszkańców oceanu są dość częste – w ostatnich latach u polskich wybrzeży kilkakrotnie zobaczyć można było humbaka, a nawet kilkunastometrowego finwala. Niestety w większości nie były w stanie wydostać się z naszego morza i przetrwać w jego wodach.

Bałtyk wciąż żywy

Współczesne badania pokazują, że obszar niecki Bałtyku i jego sąsiedztwo w dalszym ciągu wykazują aktywność tektoniczną. Swoją początek bierze ona w okresie końcowym



Batymetria Morza Bałtyckiego, źródło: www.io-warnemuende.de

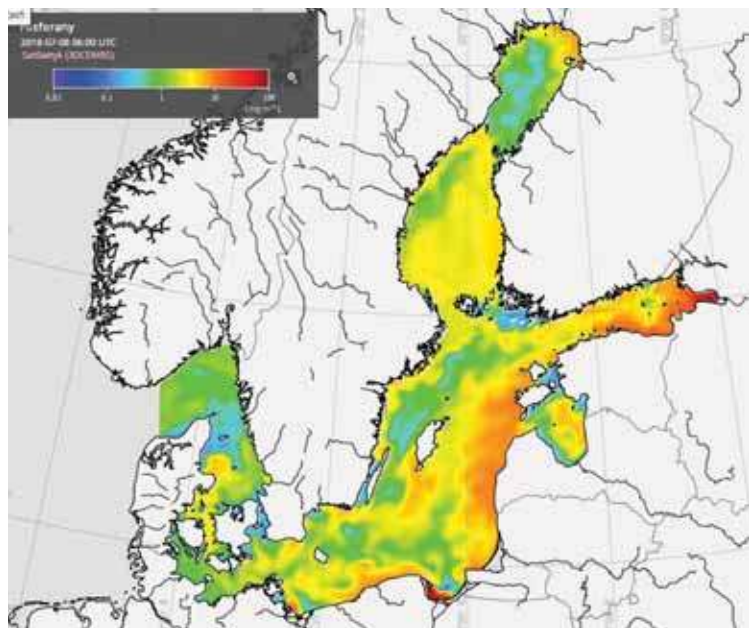


Zmiany poziomu wód Bałtyku od końca plejstocenu do dziś, źródło: PIG-BIP

ostatniego zlodowacenia, kiedy uwolniona spod lodu formacja tarczy fennoskandzkiej zareagowała intensywnym izostycznym podnoszeniem. Z początku sięgało ono miejscami nawet 50 cm/rok, czemu towarzyszyły silnie trzęsienia ziemi (w południowej części Bałtyku zakończyły się na początku holocenu). Świadectwem tego procesu są m.in. zawieszane ślady dawnych wybrzeży w Zatoce Botnickiej, wznoszące się 280 metrów ponad obecny poziom morza. Tarcza fennoskandzka wznosi się aż do dnia dzisiejszego (maksymalnie 9 mm/rok), ale towarzyszące temu ruchy tektoniczne zdarzają się rzadziej.

Świadectwa najsilniejszych z nich, mających miejsce na ziemiach polskich, pochodzą ze średniowiecza oraz z XVII i XVIII w. (podniesienie dna morskiego w okolicach Wolina czy częściowe zalanie Łeby), ale wstrząsy sejsmiczne w tym regionie notowane były również później. Zarówno trzęsienie ziemi z 1909 r. na Pomorzu Zachodnim oraz ostatnie – z 2004 r. z epicentrum w obwodzie kaliningradzkim, miały siłę do 5 stopni w skali Richtera.

Znacznie bardziej wymiernym objawem „żywności” Bałtyku jest proces niszczenia wybrzeży. Do zjawiska tego przyczynia się stopniowy wzrost poziomu morza (w XX w. wynosił on średnio 1,5 mm rocznie) oraz wzrastająca częstotliwość spiętrzeń sztormowych (sięgających 2 m powyżej poziomu średniego) i towarzyszących im fal. W ten sposób zagrożone jest prawie 110 km polskich wybrzeży o charakterze klifowym, które poza niszczeniem abrazyjnym przekształcane są również przez procesy osuwiskowe, mogące sięgać nawet 100 m w głąb lądu. Ocenia się, że 75% klifów naszego wybrzeża to formy aktywne lub w czasie okresowej stabilizacji. Zagrożenie nie dotyczy tylko brzegów wysokich – ponad 60% długości brzegów typu mierzejewo-zalewowego również podlega procesom niszczenia. Poza lokalnym rozrywaniem mierzei i wlewowi wód morskich do jezior przybrzeżnych, powodują one rozmywanie plaż oraz wymywanie osadów piaszczystych ze strefy przybrzeżnej. Widocznym tego objawem jest notowane zmniejszanie się zarówno szerokości plaż, jak i grubości osadów plażowych. Siła oddziaływania morskich procesów erozyjnych przekłada się w bilansie ogólnym na cofanie się linii brzegowej południowego Bałtyku: dla najwyższych klifów (Trzęsacz, Jastrzębia Góra, Orłowo) sięga ono przeciętnie 1 m rocznie.



Przykładowa mapa zawartości fosforanów w wodzie morskiej, źródło: www.satbaltyk.pl

Morze zysków – surowce i energia

Problemowi erozyjnego niszczenia wybrzeża próbuje się zaradzić głównie w sposób osłonowy, czego przykładem są falochrony czy kamienno-betonowe opaski. Ostatnio stosuje się także dość nietypowe rozwiązanie, polegające na zasilaniu plaż piaskiem pozyskiwanym z dna morza. Dalsze stosowanie tej metody wiąże się jednak z zapotrzebowaniem na 60 mln m³ piasku do 2023 r., co nasuwa pytanie o wielkość zasobów surowcowych Bałtyku.

Spośród kruszyw eksploatowane i perspektywiczne są złoża piasków i żwirów budowlanych, a także piasków szklarskich, formierskich i bursztynu (ok. 600 ton). Co pewien czas większe poruszenie wywołuje zagadnienie bałtyckich złóż ropy i gazu, których poszukiwania sięgają lat 70. Pierwsze baryłki pochodzące z polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej wydobyto dopiero w 1992 r. i od tego czasu dostarcza ono 150 tysięcy ton paliwa rocznie. Od dwóch lat



ropa pozyskiwana jest też z drugiego złoża (planowa wydajność to ok. 250 tys. ton rocznie) o szacowanej zasobności 3,5 mln ton, a prace nad zagospodarowaniem dwóch innych są jeszcze w toku. Widoczny postęp w tej materii wskazuje, że ropa pochodzenia bałtyckiego, mająca obecnie 28% udziału w wydobyciu krajowym, może zyskać większe znaczenie ekonomiczne.

Jeszcze większe nadzieje związane z energetycznym potencjałem Morza Bałtyckiego dotyczą energii odnawialnej. Niestety z uwagi na znikome wielkości pływów (średnio ok. 0,5 m), stosunkowo słabe falowanie i niewielkie zróżnicowanie termiczne większość rozwiązań z zakresu energetyki morskiej nie znajduje zastosowania dla naszego morza. Znacznie bardziej entuzjastycznie podchodzi się do planów budowy wielkich ferm wiatrowych typu *off-shore*, czyli usytuowanych w obrębie akwenu. Planowana moc kompleksu składającego się z ponad stu turbin, mającego znaleźć się ok. 23 km w głąb morza w okolicy Słupska, ma wynosić 1,2 GW, natomiast całościowy potencjał bałtyckiej energii wiatrowej *off-shore* na polskim wybrzeżu szacuje się na 6 GW do 2030 r., co stanowi ponad 1/3 mocy generowanej obecnie we wszystkich tego typu obiektach w Europie.

Eutrofizacja i podwodny arsenał

Morze Bałtyckie, poza mianem jednego z najmłodszych mórz naszej planety, nosi również niechlubne miano jednego z najbardziej zanieczyszczonych. Jego zlewisko zamieszkuje ok. 85 milionów ludzi, generujących zanieczyszczenia dostające się do morza przez odpływ rzeczny. Największy problem stanowią oprócz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i metali ciężkich substancje eutrofizujące, takie jak nawozy oraz główne biogeny – związki fosforu i azotu (roczna dostawa z rzek odpowiednio 30 i 640 tys. ton). Pod względem tych ostatnich Polska, jako kraj o największym areale użytków rolnych, uchodzi za największego truciela Bałtyku. Tego typu substancje powodują wzmożony rozwój glonów i zakwit sinic, które potęgują zużycie tlenu (potrzebnego również do rozkładu opadającej na dno zwiększonej ilości biomasy), a także wpływają na wzrost zmętnienia wody i zmniejszenie ilości światła docierającego na niższe głębokości.



Zakwit sinic na Bałtyku, źródło: European Space Agency

Efektom powyższych procesów jest wzrost niedotlenienia i wegetacji strefy przydennej, która może przekształcić się w pozbawioną tlenu, martwą pustynię siarkowodorową. Według niektórych szacunków tego typu obszary zajmować mogą już ok. 10% dna bałtyckiego. Opisany proces uwiadamia wielkie znaczenie ekologiczne wlewów świeżych wód z Morza Północnego, których częstotliwość podlega niestety osłabieniu poczynawszy od lat 70.

Bałtyk to także istne cmentarzysko wraków, ich liczba w pobliżu polskiej linii brzegowej sięga ok. 2 tysięcy. Część



z nich stanowi gratkę dla eksploratorów i historyków, jednak mogą one stanowić wielkie zagrożenie ekologiczne, ponieważ korodujące kadłuby zatopionych jednostek spowodować mogą wycieki znajdującego się w nich paliwa. W ostatnim czasie najgłośniejszym mówi się o wraku tankowca „Franken”, zatopionym w 1945 r. na południowy wschód od miejscowości Hel, którego dalsza korozja zagraża wyciekami 1,5 mln litrów ropy. Ślady paliwa pochodzącego nie tylko z wycieków platform wiertniczych lub jednostek pływających (miesięczny ruch na Bałtyku sięga nawet 5 tys. statków, a w ciągu 20 lat liczba ta ma podwoić się), ale właśnie z przeciekających wraków stwierdzane są w wodach Bałtyku już od pewnego czasu, podobnie jak obecność innych, bardzo groźnych substancji.

Ustalenia konferencji poczdamskiej w 1945 r. wymagały pozbycia się pozostałego po wojnie arsenału broni, z których znaczne ilości trafiły właśnie do Morza Bałtyckiego. W ten sposób w rejonie Cieśnin Duńskich zatopiono ok. 200 tysięcy ton tego typu materiałów, a na obszarze reszty morza łącznie ok. 50 tysięcy ton (największe składowiska to Głębia Bornholmska – 40 tys. ton), z czego 15 tys. ton stanowią bojowe środki chemiczne (m.in. luizyt, sarin, cyklon B). Korodujące pojemniki z chemikaliami powodują ich stopniowe przedostawanie się do wód, co stanowi zagrożenie nie tylko dla organizmów morskich, ale także dla ludzi.

Od kilku dekad powtarzają się przypadki poparzeń rybaków przez zaplątane w sieci bryłki iperytu, a nawet wzrostu zachorowalności na raka skóry i płuc (oprócz ludzi wykrywano także nowotwory wśród ryb bałtyckich), co może mieć także związek z przypuszczalnie radioaktywnymi odpadami, zatopianymi nielegalnie przez Rosjan w okolicy Gotlandii na przełomie lat 80. i 90. Ponieważ część ładunków deponowana była poza docelowymi miejscami zrzutu, ich lokalizacja przysparza trudności, a zarazem stanowi istotny problem z punktu widzenia takich inwestycji, jak budowa Nord Stream II. Prace prowadzone w strefie przydennej mogą spowodować wzniesienie się toksycznych związków z dna i ich przemieszczanie się na odległość kilkudziesięciu kilometrów.

Potencjał akwenu

Morze Bałtyckie stanowi pole do wielu interesujących, interdyscyplinarnych rozważań. Szczególną uwagę należy

zwrócić na względy ekologiczne – mimo iż zrealizowano cel utworzenia morskich obszarów chronionych, zajmujących 12% powierzchni akwenu, stale prowadzone i liczne działalności człowieka w obrębie morza: od wydobywania surowców i budowy infrastruktury podmorskiej, przez rybołówstwo aż po energetykę, w mniejszym lub większym stopniu, oddziałują na łatwy do zaburzenia ekosystem niewielkiego i płytkiego morza, jakim jest Bałtyk. Tylko zachowanie czystości jego wód pozwoli na wykorzystanie w pełni jego potencjału gospodarczego, np. utrzymaniu dochodów z turystyki i połowu ryb, a także możliwości rozwoju marynkultury w postaci upraw makro- i mikroglonów (np. do produkcji nawozów i biopaliw) czy hodowli małży, która może przyczynić się pośrednio do lokalnego obniżenia poziomu biogenów w wodzie morskiej. A będzie to możliwe tylko przy wspólnym zaangażowaniu wszystkich nadbałtyckich krajów.

Źródła i linki:

- www.jednaziemia.pl – witryna popularnonaukowa PIG
- www.infolupki.pgi.gov.pl – informacje o górnictwie ropy i gazu
- www.ecoportall.com.pl
- www.teraz-srodowisko.pl
- www.ekologia.pl
- www.balticarium.com – przyjazna strona o faunie bałtyckiej
- www.hel.univ.gda.pl – witryna stacji morskiej Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego
- www.satbaityk.pl – Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego; dostęp do map z aktualnymi pomiarami
- www.proza.ocean.ug.edu.pl – system prognozy falowania Bałtyku
- www.model.ocean.univ.gda.pl – system prognozy warunków hydrologicznych i hydrodynamicznych Bałtyku
- www.io-warnemuende.de oraz www.bio-50.io-warnemuende.de – strona i geoportal morski Leibniz Institut w Rostoku
- www.helcom.fi – strona Komisji Helsińskiej, zajmującej się ochroną środowiska Bałtyku
- www.fundacjamare.pl – fundacja na rzecz zabezpieczania bałtyckich wraków zagrażających wyciekami
- www.chemsea.amw.gdynia.pl – projekt badawczy Akademii Marynarki Wojennej dotyczący broni chemicznej w Bałtyku
- www.wnp.parlamentarny/gospodarka/baltyk-to-tykajaca-bomba-zegarowa-zatopione-beczki-z-bronia-chemiczna-moga-sie-rozszczelnic-w-kazdej-chwili,9433.html
- www.naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C412891%2Ckosmiczno-robotyczna-pomoc-dla-baltyku.html
- www.rp.pl/Rzecz-o-historii/303029813-Jakie-zagrozenie-stwarza-bron-chemiczna-na-dnie-Baltyku.html
- www.wrakibaltyku.pl – mapa z częścią zlokalizowanych wraków polskiego wybrzeża
- www.marinetraffic.com – mapa ruchu większych jednostek morskich, m.in. na Bałtyku
- www.baltyk3.pl/ – projekt fermy wiatrowej Bałtyk Środkowy III
- www.gdansk.naszemiasto.pl/artikul/morze-baltyckie-magazynem-broni-i-srodkow-chemicznych,1101923,art,t,id,tm.html
- www.dzienniknaukowy.pl/planeta/zatopiony-baltyku-arsenal-daje-o-znac-zrost-nowotworow-u-ryb
- www.trojmiasto.wyborcza.pl/trojmiasto/7,35612,22063981,tyysiace-ton-broni-chemicznej-zatopionej-w-baltyku-nadal-grozne.html
- Mojski E., 2005, *Ziemia polskie w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy*, Wyd. PWN, Warszawa.
- Szymelfenig M., Urbański J. (red.), 2008, *Morze Bałtyckie – o tym warto wiedzieć*, Polski Klub Ekologiczny, Gdańsk.
- Zimna J., Przedzimyrska J., Matczak M., Zaucha J., 2013, *Mapa Drogowa rozwoju polskich obszarów nadmorskich opartej na czerpaniu korzyści z innowacyjnych form wykorzystania zasobów Bałtyku*, Instytut Morski, Gdańsk.
- *Bałtyk i Pobrzeże Bałtyku*, folder PIG i PSH
- *Przyszłość Morza Bałtyckiego – tendencje rozwojowe*, Program WWF na rzecz ochrony Ekoregionu Bałtyckiego
- *First version of the „State of the Baltic Sea” report, 2017, State of Baltic Sea – Holistic Assessment, HELCOM.*



Inspirujące lekcje geografii i przyrody



Jak zbadać gleby i skały?
Jak opisać erupcję wulkanu?
Jak zmierzyć górę?
Jak ocenić poziom dobrobytu?
Jak policzyć migrację?
Jak poznać karboński świat?

Szczegóły i zamówienia na naszej stronie: www.aspress.com.pl/scenariusze/

eprasa.pl c6cf6bae88

Czy Polsce grozi stepowienie?

Stan zasobów wodnych Polski

■ Spoglądając przez okno w pochmurne i deszczowe dni trudno jest kwestionować obfitość zasobów wodnych naszego kraju. Tymczasem naukowcy twierdzą, że problem istnieje, a odczuwany przez nas okresowy nadmiar deszczowej aury nie przekłada się na zasobność wody, jaka pozostaje do dyspozycji ludności.

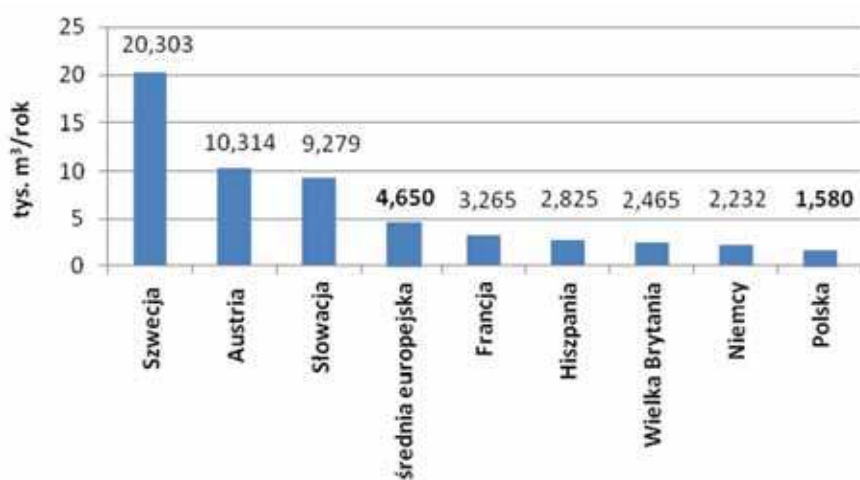
Krzysztof Trojan

magister geografii, UJ Kraków

Ile mamy wody?

O kwestii zasobów wodnych Polski przypominają coroczne doniesienia mediów o deficytach wody w różnych regionach naszego kraju. W roku bieżącym było to m.in. rekordowe obniżenie się poziomu jezior mazurskich o ok. 40 cm. Zjawiska tego typu, ze względu na swą spektakularność, bardzo uwydatniają problem, za którym stoją również dane liczbowe Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Dla zasobów wodnych Polski największe znaczenie posiadają wody powierzchniowe, których udział w poborze na cele gospodarcze sięga 96%. Ich objętość szacuje się na 61,9 km³/rok. Z kolei potencjał wód podziemnych, wykorzystywanych w mniejszym stopniu, oceniany jest na 13,8 km³/rok, co daje w przeliczeniu na osobę średnio ok. 1 m³ na dobę. Sumując powyższe wartości oszacowano, że na jednego mieszkańca Polski w ciągu roku przypada 1580 m³ wody. Wielkość ta na przestrzeni ostatniego półwiecza wahała się od 1140 do 2570 m³, co świadczy o znacznej zmienności warunków hydrologicznych naszego kraju. Czy jednak powyższe wartości są wystarczające? W odniesieniu do średniej europejskiej wynoszącej 4650 m³/rok, Polska wypada bardzo słabo. W skali Europy zajmujemy czwarte miejsce od końca pod względem zasobów wodnych przypadających na jednego mieszkańca, wyprzedzając jedynie Czechy, Cypr i Maltę. Zasoby wodne Polski są mniejsze nawet niż w Hiszpanii, a jedynie o 180 m³/osobę większe niż w Egipcie. Prognozy kli-



Ryc. 1. Zasoby wodne w przeliczeniu na 1 mieszkańca w wybranych krajach Europy, dane: KZGW

matologiczne, obejmujące okres do końca obecnego stulecia, również nie nastrajają optymistycznie. Zwiastują one z jednej strony wzrost częstotliwości susz oraz obniżenie wilgotności gleb, z drugiej natomiast – wzrost prawdopodobieństwa występowania gwałtownych opadów. Mające nastąpić zmiany nie będą zatem związane z objętością opadów, ale z ich sezonowością, a dokładniej ze wzrostem sum opadów półrocz zimowego, kiedy ogólne zapotrzebowanie na wodę jest mniejsze. Zmiany te spowodowane są tendencją do wzrostu średniej temperatury powietrza półrocz chłodnego. To z kolei powoduje podwyższenie wartości parowania terenowego, uniemożliwiającego wystarczającą alimentację wód podziemnych, a co za tym idzie – niedobór wody w okresie letnim. Prognozy mówią, że do 2020 r. częstotliwość występowania susz w Polsce może wzrosnąć nawet dwukrotnie, a okresy posuchy przerywane będą gwałtowniejszymi opadami.

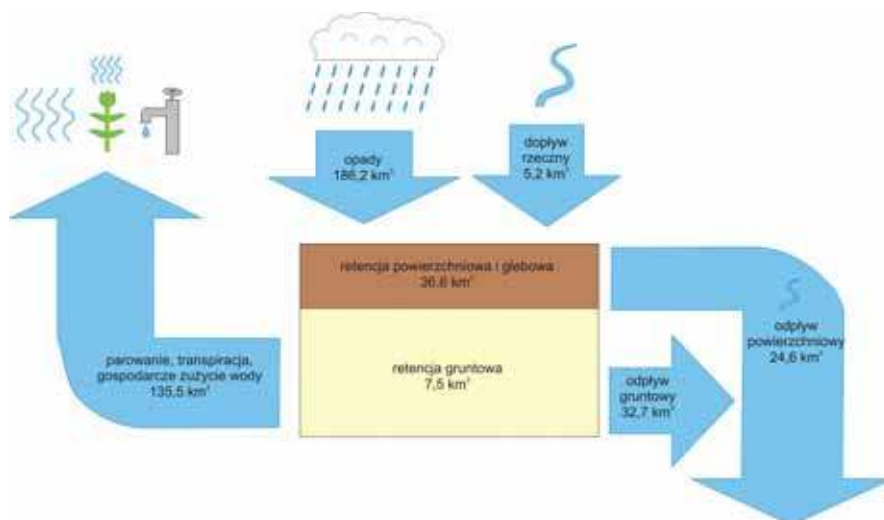
Natura i presja człowieka

Pojawia się zatem pytanie o przyczyny zasygnalizowanego problemu. Można je podzielić na dwie kategorie – naturalne oraz antropogeniczne. Polska znajduje się w obszarze stosunkowo mało korzystnych warunków hydro-meteorologicznych. Przez jej terytorium przebiega, w postaci klina między Bałtykiem a Karpatami, wschodnioeuropejski obszar niskich opadów o wartościach poniżej 600 mm/rok. Obecnie roczna suma opadów wynosi dla Polski średnio nieco powyżej 600 mm/rok i waha się od 500 mm w pasie nizin do wartości znacznie przekraczających 1000 mm w obszarach górskich. Zasięg obszaru niskich sum opadów nakłada się na przebiegający od zachodu po Ukrainę pas podwyższonych wartości parowania terenowego. Istotnym czynnikiem jest również sezonowość opadów, związana z cyrkulacją powietrza – cyklonalną z zachodu i antycyklonalną ze wschodu, jako konsekwencją

przejściowego klimatu Polski. Pierwsza z nich odpowiedzialna jest za opady, szczególnie wysokie w półroczu zimowym, natomiast druga z nich przyczynia się do okresów bezopadowych.

Powyższe warunki wpływają na pogorszenie warunków hydrologicznych i skutkują m.in. obniżeniem wartości współczynnika odpływu rzek (stosunku odpływającej wody do sumy występujących w tym czasie opadów i roztopów), który w Polsce wynosi ok. 25% i jest nawet dwukrotnie niższy niż dla rzek Europy Zachodniej. Podobnie jest ze średnim odpływem jednostkowym rzek, który wynosi $5,4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$, a który dla Europy wynosi średnio $9,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Naturalne predyspozycje środowiska do kształtowania się skromnych zasobów wodnych zostały w ciągu wieków pogłębione przez presję człowieka na naturalne elementy bilansu hydrologicznego. Największym zmianom zostały poddane zdolności retencyjne środowiska. Jeszcze w średniowieczu większą część powierzchni naszego kraju zajmowały lasy i obszary podmokłe, stanowiące naturalny rezerwuár wód. Od XIV w. udział obszarów podmokłych zmalał do 14%. Wśród nich obecnie jedną trzecią zajmują torfowiska, które w znacznej mierze wykazują cechy odwodnienia. Zmniejszył się również udział lasów (z 70 do 32% powierzchni Polski). Szczególną rolę pełnią lasy obszarów źródłowych i wokół akwenu, nie tylko ze względu na ochronę jakości wód, ale także kształtowania się reżimu odpływu. W Polsce 21% powierzchni lasów państwowych ma obecnie status lasów wodoochronnych, gdzie powinna odbywać się zrównoważona gospodarka leśna, kładąca szczególny nacisk na zachowanie warunków hydrologicznych. Tymczasem w wielu miejscach obserwowane jest postępujące obniżanie się poziomu wód gruntowych w lasach. Oddziaływanie człowieka na zasoby wodne nie sprowadziło się jedynie do trzebieży lasów. Na skutek upowszechniania się rolnictwa przeprowadzano masowe melioracje i osuszanie gruntów, a w celach komunikacyjnych i gospodarczych – liczne regulacje koryt rzecznych. Zabiegi te doprowadziły w znacznej mierze do obniżenia się zwierciadła wód gruntowych, przyspieszonego odpływu w rzekach oraz osuszenia małych dolin, mokradeł i wielu małych zbiorników wodnych. W ten sposób drastycznie zredukowano najistotniejszy element



Ryc. 2. Schemat bilansu wodnego Polski

Opracowanie własne, na podstawie Chełmicki W., 2001, *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*, PWN, Warszawa

magazynujący wodę w środowisku naszego kraju, czyli obszary tzw. małej retencji. Dlatego też obecne zdolności retencyjne obszaru Polski ($113 \text{ km}^3/\text{rok}$) plasują ją na jednym z ostatnich miejsc w skali Europy.

Skala problemu

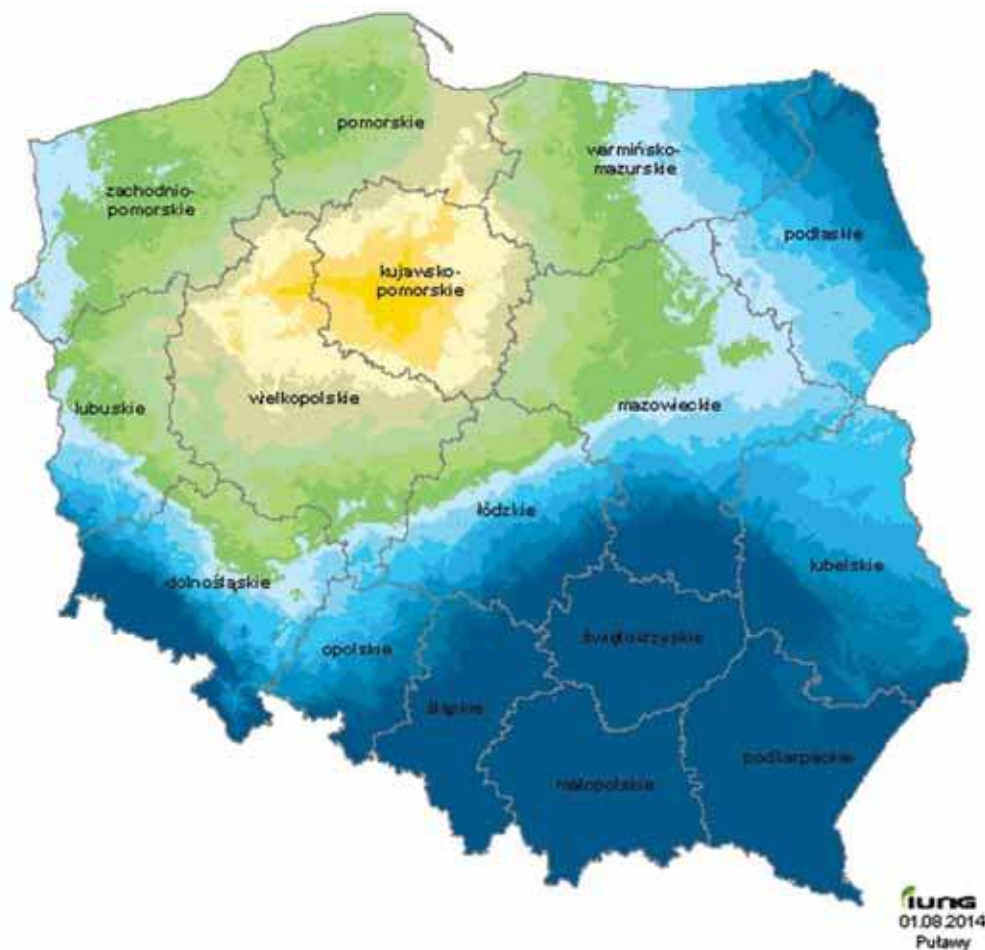
Problem deficytu wody na obszarze Polski ma kilka aspektów, wynikających z nierównomierności warunków hydrologicznych i sposobem gospodarowania wodami: niedobór zasobów w pewnych okresach w ciągu roku (aspekt czasowy), w określonych miejscach (aspekt przestrzenny) oraz niedobór wody o odpowiedniej jakości (aspekt jakościowy).

Okresy niedoboru wody występują w Polsce najczęściej w marcu oraz w półroczu letnim – od czerwca do września. Pomimo faktu, że nadmiar wody w postaci powodzi w 60% przypadków dotyczy właśnie miesięcy letnich, również na ten czas przypadają deficyty wody. Przyczyna leży w wyższych wartościach ewapotranspiracji oraz większym zapotrzebowaniu na wodę z uwagi na wyższe temperatury, prace rolnicze i wzrost roślin w okresie wegetacyjnym.

Przy szczególnie niekorzystnych warunkach hydrometeorologicznych może powstać zjawisko suszy, która przebiega w trzech etapach. Pierwszy, wywołany długotrwałym brakiem opadów i potęgowany wysoką temperaturą, nosi nazwę **suszy atmosferycznej**. Z czasem mogą zacząć wyczerpywać się zasoby wilgoci w glebach, nieustannie drenowanych przez cieką wodę, prowadząc do wystąpienia **suszy glebowej**.

Przy stale obniżającym się poziomie wód gruntowych może dojść do wysychania studni, źródeł, a nawet utraty wody przez cieką, co nazywane jest **suszą hydrologiczną**, która posiada najpoważniejsze następstwa dla funkcjonowania środowiska i gospodarki człowieka. Przerwaniu suszy musi towarzyszyć opad o odpowiednich parametrach. Występujące w lecie intensywne, często krótkotrwałe opady, powodują gwałtowne, przeważnie lokalne wezbrania, które jednak nie są w stanie uzupełnić zasobów wód z uwagi na zbyt szybki przebieg opadu i przyspieszony odpływ wody. Ocenia się, że ok. 50% rocznego odpływu wód z Polski to niewykorzystany, przyspieszony odpływ pochodzący ze spływu powierzchniowego.

W aspekcie przestrzennym problem okresowego deficytu wody dotyczy, w zależności od roku, nawet $\frac{3}{4}$ powierzchni Polski. Na podstawie wieloletnich obserwacji można wyróżnić kilka regionów, które najczęściej muszą borykać się z niedoborem zasobów wodnych. Są nimi Nizina Wielkopolska, Pojezierze Wielkopolskie, Nizina Mazowiecka i Podlaska, północ Wyżyny Lubelskiej oraz obszary dużych aglomeracji (głównie śląskiej i łódzkiej). Obserwacje potwierdzone są przez obliczane wartości wskaźników wilgotnościowych, takich jak **Klimatyczny Bilans Wodny**. Stanowi on różnicę między przychodem wody w postaci opadów a jej rozchodem na skutek parowania i ewapotranspiracji. Dla wymienionych obszarów wartość KBW jest najniższa, zwłaszcza dla terenu Wielkopolski. Właśnie w odniesieniu do tego regio



Ryc. 3. Klimatyczny Bilans Wodny Polski w lipcu 2014 r.,
źródło: www.susza.iung.pulawy.pl

nu, najczęściej dotykanego przez deficyt wody, rozpowszechniła się teoria „stepowienia” obszaru Polski. Nie jest to jednak pojęcie ścisłe, które faktycznie oznacza przekształcanie zbiorowisk roślinnych, mogące zachodzić między innymi na skutek nadmiernego osuszania. Dla naszego kraju bardziej adekwatnym określeniem jest zatem odwodnienie lub, wspomniany już, pogłębiony deficyt wody. Zróżnicowanie przestrzenne warunków hydrologicznych Polski sprawia, że obok obszarów suchych występują te o ponadprzeciętnej zasobności w wodę. Należą do nich zwłaszcza tereny Polski południowej.

W sytuacji ograniczonych zasobów wody użytkowej szczególne znaczenie ma jakość wody, jaka pozostaje do dyspozycji ludności. W pięciostopniowej skali czystości wód, w największej ilości punktów diagnostycznych rzek Polski stwierdzono wody klasy IV (63%) i III (36%), natomiast dla jezior klasy III (44%) i II (37%). Tymczasem dla zapotrzebowania w wodę pitną może być

wykorzystywana jedynie woda klasy I. W tym celu wprowadzane są obszary ochronne wokół zbiorników wody pitnej i punktów ujęć wody (podziemnych i powierzchniowych), a także dopływów tychże zbiorników. W Polsce dla zaopatrzenia ludności w wodę pitną wykorzystuje się jednak przede wszystkim wody podziemne o lepszej jakości (9% z nich posiada I klasę czystości). Wyjątek stanowią południowe województwa Polski (śląskie, małopolskie, podkarpackie), w których pobór wód podziemnych na ten cel jest mniejszy niż 50% i ustępuje zasobom powierzchniowym.

Co można zrobić?

Podstawowym profilem działalności, mającym zwiększyć zasoby wodne Polski, powinny być, zgodnie z unijną Ramową Dyrektywą Wodną, szeroko zakrojone inwestycje w małą retencję. Obejmuje ona nie tylko zachowanie obecnych oraz tworzenie nowych, małych zbiorników wodnych i budowli

piętrzących. Pojęcie małej retencji obejmuje np. modernizację melioracji, zabiegi agrotechniczne prowadzące do ograniczenia spływu powierzchniowego, wzrostu zawartości próchnicy w glebie i poprawy struktury gleb, jak również rozwiązywania planistyczne, umożliwiające spowolniony odpływ wód i zapewniający ich zrównoważoną infiltrację. Innym rozwiązaniem jest rozwijanie tzw. dużej retencji, czyli budowy dużych zbiorników retencyjnych. Obecnie w Polsce funkcjonuje sto tego typu obiektów, które są w stanie zatrzymać niecałe 6% rocznego odpływu wód. To zbyt mało, aby zagwarantować zaopatrzenie w wodę w okresach jej niedoboru. Kolejnym kierunkiem zmian powinno być zmniejszanie wodochłonności gospodarki narodowej (ilości wody zużywanej na wytworzenie 1000 euro PKB), pod względem której Polska zajmuje 6 miejsce od końca w skali Europy. Dotyczy to w szczególności przemysłu, ponieważ właśnie na różnego rodzaju cele produkcyjne przeznaczają się

w Polsce 73% ogólnego poboru wody (dla porównania udział poboru na cele wodociągów wynosi 19%). Wśród stosowanych rozwiązań można wymienić wprowadzanie zamkniętych obiegów wody w zakładach przemysłowych, uszczelnianie instalacji oraz inwestycje w mniej wodochłonne technologie. Istotnym polem działalności jest również zwiększenie wydajności oczyszczania wód, które można ponownie wykorzystywać do niektórych celów (jest to tzw. „szara woda”).

Począwszy od 1980 r. systematycznie wzrasta procent ludności korzystającej z kanalizacji i oczyszczalni ścieków oraz spada ilość ścieków komunalnych i przemysłowych odprowadzanych do wód powierzchniowych. Jednak w porównaniu z innymi krajami europejskimi wciąż niewystarczająca liczba Polaków (57%) korzysta z kanalizacji, a niekontrolowane zrzuty ścieków stanowią wciąż aktualny problem. Duże nadzieje można również wiązać z poszerzeniem możliwości wykorzystania wód opadowych, a także perspektywicz-

nych zasobów wód podziemnych, ocenianych na 2,5 razy większe od obecnie rozpoznanych zasobów dyspozycyjnych.

Podstawą wszystkich wymienionych działań powinna być edukacja w kierunku wzrostu świadomości ekologicznej i kształtowania postaw racjonalnego korzystania z wody. Oczywiście nie powinno się kończyć na wiedzy, ale na jej przełożeniu na wiele codziennych nawyków. **Ocenia się, że przeciętny Polak w ciągu doby na wszelkie czynności zużywa ok. 150-200 litrów wody.** Przy stosowaniu wodoszczędných urządzeń i racjonalnym korzystaniu z wody, ilość tę można by ograniczyć prawie dwukrotnie. Sposobów jest wiele: korzystanie z prysznica zamiast kąpeli w wannie, uszczelnianie spłuczek i kranów, gromadzenie deszczówki do podlewania ogrodów, korzystanie ze zmywarek.

Prowadzenie dalekosiężnych, zakrojonych na szeroką skalę przemian i inwestycji w przemyśle oraz gospodarce wodnej jest sprawą priorytetową. Jednak dla przebiegu w pełni zrównoważonego rozwoju niezbędna jest działalność oddolna – zmiana nawyków korzystania z wody. A zatem – myśląc globalnie, działajmy lokalnie.

Ciekawe linki:

- 1 <http://kropladokropli.pl> – bezpłatny test zużycia wody i możliwości jej oszczędzania
- 1 <http://archiwum.klubgaja.pl/swf/woda/> – ciekawa aplikacja edukacyjna o zasobach wodnych
- 1 <http://posucha.imgw.pl>; <http://www.susza.iung.pulawy.pl> – monitoring suszy w Polsce

1 hamburger	240 LITRÓW	1 szklanka mleka	200 LITRÓW
1 jajko	135 LITRÓW	1 jabłko	70 LITRÓW
1 pomarańcza	50 LITRÓW	1 kromka chleba	40 LITRÓW
1 ziemniak	25 LITRÓW	1 tabliczka czekolady	2400 LITRÓW
1 filiżanka herbaty	35 LITRÓW	1 porcja masła	18 LITRÓW
1 filiżanka kawy	140 LITRÓW	1 pomidor	13 LITRÓW
1 szklanka soku pomarańczowego	170 LITRÓW	1 torebka chipsów ziemniaczanych	185 LITRÓW

Ryc. 4. Obliczenie tzw. śladu wodnego pokazuje skalę zużycia wody w różnych gałęziach produkcji, źródło: www.unwater.org





Polska na szlaku tornad

Wraz z końcem lata zakończył się w Polsce szczyt sezonu burzowego. Podobnie jak w latach ubiegłych burze doprowadziły do bardzo poważnych strat materialnych. Odnotowano także przypadki występowania trąb powietrznych. Czy obecność tego typu ekstremalnych zjawisk pogodowych świadczy o niepokojących objawach globalnego ocieplenia, czy też stanowią one element naszej strefy klimatycznej?

Krzysztof Trojan

magister geografii UJ

Jak dotąd (tj. do momentu przygotowywania niniejszego tekstu) w tym roku w Polsce odnotowano wystąpienie pięciu trąb powietrznych. Nie wiadomo jeszcze co przyniesie pozostała część sezonu tornad, który trwa zwykle od maja do końca września, ale liczba tegorocznych raportów jest znacznie niższa niż w roku ubiegłym. Wówczas wystąpiło ich jedenaście, z czego sześć stanowiły trąby wodne. Dla osób niezorientowanych liczba ta może dziwić, ponieważ tornado postrzegane jest zazwyczaj jako zjawisko egzotyczne dla naszego regionu. Ponadto nie wszystkie przypadki wystąpienia trąb powietrznych docierają do wiadomości publicznej – zwykle dowiadujemy się jedynie o tych najsilniejszych lub takich, które zostały zarejestrowane przez bezpośrednich obserwatorów (liczba raportowanych trąb powietrznych ściśle koreluje z gęstością zaludnienia danego obszaru). Przykuwają one jednak uwagę mediów właśnie z powodu ich wyjątkowości oraz śladów ich niszczycielskiej siły.

Tornado są zjawiskiem, które obserwowano dotąd na wszystkich kontynentach z wyjątkiem Antarktydy. W Polsce warunki do ich tworzenia się mają miejsce niemal przez cały rok, poza grudniem. Najbardziej sprzyjający jest okres od maja do września ze szczytem w lipcu (prawdopodobieństwo 7%) i sierpniu (prawdopodobieństwo 5%), natomiast w ujęciu dobowym trąby powietrzne uderzają najczęściej w godzinach między 16.00 a 20.00.

Warunkami sprzyjającymi powstaniu tornad jest ścieranie się mas powietrza silnie zróżnicowanych pod względem termicznym i wilgotnościowym. Dlatego też częściej tworzą się one na granicy obszarów o różnym ukształtowaniu (np. na granicy nizin oraz wyżyn, pogórzy i wysoczyzn) lub pokryciu terenu (obrzeża dużych zbiorowisk leśnych, brzegi dużych akwenów), a przestrzenne rozmieszczenie tornad wykazuje wyraźny związek z liniami wybrzeży oraz orografią poszczególnych krajów (tzn. spadek liczebności ze wzrostem wysokości bezwzględnej; w Polsce związek ten jest mniej wyraźny, ale trąby powietrzne powyżej 300 m n.p.m. są sporadyczne). Istotnym czynnikiem determinującym jest także ekspozycja

danego regionu na napływ mas powietrza o zróżnicowanych parametrach.

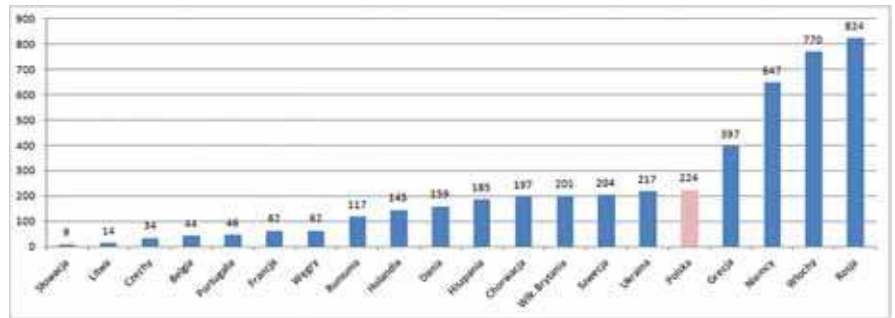
Najbardziej znanym na świecie obszarem, gdzie kumulują się powyższe elementy jest tzw. „amerykańska aleja tornad”, rozciągająca się między Zatoką Meksykańską a Krainą Wielkich Jezior, sięgając również południowych terytoriów Kanady. Rozległe niziny tej części kontynentu są wystawione na swobodne ścieranie się powietrza zwrotnikowego z południowo-zachodniej części kontynentu oraz z północnej części terytoriów północnych.

W pewnym stopniu analogiczne warunki można odnaleźć także na kontynencie europejskim. Wyróżnia się tam dwa główne szlaki tornad, biegnące pasem nizin między łańcuchami Alp i Karpat a Morzem Północnym i Bałtyckim – czyli tam, gdzie wilgotne powietrze polarno-morskie może trafić na suche i ciepłe masy powietrza zwrotnikowego, sprzyjając rozwojowi prądu strumieniowego w wyższych partiach troposfery.

Pierwsza „aleja tornad” biegnie od północnej Francji przez kraje Beneluksu, Nadrenię i Brandenburgię, a następnie przez terytorium Polski w stronę

obwodu kaliningradzkiego. Druga natomiast rozpoczyna się po północnej stronie łuku Alp i ciągnie się przez Czechy i południową Polskę w kierunku Wołynia, Polesia Zytomierskiego po Nizinę Środkoworosyjską. Poza tymi dwoma szlakami, za „gorące punkty” na mapie Europy uznaje się ponadto wybrzeża Morza Śródziemnego, Bałtyckiego i Północnego.

Widać więc, że te części Polski, w których najczęściej widywane są trąby powietrzne dobrze wpisują się w europejskie tło występowania tornad: poza pasem wybrzeża, z Pobrzeżem Słowińskim na czele, trąby powietrzne wędrują przez nasz kraj zazwyczaj jed-



Ryc. 2. Liczba raportowanych tornad w wybranych państwach europejskich w latach 2005-2016, wg: ESWD

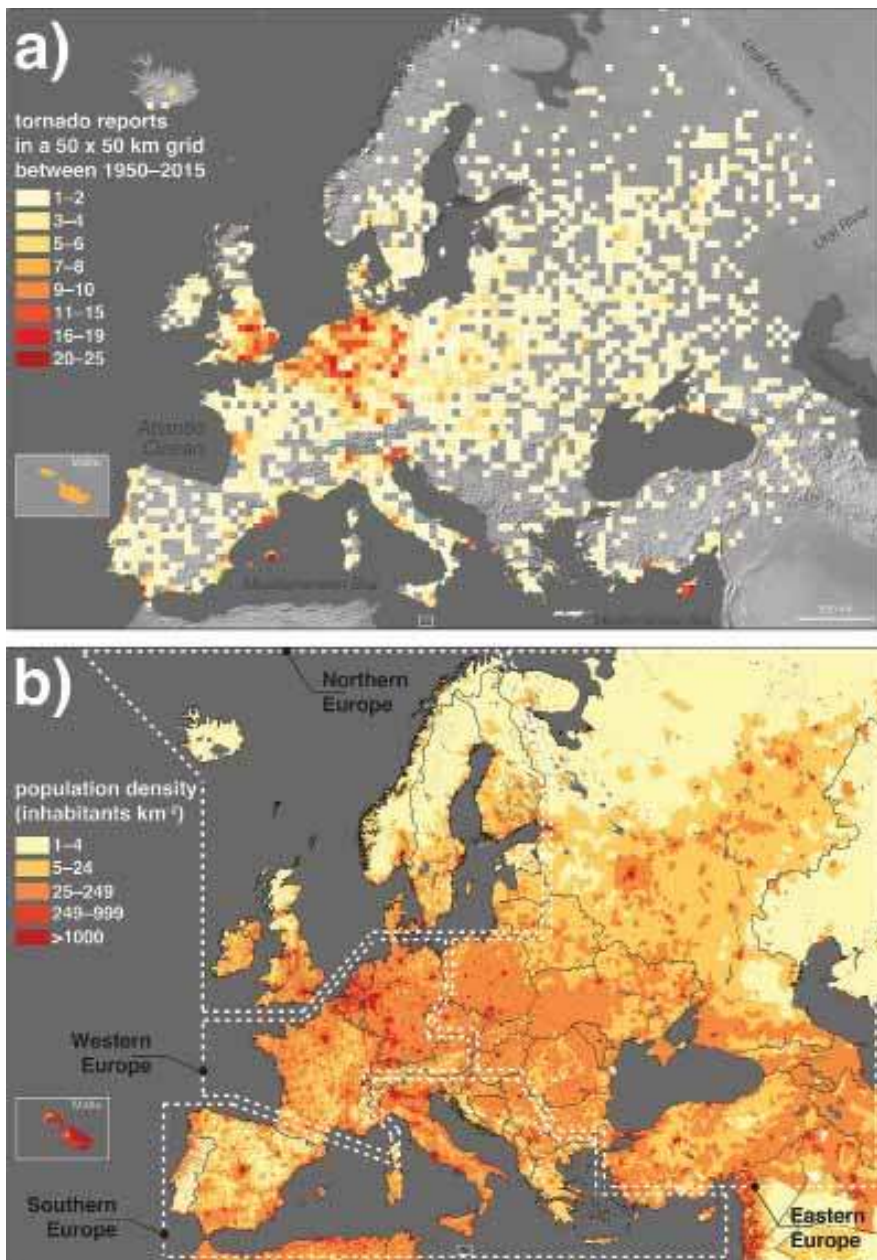
nym z trzech głównych szlaków. Pierwszy wiedzie z Ziemi Lubuskiej przez Wielkopolskę i Kujawy na Warmię

i Mazury, drugi z Małopolski przez Podkarpacie w stronę Kielecczyny i dalej – Wyżyny Lubelskiej. Natomiast trzeci bierze początek na Śląsku lub w rejonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i wiedzie przez okolice Łodzi w stronę Mazowsza. Można przypuszczać, że liczba tornad w naszym kraju mogłaby być większa, szczególnie na południu, gdyby nie obecność łuku Karpat, który stanowi częściową zasłonę przed swobodnym przepływem zwrotnikowych mas powietrza.

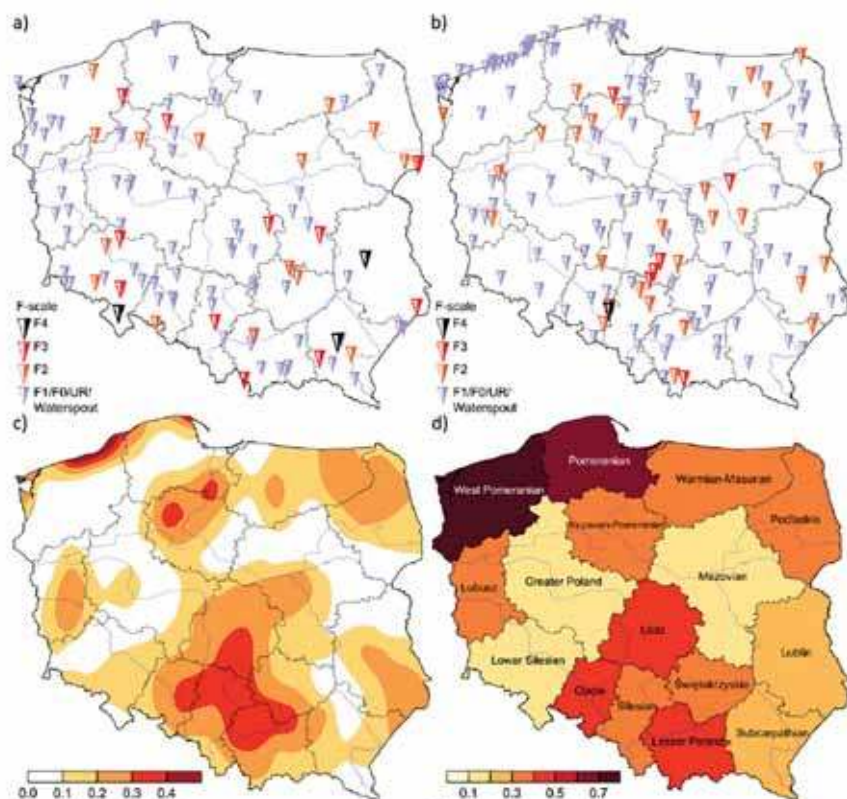
Małe wiry, wielkie kataklizmy

Poza kwestią przestrzennego zróżnicowania tornad, istotnym zagadnieniem jest ich potencjalna siła. Do jej oceny używa się międzynarodowej, sześciostopniowej skali Fujity (F0-F6, przy czym kategoria F6 jako bardzo mało prawdopodobna często jest pomijana), która jest skalą opisową opartą na obserwacji zniszczeń dokonanych przez trąbę powietrzną. Dla warunków europejskich opracowana została ponadto jedenastostopniowa skala TORRO (The Tornado and Storm Research Organization), natomiast dla Polski zaproponowano jeszcze, rzadko używaną, skalę trzystopniową.

Tornada w naszym kraju, podobnie jak w całej Europie, w większości sięgają stopnia F2 (do T3 w skali TORRO, wiatr do 185 km/h), natomiast te o sile F3 (T4-T6/T7) występują do trzech razy w ciągu roku, z których szczególnie silne (T7 o sile wiatru do 340 km/h) ma miejsce do dwóch razy na dekadę. W ostatnim czasie miały one miejsce w latach 2007, 2008 i 2012. Dzięki analizie źródeł wiadomo jednak, że Polskę mogą nawiedzać nawet niszczycielskie tornada o sile F4, czyli z prędkością wiatru sięgającą 400 km/h. Tego typu kataklizmy najprawdopodobniej miały miejsce w latach 1862, 1866, 1886 oraz 1931 r., a w ostatnim czasie



Ryc. 1. a) liczba tornad na 10 tys. km² w Europie w latach 1950-2015, b) gęstość zaludnienia (os./km²) w roku 2015, wg: Antonescu i in. 2016



Ryc. 3. Występowanie tornad w Polsce

a) w latach 1899-1998, b) w latach 1999-2013, c) średnia roczna ilość tornad (1999-2013), d) średnia roczna ilość tornad wg regionów (1999-2013); źródło: Taszarek, Brooks 2014, zmienione

– w 2008 r. w okolicach Strzelec Opolskich.

Siła tornad jest związana z mechanizmem ich powstawania, który może być zróżnicowany. Najpotężniejsze z nich tworzą się w obrębie mezocyklonów (superkomórek burzowych) na styku silnie zróżnicowanych mas powietrza. Sprzyjają im wysoka zawartość pary wodnej i pionowe gradienty temperatury, silne przepływy mas powietrza w górnej troposferze oraz nasilona konwekcja, które prowadzą do silnego pionowego rozbudowania komórki bu-

rzowej. Mezocyklon z towarzyszącą mu trąbą powietrzną może przemieszczać się na długości kilkudziesięciu kilometrów (w warunkach ekstremalnych nawet 400 km – np. we Francji w 1669 r.), a w czasie swojego istnienia, czyli maksymalnie ok. godziny, pozostawić może pas zniszczeń o szerokości nawet 4 km (w warunkach europejskich rzadko powyżej 100 m).

Tornada tego typu najczęściej występują na szlaku wiodącym z wyżyn Polski południowo-wschodniej ku Mazowszu. Zdecydowana większość pol-

skich tornad powstaje jednak poza superkomórkami, zwykle wzdłuż układów niżowych w warunkach wzmożonej konwekcji i wirowości powietrza. Wówczas ich siła jest mniejsza (do F1), a żywotność ograniczona do kilkunastu minut.

Trzeci rodzaj tornad nazywany jest tornadami szkwałowymi (gustnado), które nie osiągają zwykle znacznej siły, ale poprzedzają nadejście zjawiska znacznie silniejszego. Mowa tutaj o linii szkwału, czyli układzie silnych burz mogących tworzyć się podczas przejścia chłodnych frontów atmosferycznych. W warunkach Europy Środkowej zjawisko to ma miejsce do kilku razy w ciągu roku, zwykle w sezonie letnim.

Na obrazach radarowych szkwał widoczny jest jako łukowato wygięta formacja (bow echo), której zawirowana północna część sprzyja powstawaniu trąb powietrznych. Z kolei część centralna łuku wiąże się z przejściem wału szkwałowego, gdzie wiatr osiąga prędkości przekraczające 100 km/h. Ponadto podczas przejścia tego typu układów konwekcyjnych może powstawać zjawisko downburst, czyli silnego prądu zstępującego w komórce burzowej często połączonego z nawałnym deszczem, który po dotarciu do powierzchni ziemi rozchodzi się we wszystkich kierunkach.

Downburst może wyglądać podobnie do trąby powietrznej, jak również powodować zniszczenia o zbliżonej skali. W szczególnych przypadkach szkwał może przybrać postać struktury derecho, w której szybko przemieszczający się układ burzowy przebywa drogę nawet kilkuset kilometrów, a huraganowy wiatr towarzyszy nie tylko przejściu czoła szkwału, ale występuje również za nim.

Tego typu nawałnice przynoszą ze sobą zniszczenia podobne do tych, ja-



kie pozostawia po sobie trąba powietrzna, jednak ich przyczyną jest wiatr o kierunku liniowym, a nie wirowym. To właśnie one były odpowiedzialne za zniszczenie wielkich połaci Puszczy Pińskiej w 2002 r., za tzw. „biały szkwał” na Mazurach (2007 r.), jak również nawałnice, które w sierpniu tego roku przeszły przez Mazowsze, Podlasie oraz pas od Wielopolski po środkowe wybrzeże. Wichura, która powaliła wówczas ok. 450 km² drzewostanu w Borach Tucholskich spowodowała największe straty w polskim leśnictwie od czasu powstania Lasów Państwowych. O konieczności bliższego badania i przewidywania analogicznych zdarzeń w przyszłości świadczą ponure statystyki ostatnich 10 lat, w których na skutek podobnych nawałnic życie straciło w Polsce ponad 20 osób przy liczbie rannych przekraczającej 100.

Świadomość zagrożeń i prognostryka

W samych tylko latach 1950-2015 w Europie tornada przyniosły straty w wysokości ok. 1 miliarda euro, powodując śmierć ponad 300 osób przy liczbie rannych sięgającej 4,5 tysiąca. Jak dotąd do najbardziej tragicznych należały trąby powietrzne, które nawiedziły Maltę w 1556 r., Sycylię w 1851 r. oraz

miejsowości Iwanowo i Balino w Rosji (1984 r.) – w każdym z tych zdarzeń śmierć poniosło 400-600 osób. Z kolei kilkadziesiąt ofiar pociągnęły za sobą kataklizmy w Oria (Włochy – 1897 r.), Montville (Francja – 1845 r.) czy w Madrycie (1886 r.).

Ocenia się, że w Polsce tornada z efektem śmiertelnym występują 1-2 razy na dekadę, co stanowi do 10% silnych trąb powietrznych notowanych w naszym kraju. Od 1820 r. do dziś na skutek tego typu zdarzeń zginęło w Polsce nieco ponad 100 osób, z czego najtragiczniejsze zdarzenie miało miejsce w maju 1886 r. w Krośnie Odrzańskim, kiedy śmierć poniosło 13 osób. Przytoczone dane, dotyczące jedynie trąb powietrznych bez udziału innych zjawisk burzowych, przemawiają zdecydowanie przeciwko bagatelizowaniu tego typu zjawisk.

Analiza źródeł historycznych wskazuje, że trąby powietrzne nie są w naszym kraju, ani też w Europie zjawiskiem nowym. Biorąc pod uwagę okres ostatnich dwóch wieków, w Polsce notowane były średnio 4 tornada rocznie, natomiast w ostatnich latach średnia wzrosła do 8-14 przypadków. Wśród nich 1-3 rocznie można zaliczyć do silnych, natomiast średnio 2-3 stanowią trąby wodne. Na tle innych krajów europejskich Polska plasuje się wysoko

pod względem częstotliwości występowania tornad, ustępując jedynie Rosji, Niemcom, Włochom i Grecji.

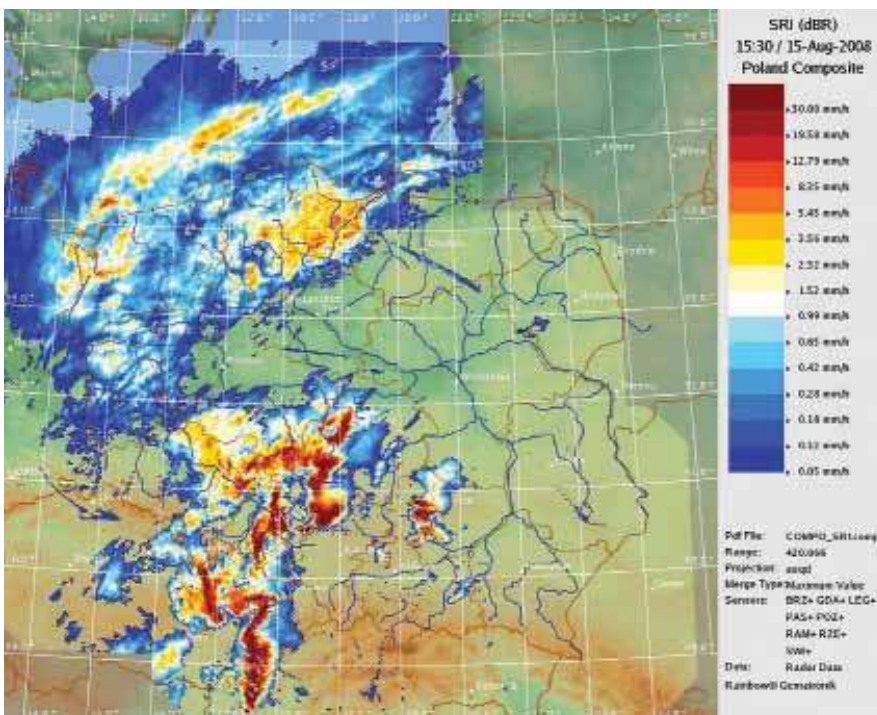
Dlaczego więc, pomimo znajomości skali zagrożenia wśród badaczy, trąby powietrzne są zjawiskiem zaskakującym i uderzającym znienacka? Jest to kwestia odpowiedniej prognostryki oraz budowy systemu ostrzegania. Większość trąb powietrznych o niewielkiej lub umiarkowanej sile powstaje w warunkach lokalnych anomalii powietrza, przez co są bardzo trudne lub niemożliwe do wcześniejszego prognozowania.

Z pewnym wyprzedzeniem można prognozować jednak trąby silniejsze, związane z superkomórkami burzowymi. Służą temu numeryczne modele pogody symulujące procesy zachodzące w atmosferze, a także radary dopplerowskie wychwytyjące wirowość powietrza. Informacje pochodzące z analiz numerycznych i radarowych mogą być wspomagane przez bieżące dane pochodzące z sondowań atmosferycznych, które w sezonie burzowym wykonywane są o godzinie 14.00 (czyli przed dobowym szczytem potencjalnego występowania tornad).

Polskie instytucje odpowiedzialne za prognostrykę i ostrzeganie w zakresie tornad, tzn. IMGW oraz Centralne Biuro Prognoz Meteorologicznych, wraz z dodatkowym zespołem specjalistów pracujących w sezonie burzowym w centrum w Warszawie, dysponują mezoskalowym modelem atmosferycznym o siatce 2,8 km, a także ośmioma radarami dopplerowskimi (system POLRAD).

Bardzo szczegółowe dane radarowe mają niestety ograniczony zasięg przestrzenny, przez co informacje o obszarach znajdujących się między nimi muszą być silnie ekstrapolowane. Ponadto system POLRAD jest nieobecny np. w województwach lubuskim, łódzkim czy lubelskim, poważnie narażonych na uderzenie trąb powietrznych (w województwie opolskim rozpoczęto budowę radaru koło Góry św. Anny).

W Polsce warunki sprzyjające tornadom można obecnie określić w przybliżeniu na 24-48 godzin przed zdarzeniem, natomiast możliwość dokładniejszego przewidzenia nadejścia trąby skracą się do niespełna trzech godzin, a nawet pół godziny. Zwykle uniemożliwia to wydanie odpowiednich ostrzeżeń dla konkretnego miejsca, tym bardziej, że w naszym kraju nie istnieje system tak sprawnego alarmowania ludności, jaki rozwinął się np. w USA.



Ryc. 4. Obraz radarowy komórek burzowych nad Polską w dniu wystąpienia trąby powietrznej koło Strzelce Opolskich w 2008 r., źródło: IMGW-PIB, dane zostały przetworzone



Ostatni raport NIK dotyczący tornad, który ukazał się po tragicznej trąbie powietrznej z 2008 r., wskazywał na uchybienia dotyczące właśnie przepływu komunikatów o zagrożeniach czy braku planów zarządzania kryzysowego.

Coraz częściej raportowane zjawiska trąb powietrznych powinny przyczynić się niebawem do rozwoju systemu prognostyczno-ostrzegawczego w najbardziej zagrożonych rejonach. Jego elementem mogłyby być także amatorskie stowarzyszenia monitorujące zjawiska pogodowe (np. polski Skywarn). Tego typu współpraca instytucji rządowych z „łowcami burz” funkcjonuje już za oceanem, a dla prywatnych obserwatorów tornad organizowane są specjalistyczne szkolenia.

Trąby powietrzne a globalne ocieplenie

Zwiększona liczba tornad obserwowanych w Polsce w ostatnich latach skłania do pytania o ich powiązanie z globalnymi zmianami klimatu. Trudność w wyciąganiu tego typu wniosków wynika z faktu, że szczegółowa obserwacja i prognozyka tornad w Europie ma na razie krótką historię, a dane z okresów wcześniejszych mogą być niepełne.

W samym tylko XX w. w miarę upływu lat możliwości zaobserwowania tego typu zjawisk znacząco wzrastały (choćabyż ze względu na wzrost gęstości zaludnienia), natomiast zaawansowane obserwacje tornad rozpoczęto niespełna 20 lat temu. Fakt ten jest przyczyną statystycznego wzrostu częstotliwości trąb powietrznych, zwłaszcza w ciągu ostatnich dwóch dekad, które stanowi bezpośrednie odbicie zwiększonych możliwości raportowania ekstremalnych

zjawisk meteorologicznych. Nie bez znaczenia ma również wzrost świadomości i doświadczenia obserwatorów – w Polsce do 2008 r. zgłaszano ponad 40 trąb powietrznych rocznie, jednak po powołaniu stowarzyszenia Skywarn, rzetelnie weryfikującego zgłoszenia, liczba ta spadła do maksimum kilkunastu zgłoszeń w ciągu roku.

Ze względu na niejednorodność i zbyt małą liczbę danych naukowcy są jak dotąd ostrożni w wyciąganiu bezpośredniej korelacji między globalnym ociepleniem a nasileniem zjawiska tornad w Europie, tym bardziej, że dane historyczne wskazują na ich znaczną siłę również w przeszłości. Przypuszcza się jednak, że potencjalnie globalne ocieplenie może spowodować przesunięcie stref oddziaływania pozatropikalnych cyklonów w kierunku biegunów, przy czym ich liczba oraz siła w ujęciu globalnym najpewniej pozostanie bez zmian.

Wpływ ocieplenia może też wyrażać się w zwiększonym parowaniu, a zatem większej wilgotności części mas powietrza oraz w zwiększeniu niestabilności atmosfery. Jednak z drugiej strony ocieplenie może zmniejszyć zróżnicowanie termiczne mas powietrza różnych stref, które stanowi jeden z kluczowych elementów genezy tornad. Mniej optymistyczne prognozy, które zwiastują wzrost zagrożenia zjawiskami związanymi z silnym wiatrem, dotyczą Europy Zachodniej i Północno-Zachodniej (głównie Wyspy Brytyjskie, Francja, Hiszpania, Beneluks, Dania) oraz wybrzeży Morza Śródziemnego.

W dziedzinie badań nad trąbami powietrznymi istnieje jeszcze pokaźne pole do działania przyszłych meteorologów i klimatologów, a wkład naukowców z naszej części Europy może

okazać się szczególnie istotny. Można mieć też nadzieję, że nowe badania pozwolą na stworzenie bardziej efektywnego systemu prognostycznego i ostrzegawczego przed ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi w Polsce. Natomiast z punktu widzenia edukacji istotne wydaje się uświadomienie społeczeństwu realnej skali zagrożeń tornadami i zjawiskami pokrewnymi, dzięki czemu przyszłe ostrzeżenia pogodowe będą traktowane z odpowiednią powagą.

LITERATURA I LINKI

- Antonescu B., Schultz D., Holzer A., Groenemeijer P., 2017, Tornadoes in Europe. An Underestimated Threat, *Bulletin of American Meteorological Society*, 98, 7, s. 713-725.
- Taszarek M., 2013, Możliwości prognozowania trąb powietrznych w Polsce, „*Przegląd Geograficzny*”, 85, 3, s. 353-371.
- Taszarek M., Brooks H., 2014, Tornado climatology of Poland, „*Monthly Weather Review*”, 143, s. 702-715.
- Taszarek M., 2016, Climatology of thunderstorms and tornadoes in Poland, praca doktorska, UAM, Poznań.
- Wieczorek L., 2016, Zmienność czasowo-przestrzenna występowania trąb powietrznych w Europie i w Polsce w latach 1998-2013, „*Przegląd Geograficzny*”, 88, 3, s. 353-368.
- www.twojapogoda.pl
- www.torro.org.uk – brytyjska organizacja badań nad tornadami; zawiera opis skali TORRO
- www.meteoalarm.eu – mapa z ostrzeżeniami meteorologicznymi w Europie
- www.estofex.org – European Storm Forecast Experiment; raporty, mapy i ostrzeżenia meteorologiczne dla Europy
- www.lowcyburz.pl – prognozy, artykuły i baza wiedzy Polskich łowców Burz
- www.ncdc.noaa.gov – National Climatic Data Center, strona prowadzona przez NOAA, zawiera artykuły, raporty, analizy oraz dane dotyczące klimatu i jego zmian w ujęciu globalnym
- www.nssl.noaa.gov – National Severe Storms Laboratory – zasoby o ekstremalnych zjawiskach pogodowych w języku angielskim z linkami do zasobów edukacyjnych
- www.eswd.eu – European Severe Weather Database – baza danych z mapą ekstremalnych zjawisk pogodowych Europy, prowadzona przez European Severe Storm Laboratory; zawiera też mapę ostrzeżeń pogodowych (European Weather Observer)
- Informacja o wynikach kontroli udzielania pomocy poszkodowanym w wyniku tornada z 15 sierpnia 2008 r. oraz likwidacji jego skutków w województwach opolskim i śląskim, raport Najwyższej Izby Kontroli, Delegatura w Opolu, grudzień 2009 r.
- Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, raport EEA (European Environment Agency), 2017 r.
- Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007 r.
- Managing the Risk of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2012 r.

Zasoby i znaczenie lasu w gospodarce narodowej

Leśne bogactwo Polski

W edukacji dotyczącej lasów zwykle na pierwszy plan wysuwają się zagadnienia dotyczące ich roli ekologicznej. Jest to wiedza kluczowa, stanowiąca nieodzowną bazę do dalszych rozważań dotyczących lasów w różnych aspektach geograficznych. Warto jednak pójść dalej, aby poznać bardziej wymierną rolę, jaką tereny zalesione odgrywają w państwowej gospodarce.

Krzysztof Trojan

Magister geografii, UJ

Zapewne wiele osób ma jeszcze w pamięci klęskę nawałnic, które spustoszyły w zoprowadzonych latach polskie lasy. Uszkodzeniami dotkniętych zostało m.in. w 2017 r. ponad 800 km² lasów, co przełożyło się na straty przekraczające 1 mld złotych. Jednak nawet tak wielki areal stanowi niespełna 0,8% powierzchni, jaką w naszym kraju zajmują tereny leśne, obecnie jest to ponad 9 milionów hektarów. Stanowi to 29,5% terytorium Polski, przy czym analizy przestrzenne Instytutu Geodezji i Kartografii, uwzględniające m.in. zadrzewienia na nieużytkach, szacują lesistość Polski na poziomie 32%. Pod tym względem Polska nie wybija się na znaczące miejsce na kontynencie (średnia 32,8%) czy na świecie (średnia 31%), podobnie jak w przypadku całkowitego arealu lasów (55. miejsce na świecie).

Istotna jest jednak stała tendencja, według której procentowy udział terenów zalesionych w Polsce, w przeciwieństwie do ogólnoswiatowego trendu, jest coraz większy. Po II wojnie światowej poziom lesistości Polski wynosił jedynie 20%, natomiast od tego czasu, a zwłaszcza po wdrożeniu Krajowego Programu Zwiększenia Lesistości w 1995 r., powierzchnia lasów w naszym kraju stale wzrasta. Nie jest to wy-

łącznie zasługa planowanych nasadzeń. Ekspansja lasów zachodzi również na skutek zmian społeczno-gospodarczych, które prowadzą do porzucania przez właścicieli nieopłacalnych gruntów rolniczych czy pastwisk. Przykładem tego mechanizmu jest region Karpat, gdzie wskaźnik lesistości sięga 47% i na tle całego kraju wzrasta w sposób najbardziej dynamiczny. Ma to swoje uzasadnienie w przemianach społeczno-gospodarczych regionu w ciągu ostatnich 150 lat. Po utracie przywileju nieograniczonego korzystania z zasobów leśnych, dla mieszkańców Karpat zaczęły pojawiać się możliwości emigracji zarobkowej oraz różnicowania źródeł dochodu, które okazywały się z czasem bardziej opłacalne niż tradycyjne pasterstwo i gospodarowanie na trudnych w uprawie ziemiach górskich. Na skutek powyższych przemian część gruntów została pozostawiona naturze i podlega obecnie naturalnej sukcesji leśnej. Proces ten może spowodować, że lesistość Karpat pod koniec XXI w. bez udziału dodatkowych nasadzeń wzrośnie do 52%.

Punktem docelowym Krajowego Programu Zwiększenia Lesistości jest osiągnięcie takiego arealu terenów zalesionych, który ma zapewnić równowagę między ekologicznymi funkcjami lasu a jego wykorzystaniem gospodarczym, przy jednoczesnym zachowaniu proporcji w stosunku do powierzchni obszarów rolniczych. Za optymalną

uznaje się lesistość na poziomie 1/3 powierzchni kraju, którą Polska ma w planie osiągnąć do 2050 r.

Złoto-zielony interes

Polska, choć wykazuje się przeciętną lesistością zarówno w skali Europy jak i świata, pod względem zasobności lasów zajmuje wysokie – czwarte miejsce na naszym kontynencie. Zasoby rzędu 2,5 mld m³ surowca drzewnego, stanowiące prawie 10% udziału europejskiego, przekładają się na niebagatelny majątek. Ocenia się, że całkowita wartość zasobów drewna, nie licząc gruntów wchodzących w zarząd Lasów Państwowych, znacznie przekracza 400 mld zł. A należy pamiętać jeszcze o lasach w rękach prywatnych właścicieli, które stanowią niemal 1/5 lasów w naszym kraju.

Wydaje się, że wiedza na temat bardzo wymiernych korzyści, jakie daje las nie jest powszechna. Tymczasem polski rynek leśno-drzewny stanowi 10% rodzimego eksportu (ponad 40 mld złotych), zaś jego sztandarową dziedziną jest przemysł meblarski, który daje Polsce 10. miejsce na świecie pod względem produkcji oraz 4. miejsce jeśli chodzi o eksport. Ciekawym jest, że w tej dziedzinie gospodarki mogą być wykorzystywane także te zasoby drewna, które mogłyby być uznane za bezpowrotną stratę. W ten sposób 10 milionów m³ surowca drzewnego,

pochodzącego z drzew powalonych przez zeszłoroczne nawałnice, zostało wykupione przez wiele firm meblarskich, m.in. przez koncern IKEA, który już kilka lat temu wybudował w okolicy Stalowej Woli największy tartak w Polsce.

Wartość lasów nie sprowadza się jedynie do potencjalnego zysku z surowca drzewnego – można ją rozpatrywać szerzej jako źródło wszelkich przetworzonych produktów pochodzących z lasu oraz źródło dochodu dla turystyki i rekreacji. Tak pojmowana wartość lasów, możliwa jedynie do ogólnego oszacowania, sięgać może biliona złotych.

Kto ważniejszy – rolnik czy leśnik?

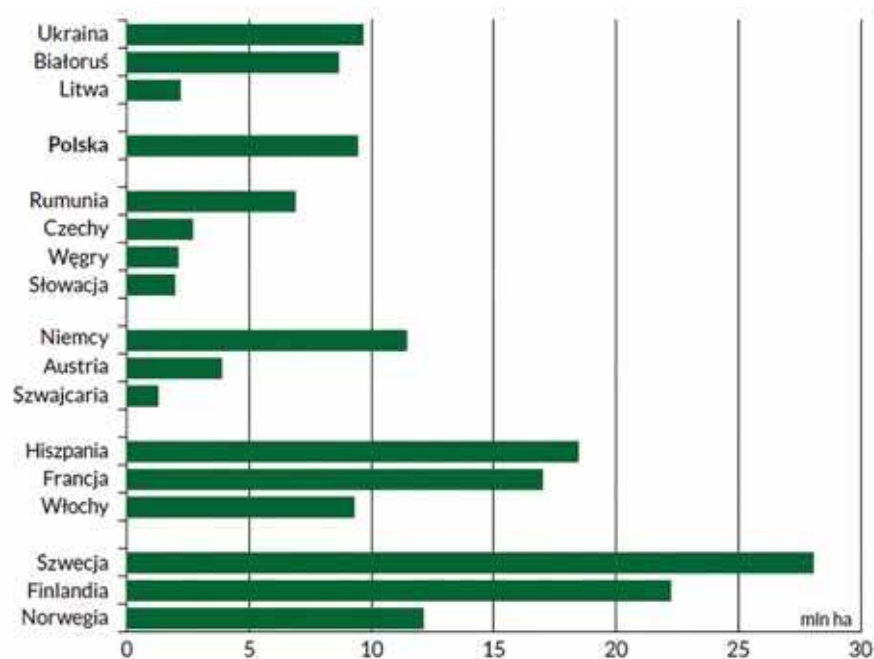
Obecnie w ramach zalesień sadzi się w Polsce 0,5 miliarda drzew rocznie, a zatem pod względem ilościowym więcej drzew przybywa niż jest wycinanych. Nie oznacza to jednak, że wspomniany program przebiega bez trudności. Dynamika programu zalesień uległa znacznemu zahamowaniu, zwłaszcza po 2004 r., a główną tego przyczyną jest niespójność między dążeniem do wzrostu lesistości a rozwojem rolnictwa i obszarów wiejskich. Dla prywatnych właścicieli lasów, bardziej korzystne są obecnie dopłaty do bezpośredniej działalności rolnej – tym bardziej, że w zdecydowanej większości grunty te należą właśnie do rolników. Jednocześnie zaniechano dofinansowań dla zalesień na niektórych obszarach (m.in. w obrębie sieci NATURA 2000), a braki w koordynacji działań, uwzględnianiu zalesień w planowaniu przestrzennym czy ograniczeniu przekazywania nowych gruntów pod zalesienie, potęgują wspomniany wyżej problem. Zmiany te sprawiają, że przy obecnym trendzie założone plany wzrostu lesistości Polski będą trudne do zrealizowania.

Konflikt przestrzenny między lasem a rolnictwem wynika nie tylko ze sprzeczności w przeznaczeniu tych dwóch form użytkowania terenu. Obszary leśne stanowią ostoję dla zwierząt mogących powodować znaczne straty dla rolników (np. gryzonie, dziki, sarny), natomiast bezpośrednie sąsiedztwo lasu i pól uprawnych wpływa na wzmożone pochłanianie przez ekosystem leśny zanieczyszczeń generowanych przez działalność rolniczą (zwłaszcza przez wody gruntowe), a także zwiększa zagrożenie pożarem. Zwraca się również uwagę na fakt, że w niektórych obsza-

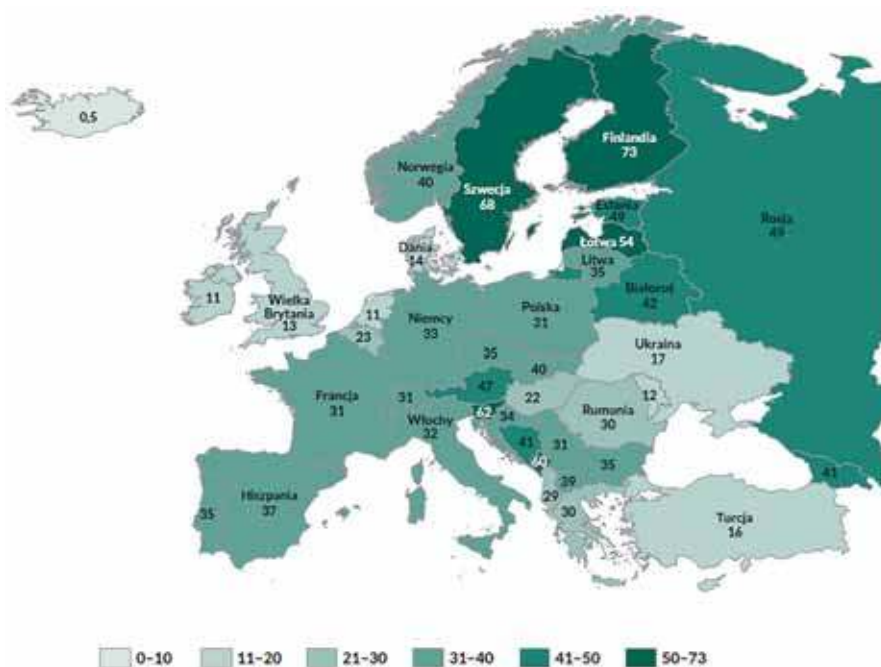
rach wielowiekowa gospodarka doprowadziła do utworzenia się charakterystycznego, mozaikowego układu pól, lasów i zadrzewień o wysokich walorach krajobrazowych. Dotyczy to szczególnie krajobrazów pogórzy karpackich oraz obszarów górskich, gdzie obecność wysoko położonych gruntów rolnych oraz polan pasterskich zwiększa atrakcyjność widokową, a wieloletnia uprawa łąk pasterskich czy łąk kośnych

umożliwiła wykształcenie się bogatych i cennych przyrodniczo zbiorowisk roślinnych.

Problem współdziałania programu zalesień z racjonalnym kształtowaniem granicy rolno-leśnej jest zatem kwestią wysokiej wagi, ale stanowi jedynie część szerszego zagadnienia. Dotyczy ono potrzeby nadania lasom wysokiej rangi w planowaniu przestrzennym i przełożenia tego na możliwości jak najpeł-

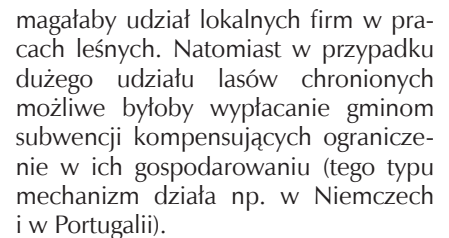


Całkowita powierzchnia lasów, źródło: State of European Forests 2015





Lasy, mimo tego, iż stanowią trzecią część powierzchni Polski, są traktowane marginalnie w dokumentach planistycznych. Wydaje się, że nadzieja leży w rozwijaniu programów rozwoju gospodarstw rolno-leśnych. Aktywizowałyby one obszary wiejskie w rozwoju ekologicznej turystyki, drewnianego rękodzieła czy zbieractwa i przetwarzania dóbr runa leśnego, jak również wspo-



Aby rozwinąć możliwości absorpcyjne lasów od dwóch lat Polska rozwija innowacyjny program tzw. Leśnych Gospodarstw Węglowych. Polega on na wyodrębnianiu gruntów, gdzie prowadzone są zabiegi służące maksymalizacji pochłaniania CO₂ przez ekosystem leśny: nasadzenia odpowiednich i szybko rosnących gatunków drzew, podsadzenia zagęszczające II piętro lasu czy możliwie duże zakrywanie

powierzchni gleby leśnej. Istnieją również inne metody, dzięki którym można nie dopuścić do uwalniania węgla zamkniętego w surowcach drewnianych, np. wyeliminowanie wyrębów zupełnych, promowanie budownictwa drewnianego oraz przedłużanie żywotności i recyklingu produktów pozyskiwanych z drewna.

Oczywiście klimatyczna rola lasu nie sprowadza się jedynie do pochłaniania CO₂. W kontekście zmian klimatycznych warto podkreślić jego funkcje jako zbiornika retencyjnego, ochrony przeciwpowodzowej czy czynnika obniżającego temperaturę wód powierzchniowych.

Co grozi naszym lasom?

Zarówno wartość ekologiczna jak i gospodarcza polskich lasów jest nie do przecenienia, a tym samym za kluczowe należy uznać zagadnienie ochrony tak cennego zasobu. Tymczasem analizy wskazują, że poziom zagrożenia lasów w Polsce przez zewnętrzne czynniki jest jednym z najwyższych w Europie, a nasilone rozprzestrzenianie się szkodliwych owadów występuje cyklicznie i dotyczy wielu niebezpiecznych gatunków. Dodatkowym zagrożeniem

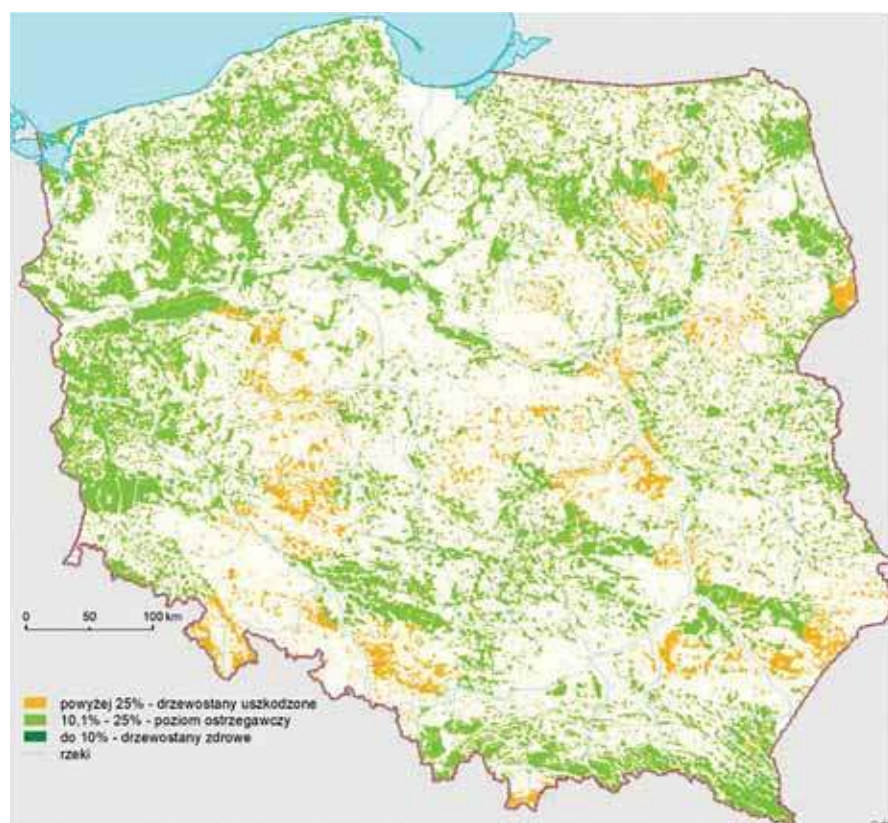
są wpływy zanieczyszczeń, głównie związkami siarki i azotu, dla których wartości krytyczne przekraczane są na większości obszarów ekosystemów w naszym kraju. W skali całej Polski udział drzew całkowicie zdrowych stanowi jedynie 8%, podczas gdy procent drzew uszkodzonych w niektórych częściach kraju przekracza 25%. Taka sytuacja występuje od Górnego Śląska po Kotlinę Kłodzką, w Wielkopolsce, na Lubelszczyźnie, Mazowszu oraz częściowo w Karpatach.

W związku z tym silne kontrowersje wywołują decyzje, które dotyczą problemu równowagi między ochroną lasów a ich gospodarczym wykorzystaniem. Przykładem może być decyzja ministerialna o trzykrotnym zwiększeniu limitu wyrębu drzew w Puszczy Białowieskiej na terenie nadleśnictwa Białowieża. Decyzja uzasadniana względami ochronnymi wynikała z ekspansji kornika drukarza, który od 2012 r. rozplenił się w Puszczy do tego stopnia, że cięcia zakażonych drzew dopełniły limitu wyrębu. Tym samym powrócił kilkudziesięcioletni już konflikt o sposób gospodarowania tym kompleksem leśnym, który z jednej strony traktowany jest jako pomnik naturalnej przyrody, na-

tomiast z drugiej – jako ukształtowany historycznie element krajobrazu kulturowego. W ostatnim czasie pojawiła się nawet propozycja zmiany statusu Puszczy na Liście Światowego Dziedzictwa UNESCO z obiektu przyrodniczego na kulturowo-przyrodniczy, co umożliwiłoby prowadzenie na jej terenie niektórych zabiegów bez wielu obecnych obostrzeń.

Częściowym rozwiązaniem sporu o wykorzystanie lasów mogłby być rozwój specjalnych plantacji drzew z nasadzeniami szybko rosnących gatunków na cele energetyczne i dla przemysłu (tzw. *short rotation woody crops*). Pod względem powierzchni tego typu upraw Polska zajmuje jedno z ostatnich miejsc w Europie, chociaż istnieje perspektywa przeznaczania na ten cel blisko 1 mln ha użytków rolnych.

Polskie lasy będą musiały również sprostać przyszłym zmianom klimatycznym. Prognozowany wzrost temperatury powietrza, częstotliwości i intensywności susz, a także zwiększenie udziału opadów nawalnych w stosunku do rozlewnych (bardziej nawadniających) stawiają wyzwanie naszej gospodarce leśnej. Zagadnienie to jest nieodłącznie związane z ochroną zasobów wodnych w polskich



Rozmieszczenie lasów w Polsce oraz poziom uszkodzenia lasów na podstawie oceny defoliacji, źródło: GIOŚ





lasach, z których 53% cierpi na stały deficyt wody. Konieczne jest też ograniczenie indukowanego zmianami klimatu wzrostu poziomu zagrożenia pożarowego, który już teraz w Polsce należy do najwyższych w Europie – rocznie w naszych lasach notuje się 5-12 tysięcy pożarów, pochłaniających kilka tysięcy hektarów drzewostanu. Tymczasem, aby zrekompensować emisję CO₂ uwolnioną w czasie spalania 1 ha lasu nasadzenia musiałyby objąć 10-25 ha nowego drzewostanu. Dlatego też, poza programami finansującymi monitoring i szybkie reagowanie przeciwpożarowe, kluczowym wydaje się utrzymanie jak najlepszego stanu lasu – a przede wszystkim jego gospodarki wodnej. W tym celu na coraz większą skalę realizowane są działania dążące do wzrostu magazynowania wód w lasach poprzez tworzenie zbiorników małej retencji czy ochronę oraz regenerację torfowisk i mokradel.

Zakończenie

Obecność lasu przekłada się zatem na konkretne korzyści ekologiczne, jak również na wymierne zyski gospodarcze. Tak wielkie bogactwo wymaga zatem szczególnej uwagi, również ze strony geografów, którzy znajdują na tym polu szerokie spektrum działalności: w ramach monitoringu i prognozyki z zakresu geografii fizycznej, rozwiązywaniu kwestii zagospodarowania przestrzennego, krajobrazu i rozwoju lokalnego czy wreszcie wsparcia narzędziami GIS, m.in. przy tworzeniu analiz lub Leśnych Map Numerycznych.

Poza wszystkim las posiada również wielką wartość niewymierną. Przez

wieki jego obecność stanowiła inspirację artystyczną dla różnych dziedzin sztuki, oddziaływała na styl ludowych wytworów kultury materialnej i architektury, a na drodze wielowiekowych przekształceń w krajobrazie wpływa obecnie na przestrzenne postrzeganie regionów lub ich identyfikacji w wyobrażeniu społecznym. Oznacza to ni mniej ni więcej, że lasy stanowią nieodłączny element przestrzeni, dziedzictwa oraz wizerunku naszego kraju. Właśnie takie ich postrzeganie – jak dobra narodowego, powinno wyrażnie wybrzmiewać na każdym etapie edukacji, dzięki czemu jest szansa na upowszechnienie takich postaw wobec środowiska, których niekiedy zażdościmy naszym sąsiadom.

Foto – Fotolia

Linki i źródła:

- www.bdl.lasy.gov.pl/ – Bank Danych o Lasach, prowadzony przez Lasy Państwowe
- www.lasy.gov.pl – oficjalna witryna Lasów Państwowych
- www.gis.geo.uj.edu.pl/forecom/ – program badania lesistości Karpat
- www.npl.ibles.pl – strona z materiałami Narodowego Programu Leśnego
- www.ckps.lasy.gov.pl – Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych
- www.czaswlas.pl – strona poświęcona turystyce w Lasach Państwowych
- www.erys.pl – portal edukacyjny Lasów Państwowych: dla dzieci, młodzieży i nauczycieli
- www.foresteurope.org – dokument pt. *State of Europe's Forests 2015 – Report*
- Raport o stanie lasów w Polsce 2016, Generalna Dyrekcja Lasów Państwowych
- Rykowski K. (red.), 2016, Materiały z prac nad Narodowym Programem Leśnym. Synteza. Sękocin Stary, 18 czerwca 2013 – 8 grudnia 2015 roku, Instytut Badawczy Leśnictwa
- Marchlewski W. (red.), 2014, Panel ekspertów „Rozwój”. Lasy i gospodarka leśna jako instrumenty ekonomicznego i społecznego rozwoju kraju. 17 września 2014 r., Instytut Badawczy Leśnictwa

Leśne kąpiele

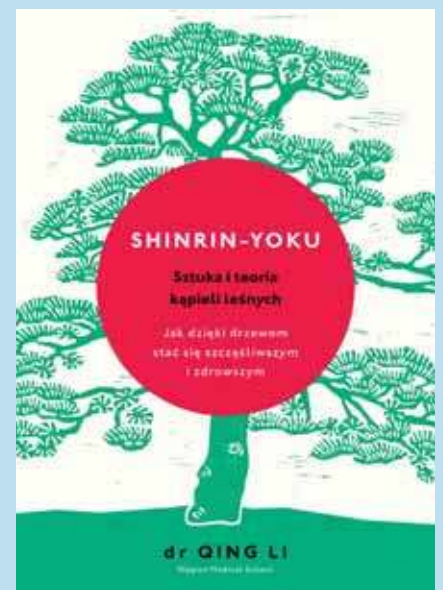
Intuicyjnie czujemy, że las wpływa na nas korzystnie. Ale dla Japończyka, dr Oing Li, profesora nadzwyczajnego z Nippon Medical School w Tokio to było za mało. Chciał naukowo zbadać, czy rzeczywiście las wpływa korzystnie na nasze zdrowie i samopoczucie. I po licznych badaniach na grupach m.in. zestresowanych biznesmanów doszedł do wniosków, że nawet dwugodzinny spacer po lesie lub miejskim parku może obniżyć ciśnienie krwi, zredukować poziom stresu, poprawić układ krążenia i przemian materii oraz poprawić odporność organizmu, koncentrację i pamięć.

I tak się zrodziła filozofia shinrin-yoku – leśnych kąpiele, które pomagają człowiekowi być zdrowszym, szczęśliwszym i spokojniejszym. Shinrin-yoku od lat 80. ubiegłego wieku lat stanowi jeden z filarów japońskiej kultury i sposób odbudowywania naszych więzi z naturą.

Ktoś może zapytać – a co mają robić ludzie żyjący z dala od lasów i parków w wielkich miastach, z zatłoczonymi i zanieczyszczonymi spalinami ulicami, w przepelnionych wagonach metra? Dr Qing Li ma na to receptę, znajdziecie ją czytając książkę.

Jedna uwaga – jeśli książki we wszystkich krajach ukazały się w tak rozrzuconej szacie graficznej, to połowę drzew na papier ścięto bezsensownie.

Tytuł oryginału: **Shinrin-Yoku. The Art and Science of Forest Bathing**, Wydawnictwo Insignis Media S.C.



Walka o wodę czy walka z wodą?

Charakterystyka zasobów wodnych Polski

Woda jest jednym z głównych czynników przyrodniczych determinujących rozwój społeczno-gospodarczy ludzkości. W dużym stopniu uzależnieni jesteśmy od źródeł jej występowania, wielkości zasobów oraz zmian reżimu. Woda staje się cenna dopiero wówczas, gdy zaczyna jej brakować.

dr Adam Bartnik

Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki

Zgodnie ze standardami FAO i WMO, Polska jest krajem, w którym okresowo pojawiają się niedostatki uwilgotnienia. Termin „okresowo” odnosi się przy tym zarówno do krótkotrwałych, sezonowych niedoborów wody, jak i do deficytów obejmujących dłuższy horyzont czasowy, a determinowanych przez niestabilność klimatu. Jeżeli dodamy do tego stale pogłębiający się deficyt wód nadających się do wykorzystania, to na całym właściwie obszarze kraju, częściej mamy do czynienia z walką o wodę niż walką z wodą.

W przeliczeniu na jednego mieszkańca odnawialne zasoby wód powierzchniowych wynoszą na świecie ok. 7300 m³. Dla Europy, znacznie uboższej w wodę, wartość ta wynosi już tylko 4560 m³. Brak wody może być jednym z największych problemów globalnych w nadchodzącym stuleciu. Jeśli ustalimy umowną granicę niedoboru wody na poziomie poniżej 500 m³ na osobę rocznie, to już obecnie 12 krajów znajduje się w takiej kategorii. Liczba ta może wzrosnąć do 19 w okresie następnego ćwierćwiecza.

Przeciętne zasoby wód powierzchniowych Polski wynoszą ok. 61,5 km³, przy czym w roku bardzo suchym mogą one być mniejsze od 38 km³, a w roku bardzo mokrym – większe od 90 km³. Także udokumentowane zasoby odnawialnych wód podziemnych nie są w Polsce imponujące i wynoszą ok. 16 km³·rok⁻¹ (ok. 450 km³·rok⁻¹ na mieszkańca), z czego ok. 1,75 km³·rok⁻¹ już dziś eksploatowane.

Ogólny pobór wody, na potrzeby gospodarki w Polsce, wyniósł w 2000 roku ok. 10,9 km³·rok⁻¹ (9,15 – z wód powierzchniowych) i wartość ta była o prawie 5 km³·rok⁻¹ mniejsza od ilości wody eksploatowanej w 1985 roku. Warto przy tym zauważyć, iż spadek zużycia dotyczył nie tylko dotkniętego recesją przemysłu, ale w podobnym procencie zaznaczył się także w odniesieniu do wód kierowanych do nawodnień oraz zużywanych w gospodarce komunalnej. Jest to niewątpliwie symptomem racjonalizacji zużycia wody w gospodarce.

Polska położona jest w obszarze o szczególnie niekorzystnych cechach klimatu. Stąd też należy do krajów o niewielkich zasobach wód powierzchniowych i względnie małej ich zmienności przestrzennej. Według danych IMGW zasoby wód powierzchniowych naszego kraju, w przeliczeniu na jednego mieszkańca, wynoszą: 1580 m³·rok⁻¹. Są zatem 4,5 razy niższe niż na świecie i trzykrotnie niższe niż przeciętna dla Europy. Również z punktu widzenia tzw. dostępności do wody, Polska – obok Belgii i Niemiec – znajduje się w Europie, w grupie państw wyjątkowo skromnie obdarzonych przez naturę.

Zasoby wód rzecznych

Liczba rzek w Polsce jest bardzo trudna do oszacowania. Według danych IMGW, wynosi ona dziś 4656, w tym:

- ┌ 2913 cieków o powierzchni zlewni mniejszej od 50 km² – (62,6%)
- ┌ 1553 cieki o powierzchni zlewni od 50 km² do 500 km² – (33%)
- ┌ 182 rzeki o powierzchni zlewni od 500 km² do 10 000 km² – (4%)
- ┌ 8 rzek o powierzchni zlewni większej od 10 000 km² – (0,4%)

Z ogólnej liczby 488 rzek, których powierzchnie zlewni są większe od 200 km², aż 250 (ponad 51%) należy do dorzecza Wisły, 177 (36,3%) – Odry, a 61 do innych zlewni. Długość tych 488 rzek wynosi łącznie 33 456 km.

Granice Polski są w dużym stopniu granicami hydrograficznymi. W Polsce znajduje się bowiem prawie 87% dorzecza Wisły i ponad 89% dorzecza Odry. Jest to sytuacja dogodna do prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej, gdyż ogromna większość zasobów wodnych Polski powstaje na naszym terytorium. Dorzecza: Wisły, Odry, rzek Przymorza i zlewnie zalewów: Wiślanego i Szczecińskiego zajmują niemal 99% powierzchni Polski. Tylko 1,1% naszego terytorium odwadniane jest w kierunku: Niemna (Świsłocz, Czarna Hańcza, Szeszupa), Dniestru (Strwiąż), Dunaju (Czarna Orawa, Metuja) i Łaby (Izera). Pewną niedogodnością w tym względzie jest jednak fakt, iż dwie z czterech największych rzek Polski nie mają swych źródeł w kraju (Odra i Bug).

Jedną z głównych cech sieci rzecznej Polski będącą efektem czwartorzędowej ewolucji jest ogromna asymetria lewych i prawych dorzeczy głównych rzek Polski (Wisła: 72,8% ÷ 27,2%; Odra: 70,5% ÷ 29,5%). Ponieważ Praodra i Prawisła kierowały się z początku na zachód, to po powstaniu odcinków poprzecznych (przełomowych), ich prawe dorzecza stały się dużo większe od lewych. Skutkiem procesów zachodzących w tym okresie jest też fakt, że główne, prawe, dopływy Wisły i Odry – Bug z Narwią i Warta są dłuższe i mają większe lub niewiele mniejsze dorzecza niż ich recypienti.

Gęstość sieci rzecznej (mierzona długością cieków powierzchniowych w przeliczeniu na jednostkę powierzchni) w Polsce należy do przeciętnych w Europie, choć przestrzennie jest bardzo zróżnicowana: od ponad 3 km/km² w Karpatach do poniżej 0,2 km/km² na obszarach sandrowych i krasowych. Wskaźnik gęstości sieci wykazuje pewien związek z przepuszczalnością wodną utworów powierzchniowych. W ogólności jednak, im większa przepuszczalność podłoża, tym mniejsza gęstość „tkanki wodnej” i odwrotnie.

Odptyw rzeczny z terytorium Polski, wynosi średnio w roku ok. 61,5 km³ (1996). Daje to, bez uwzględniania zasilania



Rys. 1. Dorzecza Polski

1 – działy wodne I rzędu; 2 – działy wodne II rzędu; 3 – rzeki i jeziora; 4 – granica państwa Źródło: wg J. Kostrowickiego 1968

s poza granic naszego kraju, przeciętną warstwę odpływającej wody równą 175 mm. Jest to więc wartość prawie dwukrotnie mniejsza od średniej europejskiej – 305 mm. Jeżeli uwzględnimy przeciętną wysokość opadów w Polsce równą 629 mm, otrzymamy współczynnik odpływu (udział odpływu rzecznego w opadzie wyrażony w procentach) równy 27,8% i średnie parowanie terenowe bliskie 454 mm. Roczna suma parowania jest zatem zbliżona do średniej europejskiej. Niemal półtora raza mniejsza od przeciętnej europejskiej (ok. 43%) jest zaś wartość współczynnika odpływu.

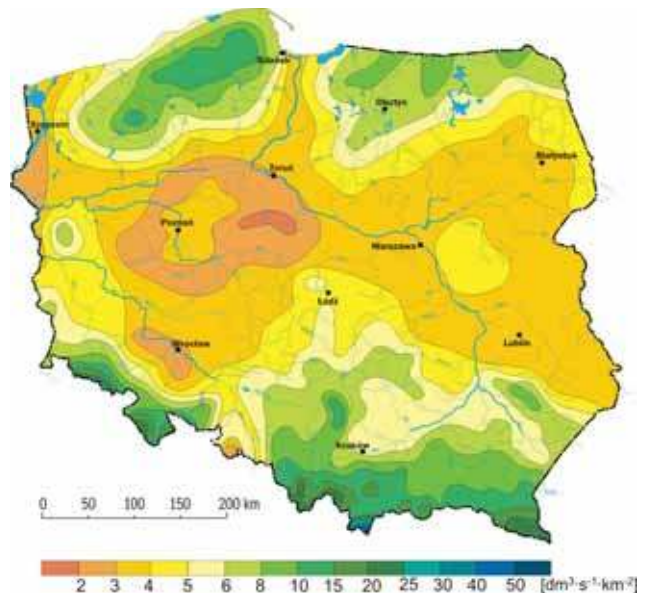
Ekstremalne zjawiska meteorologiczne i hydrologiczne nie mają w Polsce tak groźnych rozmiarów, jak to ma miejsce w innych częściach Ziemi. Mimo to, deszcze nawalne i wezbrania rzek również i tutaj stanowią poważne zagrożenie dla gospodarki, a bywa, że i dla życia ludności. W ciągu ostatnich 15-20 lat, straty powodzienne na świecie stanowiły 29% wszystkich strat globalnych. W Polsce, ich stosunek do dochodu narodowego w ciągu ostatniego 30-lecia, wyniósł średnio 0,2% (maksymalnie: 1,1% – 1980 r.). Warto przy tym podkreślić, iż straty powodowane nadmiarem wody wzrastają w miarę rozwoju gospodarczego i cywilizacyjnego. Im bogatsza bowiem infrastruktura i poziom zagospodarowania terenu, tym szkody wywołane przez wodę są większe.

W cyklu rocznym, odpływ rzeczny na obszarze Polski ulega istotnym zmianom związanym z występowaniem pór roku. Maksima występują zwykle na wiosnę, minima zaś jesienią. Półrocze zimowe (XI-IV), charakteryzuje się wyższymi odpływami niż półrocze letnie. Odpływa wówczas 57% ogólnej masy wód odprowadzanych z terytorium kraju w ciągu całego roku. Jednak i tutaj zaznaczają się wyraźne różnice przestrzenne.

Z nizinnych obszarów Polski wschodniej, np. z dorzecza Bugu, odpływa zimą prawie 64% sumy rocznej, zaś w górskich zlewniach górnej Wisły, odpływ zimowy jest wyraźnie niższy od letniego i stanowi tylko ok. 48% rocznego. Warto też podkreślić, że odpływy z dorzecza Wisły charakteryzują się średnio nieco większą zmiennością sezonową i wieloletnią niż odpływy z systemu Odry. Najmniej zmienne są natomiast odpływy rzek spływających z pojezierzy. Najwyższe pojawiają się w kwietniu (14,6% sumy rocznej), w marcu (12,3% sumy rocznej) i w maju (10,2%). Najmniej wody odpływa zwykle we wrześniu (5,5%) i w październiku (5,8%).

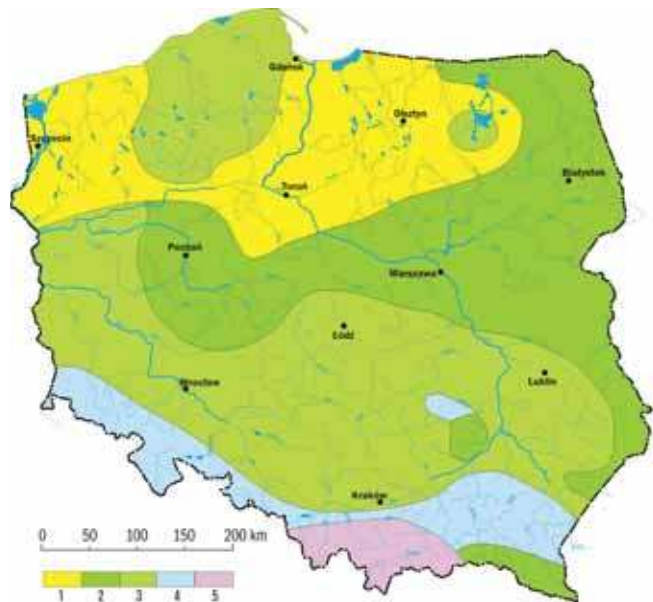


Fot. 1. Rzeka Dziką Orlicą w Sudetach w polskiej części zlewiska Morza Północnego



Rys. 2. Odpływ całkowity w Polsce

Źródło: wg Stan i wykorzystanie zasobów..., 1996



Rys. 3. Reżimy rzek Polski

1 – niwalny słabo wykształcony; 2 – niwalny silnie wykształcony; 3 – niwalny średnio wykształcony; 4 – niwalno-pluwialny; 5 – pluwialno-niwalny Źródło: wg I. Dynowskiej 1971

Według typologii **reżimów rzecznych** Ziemi, opracowanej przez M. I. Lwowicza, i adaptowanej do warunków Polski przez I. Dynowską (1971), rzeki naszego kraju zaliczamy do ustrojów: śnieżnego (niwalnego), śnieżno-deszczowego (niwalno-pluwialnego), deszczowo-śnieżnego (pluwialno-niwalnego). Ich cechą charakterystyczną jest przy tym stosunkowo duży udział zasilania podziemnego. Ustrój deszczowo-śnieżny występuje w Tatrach i Beskidach Zachodnich. Odpływy w miesiącach letnich dorównują tam wiosennym odpływom roztopowym – charakterystyczne są też dwa maksima odpływu. Reżim śnieżno-deszczowy występuje w Sudetach i na Przedgórzu oraz na Podkarpaciu. Dominujące jest tu wezbranie wiosenne, ale wyraźnie zaznacza się też letnie wezbranie opadowe. Na większości powierzchni Polski dominuje jednak ustrój śnieżny, z mniej lub bardziej zaznaczającym się wezbraniem letnim. W pasie pojezierzy występuje jego odmiana charakteryzująca się słabo zarysowanym maksimum wiosennym i wyrównanym odpływem w ciągu całego roku.

Zmienność czasowa i przestrzenna odpływu w Polsce jest wyraźnie wyższa od zmienności opadów. Jest to nie tylko wynikiem czasowych i przestrzennych zmian innych elementów klimatu i pogody (temperatury, wilgotności powietrza itd.), ale również podobnej zmienności warunków morfologicznych i geologicznych. Coraz większą rolę zaczyna też odgrywać działalność gospodarcza i to zarówno w odniesieniu do dyspersji odpływu w czasie, jak i w przestrzeni. Dotyka to szczególnie ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, w tym odpływów niskich. Ostatnio obserwujemy tu coraz silniejszy rozwój kontrastów. Po roku wilgotnym pojawia się wyjątkowo suchy. W obrębie tego samego roku występują okresy bardzo głębokich susz i gwałtownych powodzi. Na stosunkowo niewielkim obszarze, jakim w końcu jest Polska, w tym samym sezonie, odnajdziemy często sąsiadujące z sobą regiony dotknięte suszą i powodziami. Rozpoznanie i diagnoza tych zjawisk staje się dziś niezbędna, gdyż wymaga tego prawidłowo funkcjonująca gospodarka kraju.

Na $\frac{3}{4}$ obszaru Polski pojawiają się okresowo **deficyty wody**, przy czym najczęściej i w największym stopniu dotyczą one terenów Wielkopolski i Mazowsza. To właśnie na terenach Niżu Polskiego i szeroko pojmowanej środkowej Polski zagrożenia związane z brakiem dostępu do wody odpowiedniej ilości i jakości są dziś największe, a biorąc pod uwagę obserwowany kierunek zmian klimatycznych stan ten może pogorszyć się jeszcze bardziej. Zauważmy bowiem, że globalne ocieplenie wywołuje także w Polsce wzrost temperatury, zwłaszcza półroczną chłodną. Ten zaś pociąga za sobą wzrost parowania terenowego zimą i wiosną oraz spadek infiltracji i alimentacji wód podziemnych w półroczu chłodnym. W efekcie, zasoby wodne dostępne w półroczu ciepłym są mniejsze, co wywołuje problemy w zaopatrzeniu w wodę różnych użytkowników.

Zasoby płytkich wód podziemnych

Zasobami wód podziemnych nazywamy ilość wody wolnej zawartej w danym zbiorniku wód podziemnych lub w innej jednostce hydrogeologicznej. Zasoby wód podziemnych wyraża się przeważnie w jednostkach objętości na jednostkę czasu, a niekiedy tylko w jednostkach objętości.

Większość obszaru Polski pokrywa płaszcz osadów czwartorzędowych. Z piętnem czwartorzędowym wiąże się również ok. 75% wszystkich odnawialnych zasobów wód podziemnych naszego kraju. Zasobność wodna piętra czwartorzędo-



Fot. 2. Torfowisko wysokie pod Zieleńcem

wego, uzależniona jest od całej gamy warunków geologicznych. Najważniejsze to: jego miąższość oraz udział frakcji piaszczysto-żwirowej. Obok poziomów wykształconych w osadach piaszczysto-żwirowych związanych z depozycją fluwialną lub fluwio-glacialną, na uwagę zasługują również zbiorniki w: czwartorzędowych pokrywach zwietrzelinowych, morenach lodowców górskich, stożkach napływowych i aluwialnych rzek górskich. Są one intensywnie drenowane przez źródła i cieki odwadniające góry i pogórza Polski południowej.

Na rozległych obszarach środkowej i północnej Polski, pod pokrywą czwartorzędu, występują oligoceńskie i miocenne piaski wodonośne piętra trzeciorzędowego. Mimo znacznej zasobności, zwłaszcza w strukturach artezyjskich i dolinach kopalnych, ich udział w zasilaniu koryt rzecznych jest niewielki. Tylko lokalnie mogą być one drenowane przez głęboko wcięte doliny dużych rzek lub przez rynny jeziorne. Przy wysokim ciśnieniu hydrostatycznym, wody te, mogą także – poprzez okna hydrogeologiczne – wzbogacać zasoby wodne piętra czwartorzędowego i tą drogą włączać się w proces wymiany wód podziemnych. Zupełnie inny charakter mają wody podziemne piętra trzeciorzędowego występujące na Roztoczu i w Niecce Nidy. Uszczelnione, a często skrasowiałe wapienie (Roztocze) lub gipsy (Niecka Nidy), tworzą dość zasobne zbiorniki, często intensywnie drenowane przez źródła i rozciągają erozyjne rzeki.

Obszarem, na którym wody trzeciorzędowe odgrywają podstawową rolę w podziemnym zasilaniu rzek są Karpaty Zewnętrzne. Wodonośność piaskowców fliszowych wiąże się wyłącznie z ich szczelinowatością, choć w piaskowcach gruboziarnistych, wody mogą również krążyć w porach. Miąższość stref zawodnionych fliszu jest zróżnicowana: od kilkunastu do prawie 100 metrów. Warunki krążenia pogarszają się jednak z głębokością, zaś fałdowy charakter górotworu oraz gęsta sieć dyslokacji i rozcięć, nie pozwalają na tworzenie się ciągłych i zasobnych poziomów wodonośnych.

Spółród pięter wodonośnych mezozoiku, największe znaczenie, w formowaniu odpływu podziemnego w Polsce, ma niewątpliwie piętro kredowe. Uszczelnione, a lokalnie skrasowiałe: margle Niecki Nidy, wapienie Przedgórza Iłżeckiego, opoki, gezy, margle i kreda Wyżyny Lubelskiej i Roztocza czy wreszcie piaskowce ciosowe niecki wewnątrzsu-deckiej i Gór Stołowych, gromadzą znaczne zasoby wodne. Sprzyja temu duża objętość i rozległość zbiorników, co w powiązaniu z dobrze rozwiniętą szczelinowatością, pozwala

na migrację wód podziemnych i okresowe uzupełnianie lokalnych niedoborów.

Mniej zasobne są kredowe ogniwa fliszu karpackiego (płasczowiny śląskie, płasczowina skolska), chociaż w obrębie warstw godulskich, czy istebniańskich (Beskid Śląski), zawadnione szczeliny mogą sięgać kilkudziesięciu metrów, a zasoby wyraźnie przekraczają przeciętną dla całego fliszu Karpat Zewnętrznych.

Piętro jurajskie, występuje głównie na obszarze Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Wyżyny Małopolskiej. Skrasowiałe wapienie górnourajskie, a lokalnie uszczelnione margle Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, stwarzają doskonałe warunki infiltracji i przewodzenia wód podziemnych. Głębokie rozcięcia erozyjne, sprzyjają zaś odnawialności zasobów.

Wśród osadów jurajskich, otaczających masyw Gór Świętokrzyskich, dobre parametry hydrogeologiczne mają piaskowce dolnej jury oraz wapienie płytowe i rafowe jury środkowej. Wody szczelinowe i szczelinowo-porowe w piaskowcach tworzą szereg odosobnionych zbiorników, z których większość, mimo dobrych parametrów filtracyjnych, nie jest jednak zasobna.

W wapieniach rozwinęły się formy krasu zakrytego, choć brak otwartych szczelin zbiorczych uniemożliwia powstawanie większych wypływów. Wyjątkiem są tu Niebieskie Źródła wybijające w dolinie Pilicy na wysokości Tomaszowa Mazowieckiego.

Ostatnim piętnem wodonośnym mezozoiku jest piętro triasowe. Silnie zawadnione są tu uszczelnione i skrasowiałe dolomity, wapienie, a lokalnie również margle dolnego i środkowego triasu, drenowane przez niektóre rzeki Wyżyny Śląskiej. Hydrogeologiczne struktury paleozoiku mają tam przeważnie charakter wodonośnych bloków krystalicznych, przykrytych pokrywami zawadnionych zwietrzelin i pogrążonych w osadach mezozoicznych wypełniających, niekiedy śródgórskie lub podgórskie (Sudety), albo tworzących otulinę zewnętrzną masywu (Góry Świętokrzyskie).

Obszary podmokłe i torfowiskowe

Wychodząc z założeń geograficznej klasyfikacji zjawisk hydrologicznych, pod pojęciem „obszar podmokły” rozumiemy fragment terenu, na którym w ciągu całego roku lub jego części panuje nadmierne uwilgotnienie gruntu, decydujące o występowaniu na nim specyficznej roślinności hydrofilnej (występowaniu oraz akumulacji obumarłych szczątków organicznych). Przyczyny tego zjawiska mogą być oczywiście różne. Mogą wynikać zarówno z nadwyżek wodnych pochodzących z opadu atmosferycznego, czy z odpływu powierzchniowego lub podziemnego, ale mogą też być skutkiem utrudnień w odpływie wywołanych przez czynniki naturalne i sztuczne. Najczęściej wymienione tu czynniki oddziałują łącznie, a ich udział w procesie powstawania podmokłości jest trudny do określenia.

W świetle tej definicji obszarami podmokłymi będą niewątpliwie: torfowiska, trzęsawiska (zarastające jeziora), bagna, zawiłgocone dna dolin, mokradła (wokół źródeł, wysięków), młaki (torfowiska źródłiskowe).

Większość mokradeł i torfowisk w Polsce to dawne bagna, trzęsawiska czy moczary. Jak widzimy zmienia się również charakter podmokłości. Ulegają one zmianom i degradacji wskutek działania czynników naturalnych oraz działalności człowieka. Pierwsze prace odwodnieniowe rozpoczęto w Polsce już w XV wieku. Do dziś spowodowały one zanik podmokłości na bardzo wielu obszarach.



Fot. 3. Oczko potorfowe na Torfowisku pod Zieleńcem

Intensywne prace regulacyjne rzek i melioracje w Polsce rozpoczęły się w XVII wieku. Doprowadziły one do osuszenia podmokłości w dolinach wielu dużych rzek m.in. Wisły, Odry i Noteci. W XIX wieku z rozmachem prowadzono prace melioracyjne. Osuszono bagna w dolinie Noteci, Warty oraz większość mokradeł na zachodzie kraju, na Mazurach i w delcie Wisły – zabór pruski. Z porównania stosunków wodnych Pojezierza Mazurskiego w czasach wojen krzyżackich i na początku XIX wieku wynika, że powierzchnia moczarów zmniejszyła się tam w ciągu tych 4 stuleci prawie o połowę.

Aktualnie, powierzchnia obszarów podmokłych w Polsce sięga 20 tys. km². Stanowi to 6,35% powierzchni, a więc nieco więcej niż średnia światowa. W dorzeczu Wisły i Odry wskaźniki te są prawie równe i niewiele przekraczają 6%. Największy odsetek mokradeł występuje natomiast na Wschodnim Pobrzeżu i na Mazurach – ponad 9,5%. Najwyższy wskaźnik odnotowano tu w zlewni Łeby – 16,1%.

W strefie pojezierzy mokradła stanowią 6-8% powierzchni. Wiążą się one głównie z dolinami rzek, rynnami polodowcowymi i z zagłębieniami bezodpływowymi (morenowymi i wytopiskowymi). Duże ich połacie występują też w pradolinach. W Pasie Wielkich Dolin mokradła spotykamy najczęściej właśnie w pradolinach oraz w większych dolinach rzecznych. W strefie podgórskiej i w górach podmokłości spotyka się rzadko – Kotlina Nowotarska.

Z pojęciem obszaru podmokłego wiąże się nierozdzielnie pojęcie torfowiska. Nie należy wszak stawiać znaku równości między tymi obszarami. Choć każde torfowisko jest podmokłością, to nie każdą podmokłość zaliczymy do torfowisk.

Czym zatem jest torfowisko? Otóż jest to ekosystem stale produkujący i akumulujący ogromne ilości biomasy w postaci torfu. Torfowisko składa się z trzech elementów: roślinności torfowej, warstwy torfotwórczej oraz złoża torfowego. Głównym czynnikiem napędowym dla rozwoju torfowiska jest woda. Wpływa ona z jednej strony na wielkość produkcji biomasy roślinnej, z drugiej zaś asekuje wytworzoną substancję torfową przed jej rozkładem i mineralizacją. Roślinność torfowiskowa to mchy, rośliny zielne i drzewa. Wskutek ciągłego narastania torfu następuje wypiętrzanie powierzchni, to zaś wywołuje wznios zwierciadła wody. Aby uniknąć zatopienia, rośliny zakładają nowe pędy coraz wyżej. Mchy torfowce są w tym względzie właściwie nieśmiertelne – od dołu obumierają, a na szczycie dają nowe odrosty.

Powierzchnia torfowisk w Polsce wynosi ok. 12 tys. km², stanowi to ok. 4% powierzchni kraju. Nie jest to odsetek im

ponujący nawet w skali europejskiej. Znacznie wyższe zatorfienie występuje w: Finlandii – 19%, Islandii – 17%, Wielkiej Brytanii – 10%, a nawet w Szwecji – 7,5%. W skali światowej olbrzymie złoża torfu występują w Rosji, USA i w Kanadzie.

Torfowiska odgrywają doniosłą rolę w procesach akumulacji i wymiany masy i energii w przyrodzie. Są one między innymi potężnymi, naturalnymi zbiornikami retencjonującymi wodę i wpływającymi przez to regulującą na odpływ rzeczny, a nawet na cały bilans wodny. Ocenia się, że ta gigantyczna gąbka torfowa mieści w Polsce ok. 16 km³ wody. Jest to objętość bliska pojemności wszystkich jezior w naszym kraju i równa 8-9% średniego opadu rocznego. Warto też dodać, że takie „ładowe jeziora” zajmują obszar pięć razy większy od powierzchni naszych jezior.

Zauważono również, że torfowiska pełnią rolę sanitarną. Torf jest dobrym sorbentem dezaktywującym działanie różnego rodzaju zanieczyszczeń. Pozwala na oczyszczanie wielu rodzajów ścieków przemysłowych, nawet ścieków z rafinerii. Jeden kilogram torfu może wchłonąć jeden kilogram oleju napędowego. O znaczeniu torfu w lecznictwie nie trzeba przypominać. Kąpiele borowinowe stosuje się od 150 lat – w Europie Środkowej funkcjonuje obecnie kilkaset tego typu zakładów przyrodolecniczych, w tym kilkadziesiąt w Polsce. Dla naszych uzdrowisk górskich torf dostarczany jest z północy kraju (woj. zachodniopomorskie).

Największe złoża torfu w Polsce występują w strefie pobraża i na pojezierzach – wszystkie typy torfowisk. Warto tu wymienić torfy doliny Łeby – 16 tys. ha (w tym 5 tys. ha torfowisk wysokich i przejściowych), torfowiska rejonu Białogóry i Pucka – 13 tys. ha. W pradolinach i w dolinach rzecznych występują również duże torfowiska. W samej tylko dolinie Biebrzy zajmują one powierzchnię 100 tys. ha, a w dolnych odcinkach dolin rzek spływających na południe z Pojezierza Mazurskiego, powierzchnia ich wynosi 98 tys. ha. W górach i na wyżynach torfowiska są rzadkie i zajmują niewielkie obszary – zwykle mniej niż 200 ha. Większe obiekty objęte są ochroną np. Torfowiska Batorowskie, Torfowisko pod Zieleńcem, czy Upa na Równi pod Śnieżką.

W ostatnich latach obszary podmokłe są coraz bardziej zagrożone. W przeszłości były one chronione przed inwazją człowieka, gdyż były niedostępne i niebezpieczne. Dziś ta sytuacja uległa zmianie. Osuszanie podmokłości wewnątrz kontynentów doprowadziło do zniszczenia bardzo cennych ekosystemów.

Zasoby wodne jezior

Próby inwentaryzacji jezior na Ziemi czyniono w przeszłości i przeprowadza się je nadal. Ich liczba na pewno przekracza 12 mln, a powierzchnia sięga 2,7 mln km². Zajmują więc one ok. 1,8% powierzchni kontynentów. Jest to obszar bliski powierzchni Morza Śródziemnego. Należy podkreślić, że podane tu liczby są bardzo przybliżone, choćby z uwagi na okresowość występowania niektórych zbiorników wodnych, częste powstawanie nowych (choćby sztucznych), naturalny i antropogeniczny zanik mis jeziornych itd. Wielkiej ostrożności wymaga też posługiwanie się szacunkami zasobów wodnych gromadzonych w jeziorach. Objętość ich ocenia się na 166 tys. km³, przy czym 10 największych jezior Ziemi zajmuje 33% łącznej powierzchni jezior oraz zawiera 90% ich zasobów wodnych.

Gdy idzie o tak zwaną **jeziorność** potentatami są: Kanada – 1 mln jezior (750 tys. km² powierzchni i 7,6% powierzchni kraju), Rosja – 0,5 mln jezior. W Szwecji powierzchnia zajęta przez wodę zajmuje 8,5% całego kraju – 40 tys. km², ponad 100 tys. jezior. W Finlandii jest tych jezior 55 tys., a jeziorność przekracza nawet 9%. Ten sam współczynnik jeziorności dla całej Europy wynosi ok. 1,6%.

W Polsce, w zależności od daty wykonania szacunków, kryteriów i rodzaju uwzględnianych materiałów kartograficznych, liczba jezior o powierzchni powyżej 1 ha przekracza zwykle 7000 (ostatnio 7080). Zajmują one obszar ponad 28 tys. km². Daje to wskaźnik jeziorności rzędu 0,9%.

Największe wskaźniki dotyczą zlewni: Węgorapy – 22,4%, Wieprzy i Słupi – 7,5%. Jeziorność Pojezierza Mazurskiego wynosi 3,05%, Pomorskiego – 2,03%, a Wielkopolsko-Kujawskiego – 1,23%. Najwięcej jezior naliczono w dorzeczu Brdy – 490, Drawy – 413 oraz w systemie Drwęcy – 396. Warto w tym miejscu dodać, że wiele zbiorników wodnych umyka uwadze w trakcie wykonywania szacunków. Przykładem są np. oczka polodowcowe. Tylko na Pojezierzu Mazurskim naliczono ich ok. 84 tys., a ich gęstość przekracza lokalnie 30 sztuk na 1 km².

Powierzchnia największych jezior w Polsce jest znacznie mniejsza: Śniardwy – 114 km², Mamry – 98,5 km², Łebsko – 70 km². Największą głębokość mają natomiast: Hańcza – 108,5 m, Drawsko – 79,7 m, Wielki Staw – 79,3 m, Czarny Staw nad Morskim Okiem – 76,4 m. W 26 jeziorach głębokości są większe niż 50 m.



Fot. 4. Sztuczny zbiornik wodny na Kaczawie



Fot. 5. Śródleśne jezioro w północno-wschodniej Polsce

Ostatnie materiały wskazują, iż łączna objętość wody gromadzona w jeziorach Polski, przy przeciętnym stanie wody, przekracza $19,7 \text{ km}^3$. Dla poszczególnych pojezierzy zasoby te wynoszą: Mazurskie – $10,1 \text{ km}^3$ (51,3%), Pomorskie – $7,1 \text{ km}^3$ (36,1%), Wielkopolsko-Kujawskie – $2,35 \text{ km}^3$ (11,9%). Pojemność pozostałych jezior niewiele przekracza 0,65%.

Łączna **pojemność jezior** w Polsce daje warstwę wody o wysokości 63 mm, przy czym dla trzech największych pojezierzy wskaźnik ten wynosi średnio 158 mm (Mazurskie – 283 mm, Pomorskie – 150 mm, Wielkopolskie – 58 mm). Dla obszaru Polski zasoby wody zgromadzonej w jeziorach stanowią 10% średniego opadu rocznego (633 mm) i niecałe 30% średniego odpływu rzeczny. Woda zretencjonowana w jeziorach mogłaby podtrzymać odpływ w rzekach Polski na poziomie średnim przez okres 3-4 miesięcy.

Największe zasoby gromadzą jeziora: Mamry – 1 km^3 , Miedwie – $0,68 \text{ km}^3$, Śniardwy – $0,66 \text{ km}^3$. W pozostałych jeziorach objętość wody jest niższa od $0,35 \text{ km}^3$. Tylko w 23 misach jeziornych ilość zasobów przekracza $0,1 \text{ km}^3$. Łączna objętość wody w jeziorach Polski jest zbliżona do pojemności Wielkiego Jeziora Słonego w USA – 19 km^3 .

Zasoby wodne jezior nie są oczywiście stałe. Zmieniają się zarówno w skali rocznej, jak i w wieloleciu. Przyczyny tego są rozmaite: od naturalnych po działalność człowieka. Zmiany mogą się tu wiązać zarówno z przemianami bilansu wodnego jeziora i jego zlewni, jak też wynikać z ewolucji samej misy jeziora – przyrost osadów dennych, zarastanie itp. Mogą one mieć charakter lokalny, ale mogą też wynikać z globalnych tendencji zmian klimatu.

Analiza **zmian powierzchni jezior** i zasobów wodnych gromadzonych w tych zbiornikach naturalnych dowiodła, iż w szeregu jeziorach bezodpływowych świata doszło w ostatnim okresie do znacznego obniżenia poziomu zwierciadła, a tym samym do zmniejszenia powierzchni i objętości tych zbiorników.

Na podstawie ostatnich analiz wykonanych w Polsce można stwierdzić, że w ciągu ostatnich 50 lat zanikło lub zmniejszyło swoją powierzchnię do poniżej 1 ha ponad 2200 jezior, a więc powierzchnia jezior w Polsce zmniejszyła się o ponad

35,5 tys. ha. Przykładem jest choćby jezioro Jamno. W 1888 roku jego powierzchnia wynosiła 2462 ha, a w 1975 – 2231 ha. Uwzględniając obecne tempo zaniku tego jeziora można powiedzieć, iż po ok. 900 latach w miejscu tym powstanie rozległy obszar podmokły. Jeżeli uwzględnimy średnie tempo zaniku wszystkich badanych jezior w Polsce, to ich perspektywiczny wiek można oszacować na kilkaset do 2-3 tys. lat.

Zamiast zakończenia

W podsumowaniu warto zwrócić uwagę na jeszcze dwa aspekty. Po pierwsze, należy pamiętać, że woda w środowisku znajduje się obecnie w sferze bezpośredniego i pośredniego oddziaływania czynników antropogenicznych, a fakt, iż jest ona elementem wysoce dynamicznym, wywołuje swoją gwałtowność jej przeobrażeń. Cechy fizyczne i chemiczne wody oraz jej miejsce i rola w procesach wymiany masy i energii w środowisku sprawiają, że ingerencja człowieka w dowolny właściwie element tegoż środowiska wywołuje zawsze konsekwencje w zakresie stosunków wodnych. Należy przy tym podkreślić, iż zachodzące wówczas zmiany mają charakter nie tylko ilościowy, ale i jakościowy.

Po wtóre: fakty, na bazie których powstała powyższa charakterystyka zasobów wodnych, mają dziś w większości znaczenie historyczne, zaś nakreślone tu prawidłowości zostaną prawdopodobnie zweryfikowane w przyszłości. Można się jedynie obawiać, że przyszłość zasobów wodnych będzie wyglądała inaczej niż teraźniejszość i przeszłość. Jak piszą Dzerdzejewski i Monin: „Nagromadzenie charakterystyk ilościowych w systemie atmosfera – hydrosfera wywołuje rozwój kontrastów, po czym jego charakter zmienia się skokowo, tworząc nową jakość, nowy stan”. Rodzi się tylko pytanie, czy ten nowy stan odpływu i obiegu wody w Polsce będzie korzystny dla jej mieszkańców?

Fotografie: Adam Bartnik

LITERATURA

- Byczkowski A., 1996: *Hydrologia*. Tom II, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Choiński A., 2000: *Jeziora kuli ziemskiej*. PWN, Warszawa
- Choiński A., 2006: *Katalog jezior polskich*. Wyd. Naukowe UAM, Poznań
- Dynowska I., 1971: *Typy reżimów rzecznych w Polsce*. Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 2, Kraków
- European Environment Agency, 1995: *Europe's Environment*
- Fal B., 1993: *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu*. Wiad. IMGW, t. 16, z. 3, Warszawa
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P. 1995: *Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990*. Mat. Bad. IMGW, seria: Gosp. Wodna i Ochr. Wód, 16, Warszawa
- Gleick P. H. [red.], 1993: *Water in crisis: a Guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford University Press, New York
- Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H., 1996: *Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych*. PWN, Warszawa
- Jokiel P., 2004: *Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku*. Wyd. UŁ, Łódź
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989: *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*. Dokum. Geograf. IGI PZ PAN, z. 6
- Kac N. J., 1975: *Bagna kuli ziemskiej*. PWN, Warszawa
- Kostrowicki J., 1968: *Środowisko geograficzne Polski*. PWN, Warszawa
- Okruszko T., 2005: *Kryteria hydrologiczne w ochronie mokradeł*. Rozprawy Naukowe Monografie. Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- Paczyński, Sadurski A. (red.), 2007: *Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I – Wody słodkie*. PiG, Warszawa
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990: *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol. Warszawa
- Stachý J., 1968: *Zmniejszanie się odpływu rzek polskich w bieżącym stuleciu*. Prace PIHM, 95, Warszawa
- Stachý J., 1984: *Odpływ rzek polskich w latach 1971-1980 na tle danych wieloletnich*. Gosp. Wodna, 5-6, Warszawa
- Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski. 1996: *Materiały badawcze*. Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, nr 20, Wyd. IMGW, Warszawa



■ Potrzeba ochrony środowiska staje się szczególnie wyraźna wtedy, kiedy naocznie możemy obserwować jego degradację. Sytuacja wygląda inaczej, jeżeli działania ochronne mają dotyczyć niewidocznych elementów środowiska, takich jak powietrze. Konieczność polepszenia jakości powietrza zwiększa się tym bardziej, im problem jego zanieczyszczenia staje się bardziej „widoczny”.

Polskie powietrze – najgorsze w Europie?

Krzysztof Trojan
Magister geografii, UJ Kraków

Problem zanieczyszczenia powietrza rokrocznie wraca do debaty publicznej wraz z nastaniem chłodniejszych dni i pełnym rozpoczęciem sezonu grzewczego. Szczególnie początek listopada dostarczył wielu doniesień o smogu i wielokrotnym przekroczeniu limitów zanieczyszczeń powietrza m.in. w Krakowie, wielu miastach Górnego Śląska, Legnicy i praktycznie we wszystkich większych aglomeracjach w kraju. Sytuacja skłania do przyjrzenia się bliżej temu problemowi, tym bardziej, że już na początku roku Polska otrzymała upomnienie od Komisji Europejskiej za niespełnianie wymogów jakości powietrza,

a większość „smogowych” miesięcy jest jeszcze przed nami.

Dlaczego kontrolować powietrze?

Przez pojęcie jakości powietrza rozumie się jego stan oparty na składzie chemicznym, określanym na podstawie stężenia kilku wskaźnikowych zanieczyszczeń. Do najważniejszych należą: pył o różnej średnicy cząstek (10 i 2,5 mikrometra, odpowiednio: PM10 i PM2,5), dwutlenek siarki (SO₂), ozon (O₃), dwutlenek azotu (NO₂) oraz benzo(a)piren – B(a)P, jeden z tzw. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Rozporządzenie ministra środowiska określa dopuszczalne stężenie tych substancji, które mierzone są przez sieć posterunków Państwowego

Monitoringu Środowiska (90 stacji i ponad 500 punktów pomiarowych) zwykle na wysokości ok. 2 m, czyli w strefie, w której oddychamy. Wyniki pomiarów i ustalone limity podawane są najczęściej w przeliczeniu na mikrogramy na metr sześcienny powietrza. Punktem odniesienia pomiarów, oprócz wspomnianej normy ustawowej, są również, między innymi, wskazania Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), Europejskiej Agencji Środowiskowej (EEA) oraz dyrektyw unijnych takich jak dyrektywa CAFE (ang. Clean Air for Europe) w sprawie jakości powietrza i czystego powietrza dla Europy.

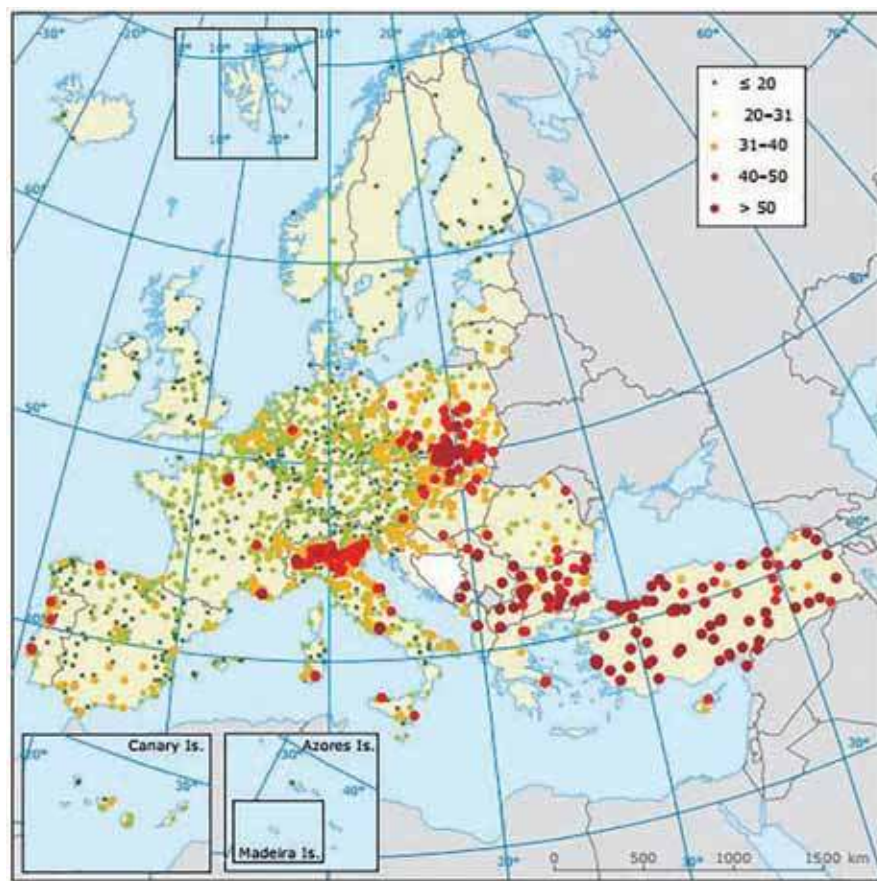
Stałe badanie jakości powietrza ma ogromne znaczenie. Badania medyczne wskazują, że oddychanie powietrzem zanieczyszczonym wpływa na skrócenie długości życia, powodu-

je choroby układu nerwowego, krążenia i dróg oddechowych, a także wywołuje alergie, nowotwory i zaburzenia w przebiegu ciąży. Szacuje się, że przebywając na wolnym powietrzu w większych polskich miastach przez godzinę dziennie otrzymujemy taką samą dawkę benzo(a)pirenu co osoba wypalająca około pięciu papierosów na dobę. Z kolei według europejskiej organizacji HEAL, zły stan sanitarny powietrza przyczynia się w Polsce do zgonu nawet 45 tysięcy osób rocznie, a w skali Europy – 400 tysięcy osób. Negatywne skutki występowania tego typu zanieczyszczeń dotyczą również innych organizmów żywych oraz całych ekosystemów, a nawet wytworów sztucznych i materiałów budowlanych (np. przyspieszenie niszczenia metali czy niektórych kruszyw naturalnych). Poprawa stanu środowiska na tym polu ma też wymiar czysto finansowy – ocenia się, że obniżenie zanieczyszczenia powietrza spowodowałoby zmniejszenie kosztów pośrednich (przeznaczanych na ochronę środowiska, leczenie chorób, urlopów zdrowotnych) i zaoszczędzenie w samej tylko Małopolsce prawie 3 miliardów złotych rocznie. Tymczasem za przekraczanie unijnych norm stężenia substancji szkodliwych, na Polskę mogą zostać nałożone sankcje pieniężne sięgające nawet 4 miliardów złotych.

Polskie realia, czyli miejski smog i niska emisja

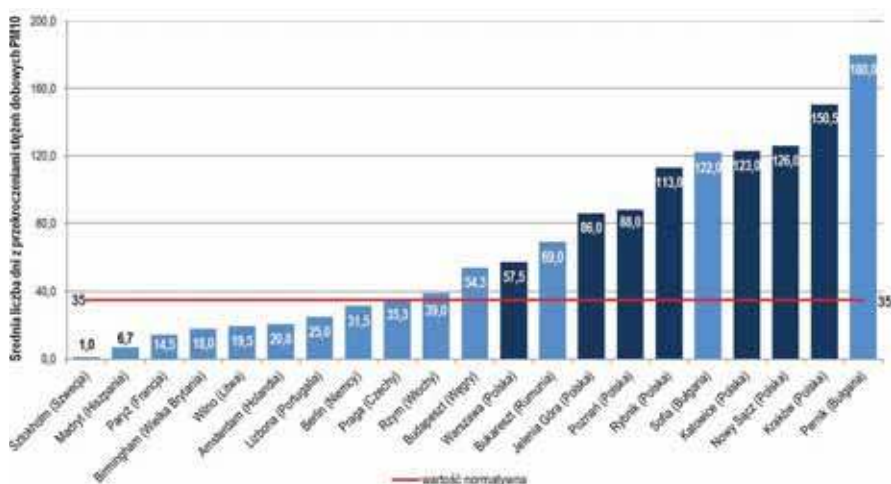
Według standardów unijnych mieszkańcy obszarów miejskich naszego kontynentu są najbardziej narażeni na oddziaływanie pyłu zawieszonego, O_3 , NO_2 i B(a)P, co dotyczyć może nawet jednej trzeciej mieszkańców miast, a zgodnie z zaleceniami WHO, nawet 76-96% populacji miejskich. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w obecnym stanie jakości polskiego powietrza, który nie przedstawia się najlepiej. Według Europejskiej Agencji Środowiska nasz kraj razem z Bułgarią zajmuje niechlubne ostatnie miejsce pod względem czystości powietrza w Europie.

Dla Polski główny problem stanowią powszechne, nawet kilkukrotne przekroczenia stężeń B(a)P oraz pyłu zawieszonego, zwłaszcza $PM_{2,5}$. W ujęciu przestrzennym najlepszą jakość powietrza odnotowywano w Polsce północnej, zwłaszcza w województwach zachodniopomorskim, warmińsko-mazurskim i podlaskim, natomiast



Rys. 1. Średnia liczba dni z przekroczeniami stężeń dobowych PM_{10} w wybranych miastach Europy w 2011 r.

Źródło: opracowanie NIK na podstawie *Exceedance of air quality limit values in urban areas*, EEA 2013



Rys. 2. Roczne stężenie pyłu zawieszonego PM_{10} w 2011 r.

Źródło: Raport *Air Quality in Europe*, EEA 2013

najgorszą na południu kraju, zwłaszcza w województwie śląskim i małopolskim (Górny Śląsk, okolice Krakowa, aglomeracja Rybnicko-Jastrzębska). Ponadto na tle kraju negatywnie wypadają aglomeracja łódzka i warszawska, strefa dolnośląska oraz Bielsko-Biała. Na po-

nad 60 zmonitorowanych miast Polski jedynie sześć znalazło się w granicach normy jakości powietrza: Gdańsk, Elbląg, Koszalin, Zielona Góra, Olsztyn i Wałbrzych. Wśród najbardziej zanieczyszczonych miast niepodzielnie króluje Kraków (limity stężeń przekro-

czony przez 150 dni w roku), a za nim: Nowy Sącz, Rybnik, Gliwice, Zabrze, Sosnowiec i Katowice.

Czynnikiem łączącym wymienione miejscowości, czy nawet całe strefy zagrożone zanieczyszczeniem, jest duży udział gospodarstw jednorodzinnych i starych kamienic ogrzewanych paleniami stałymi oraz skoncentrowany i intensywny ruch samochodowy. Do przekroczeń limitów stężenia pyłów i B(a)P w ponad 80% przyczynia się właśnie tzw. niska emisja sektora komunalno-bytowego, pochodząca z prywatnych kotłów i pieców do ogrzewania domów, a nie, jak można by sądzić, zanieczyszczenia komunikacyjne i przemysłowe. Udział tych dwóch źródeł emisji w produkcji najbardziej problematycznych zanieczyszczeń został skutecznie zmniejszony na przestrzeni lat, począwszy od transformacji ustrojowej i obecnie wynosi dla każdego z nich 7-9%. Zwiększona rola zanieczyszczeń komunikacyjnych, nazywanych emisją liniową, występuje w województwie mazowieckim, śląskim i małopolskim.

Człowiek działa – geografia decyduje

Zmiany stężenia szkodliwych substancji w powietrzu w ciągu roku oraz przestrzenne zróżnicowanie ich występowania znajduje swoje uzasadnienie, oprócz bezpośredniego wpływu człowieka, również w czynnikach geograficznych. W około 70 procentach

za sytuację kumulacji zanieczyszczeń w powietrzu odpowiadają aktualne warunki meteorologiczne, zwłaszcza w niektórych regionach (województwa mazowieckie, małopolskie, opolskie i śląskie). Szkodliwy wpływ niskiej emisji przypada zwłaszcza na okres grzewczy, czyli jesienno-zimowy. W tym czasie obecność bezwietrznej, wyższej pogody o insolacyjno-radiacyjnym rozkładzie temperatur dobowych nie daje warunków wentylacji powietrza. Towarzyszące im okresy bezopadowe, mogące występować również w warunkach napływu mas suchego powietrza w lecie, uniemożliwiają wypłukiwanie unoszących się w powietrzu pyłów (najmniej opadów notuje się w lutym). W warunkach bezwietrznej, chłodnej pogody występują niskie wartości tzw. warstwy mieszania, czyli możliwości pionowego rozpraszania zanieczyszczeń, której zasięg wynosić może od kilkudziesięciu do kilku tysięcy metrów, a która w warunkach przygruntowej inwersji temperatury uniemożliwia pionowe ruchy powietrza. Tego typu sytuacja wietrzno-termiczna powoduje wzrost koncentracji zanieczyszczeń, również w nocy, a w miesiącach ciepłych przy temperaturze powyżej 25°C odpowiada za występowanie w miastach smogu fotochemicznego (smogu typu Los Angeles) o zwiększonej koncentracji szkodliwego ozonu.

Istotnym czynnikiem środowiskowym w kumulacji zanieczyszczeń powietrza jest również ukształtowanie

terenu: zimniejsze, cięższe powietrze spływa do wszelkiego rodzaju obniż (np. dolin, kotlin śródogórskich), zatrzymując przy ziemi zanieczyszczenia emitowane z ruchu komunikacyjnego czy gospodarstw domowych. Utrzymywanie się tego typu hamującej warstwy inwersyjnej prowadzi do coraz większej kumulacji zanieczyszczeń, a w dolinach i innych obniżeniach dodatkowo sprzyja powstawaniu mgły (duża wilgotność powietrza i liczne jądra kondensacji w zapyłonym powietrzu). Przy dużej wilgotności powietrza może następować agregacja cząstek pyłu i ich szybsze opadanie, jednak z drugiej strony w takich warunkach następuje utlenianie dwutlenku siarki do aerozolu kwasu siarkowego, stanowiącego główny element kwaśnego smogu typu londyńskiego. Tego typu warunki wilgotnościowe mogą zachodzić również podczas napływu wilgotnych mas powietrza przy odpowiednio niskiej temperaturze. Warto również zwrócić uwagę na obecność różnego rodzaju przeszkód terenowych (naturalnych, np. wzniesienia, lub sztucznych – zabudowania) i rodzaju pokrycia terenu (różne rodzaje roślinności, zabudowa różnego typu, akweny). Czynniki te, modyfikujące opór i możliwość swobodnego przepływu powietrza, znacząco wpływają na lokalną cyrkulację powietrza, a także na możliwości wychwytywania części zanieczyszczeń przez roślinność.

Rachunek zaniedbań i szans

Opublikowane w ostatnim czasie raporty dotyczące stanu sanitarnego powietrza w Polsce wskazują, że kroki podejmowane w celu jego polepszenia są niewystarczające. Stan powietrza pod względem najczęściej występujących zanieczyszczeń w ostatnich latach nie uległ poprawie i wciąż znacząco odbiega od standardów europejskich, głównie przez powszechne przekraczanie stężenie PM10 i B(a)P spowodowane niską emisją. To właśnie jej ograniczenie uznaje się obecnie za priorytetowy kierunek programów poprawy jakości powietrza. Szacuje się, że nawet 70% domów jednorodzinnych opalane jest węglem, a w warunkach domowych nagminnie palone są śmieci i paliwa o złych parametrach (w tym biomasa jako alternatywa dla węgla), zaś stosowane piece i kotły niejednokrotnie pracują w sposób nieefektywny. Powszechna jest również praktyka instalacji



starych kotłowni górnego spalania o wysokiej emisyjności oraz kupowanie tańszych paliw gorszej jakości, co wynika przede wszystkim ze względów ekonomicznych. Poza wskazaniem na główne źródła emisji zwraca się również uwagę na nieskuteczne działanie samorządów, polegające na nieterminowym sporządzaniu programów ochrony powietrza, odwlekaniu istotnych decyzji, prowadzenie źle planowanych inwestycji lub zwykłym braku inicjatyw. Należy też podkreślić małą efektywność programów zamiany pieców grzewczych na ciepło z sieci miejskich czy kampanii na rzecz popularyzacji korzystania z komunikacji miejskiej. Tutaj do głosu dochodzi brak potrzebnych funduszy nie tylko ze strony obywateli, ale również administracji państwowej. Część możliwych do podjęcia kroków jest z kolei blokowana przez brak niezbędnych i kompleksowych rozwiązań prawnych, dotyczących chociażby zakazu stosowania niewłaściwych paliw, zapisów dotyczących planowania przestrzennego czy egzekwowania przez samorządy wojewódzkie działań na niższych szczeblach administracji. Wymienione zaniedbania i nieskuteczność wielu podejmowanych działań pozwala na smutną konstatację, że potrzeba ochrony powietrza zajmuje niską pozycję w hierarchii działań zarówno samorządów jak i obywateli.

Dążenie do zmiany obecnego stanu rzeczy wymaga zwiększenia skuteczności już zapoczątkowanych projektów, a także rzetelnego sporządzania i realizacji wojewódzkich programów ochrony powietrza i gminnych programów ograniczenia niskiej emisji. Od 2013 r. funkcjonuje w Polsce system KAWKA, który definiuje zasady finansowania przedsięwzięć w ramach poprawy stanu powietrza, a ponadto ma prowadzić do wzrostu efektywności energetycznej, likwidacji niskiej emisji oraz do rozwoju rozproszonych źródeł energii odnawialnej. Ponadto w ostatnim czasie prezydent podpisał nowelizację prawa ochrony środowiska, która daje samorządom możliwość ustalania kryteriów jakościowych dla paliw używanych w gospodarstwach domowych. Dodatkowym wkładem w podjęcie działań na rzecz poprawy powietrza w Polsce są ustalenia Krajowego Programu Ochrony Powietrza, który funkcjonuje od 1 października bieżącego roku. Zawiera on m.in. wskazania techniczne dla urządzeń grzewczych, propozycje zmian prawnych i możliwości finanso-



wania działań oraz docelowe wskaźniki zanieczyszczeń na lata 2018 i 2020.

Inne rozwiązania

Borykając się z problemem zanieczyszczonego powietrza w Polsce warto skorzystać z innych, powszechnych praktyk, jakie możemy zobaczyć u naszych europejskich sąsiadów. W wielu większych miastach funkcjonują strefy ograniczonej emisji komunikacyjnej, do których prawo wjazdu mają tylko pojazdy spełniające wymogi emisji spalin. Innymi rozwiązaniami w celu odciążenia komunikacyjnego miast jest rozbudowa obwodnic oraz rozbudowa infrastruktury rowerowej i, niestety, rozbudowa droższych stref płatnego parkowania w celu skłonienia mieszkańców do korzystania z transportu publicznego. Nie bez znaczenia jest też racjonalna gospodarka przestrzenna, zwłaszcza obszarów miejskich. Niezwykle ważne jest pozostawianie w obrębie obszarów o gęstej i wysokiej zabudowie terenów zielonych i niezabudowanych, które pełnią znaczącą rolę w procesie naturalnej wentylacji miast. Przykładem może być np. Sztokholm, gdzie istotnym elementem planowania przestrzeni miejskich jest powszechny i bliski dostęp do stref zieleni. Kluczowe wydaje się promowanie obywatelskiego nastawienia do troski o jakość powietrza, za czym może iść wybieranie odpowiednich systemów grzewczych lub stosowanie odnawialnych źródeł ener-

gii. Wymaga to jednak odpowiedniego systemu wsparcia finansowego.

Krytyczna sytuacja smogowa w Polsce ma miejsce niemal w przeddzień konferencji klimatycznej, mającej się rozpocząć 30 listopada w Paryżu. Choć przywódcy państw będą próbowali ustalić wspólne działania na znacznie większą, globalną skalę, należy pamiętać o znanej zasadzie skuteczności działań publicznych, która mówi: „myśl globalnie, działaj lokalnie”. Tego typu idea, przyświecająca nowym wymaganiom stawianym przed polskimi samorządami, może stanowić skuteczny punkt wyjścia Polski z oparów smogu. Jej podstawą jest jednak postawa nas – obywateli.

Źródła: dokumenty

- Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2014, Inspekcja Ochrony Środowiska, 2015 r.
- Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami, Najwyższa Izba Kontroli, 2014 r.
- Review of evidence on health aspects of air pollution, World Health Organization, 2013 r.
- Air quality in Europe, European Environmental Agency, 2013 r.

Ciekawe strony

- www.polskialarmsmogowy.pl – aktualności i baza wiedzy
- www.misja-emisja.pl – aktualności, baza wiedzy, kalkulator spalania i gra edukacyjna
- www.powietrze.gios.gov.pl – normy prawne, dane z monitoringu, raporty i prognozy
- www.smog.imgw.pl – informacje z monitoringu, normy emisji, mapy
- www.tworzymyatmosfere.pl – kampania społeczna dotycząca ochrony powietrza
- www.airqualitynow.eu/pl/ – aktualny stan powietrza w różnych miastach Europy



Zmiany klimatu a geopolityka

Nowe znaczenie Arktyki

Eksploracja obszarów arktycznych sięga czasów średniowiecznych, choć przez kolejne wieki region ten znajdował się na marginesie globalnych ruchów osadniczych i zainteresowań gospodarczych. Dopiero w XX w., w miarę poznawania tego niegościnnego obszaru, zaczęto dostrzegać zarówno przyrodnicze znaczenie Arktyki, jak i jej potencjał geopolityczny.

Krzysztof Trojan

magister geografii UJ

Granica obszaru Arktyki definiowana jest dwojako – wzdłuż linii północnego koła podbiegunowego, bądź też zgodnie z lipcową izotermą $+10^{\circ}\text{C}$ na lądzie i $+5^{\circ}\text{C}$ na oceanie. W zależności od zastosowanego podziału całkowita powierzchnia tego regionu wynosi ok. 21-30 mln km^2 .

W historii naukowej eksploracji Arktyki poważny wkład mieli badacze polscy – poza odkryciami dokonanymi na polarnych terenach Syberii przez polskich zesłańców, m.in. Jana Czerskiego, Benedykta Dybowskiego czy Aleksandra Czekanowskiego, nasi rodacy od lat 30. ubiegłego wieku prowadzą badania głównie w obrębie archipelagu Svalbard, gdzie od 1957 r. (a od 1978 r. całorocznie) działa Polska Stacja Polarna Hornsund im. S. Siedleckiego.

Pod względem przyrodniczym Arktyka stanowi cenny i jednocześnie czuły na zmiany ekosystem. Zaburzenia jego równowagi wynikające z czynników globalnych zachodzą w nim szybciej i są bardziej czytelne niż w innych regionach, a ponadto pokazują, jak silne są oddziaływania na Arktykę z regionów niższych szerokości geograficznych. Najbardziej wyrazistym przejawem tych mechanizmów jest coraz szybsze ustępowanie arktycznej pokrywy lodowej.

Od około 30 lat ma miejsce postępujący zanik powierzchni lodu morskiego skuwającego biegun północny, w tempie przeciętnie 3,5-4,1% w ciągu dekady. Pomimo iż w stabilnych warunkach (np. obecności długotrwałych ośrodków wyżowych, braku sztormów) w miesiącach zimowych obserwować można znaczny przyrost powierzchni lodu arktycznego, to jednak proces ten nie zmienia ogólnego trendu spadkowego oraz stale obniżających się minimalnych wartości arealu lodowego. Szczególnie wyraźnie dotyczy to grubości lodu (spadek średniej wartości z 3,59 m do 1,25 m w ciągu ostatnich

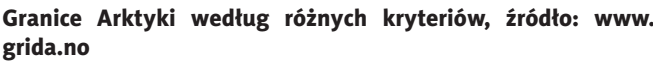
40 lat), który w ponad połowie zaklasyfikować można jako młody lód o grubości poniżej 1,5 m.

Istnieją szacunki, według których do końca XXI w. Ocean Arktyczny ma stracić 43-96% obecnej pokrywy lodowej w okresie letnim oraz 8-34% w zimie, ale jest prawdopodobne, że niemal całkowite stopienie lodu arktycznego w okresie letnim (poniżej 1 mln km^2 w ciągu pięciu kolejnych lat) może nastąpić już ok. 2030 r.

Badania wskazują, że ocieplenie klimatu w obszarze arktycznym zachodzi co najmniej dwukrotnie szybciej niż w innych miejscach globu, za co odpowiada mechanizm sprzężenia zwrotnego („wzmocnienia arktycznego”). Mniejsza powierzchnia lodu, który w znacznym stopniu odbija promieniowanie słoneczne, oznacza odślonienie większych połaci wód o niskim albedo. Ocean zaczyna pochłaniać zwiększoną ilość energii, co skutkuje wzrostem jego temperatury i parowania. Wypromieniowywane ciepło jest zatrzymywane przez gazy cieplarniane, a nagrzewająca się atmosfera potęguje dalsze ustępowanie lodu. Procesowi temu sprzyja koncentracja innych substancji z krótkotrwałych zanieczyszczeń, np. metanu z ocieplającego się morza i tającej wieloletniej zmarzliny, a także cząsteczek węgla zawartego w sadzy.

Na sytuację nad Oceanem Arktycznym mają wpływ również inne anomalie klimatyczne i hydrologiczne. Jedną z nich jest powstawanie sezonowych ośrodków barycznych (niż nad Rosją, wyż nad Kanadą), które powodują dryf lodu morskiego w stronę północnego Atlantyku, gdzie ulega on topnieniu. Obserwowane jest też wzmoczone wdzieranie się ciepłych wód z Atlantyku i Pacyfiku coraz dalej na północ, m.in. w wyniku wzrostu dostawy wód słodkich z topniejących lodowców i rzek syberyjskich. Wpływ tego zjawiska nie jest jeszcze jednoznacznie określony, choć niektórzy właśnie jemu przypisują wzmoczone topnienie arktycznego lodu morskiego, a także wzrost wilgotności i sum opadów atmosferycznych w postaci deszczu w strefie arktycznej.

Skutki nadmiernego ocieplania Arktyki trudno jest w pełni przewidzieć. Niemniej jego konsekwencje, częściowo



Całokształt tych zmian nieodwracalnie zmieni warunki bytowania arktycznej flory i fauny, zwłaszcza morskiej, co po-

Bogactwa spod lodu

Omawiając zasobność energetyczną Arktyki należy wspomnieć o gazohydratach (klatraty) metanu, występujących w dużych ilościach na szelfach i stokach kontynentalnych mórz oblewających biegun północny. Zwracano na nie uwagę głównie pod kątem zmian klimatycznych, ponieważ w wyni



ku wzrostu temperatury wody metan, dotychczas zamknięty w krystalicznych cząsteczkach wody, może zostać uwolniony do atmosfery w ogromnych ilościach, a przez to spotęgować działanie efektu cieplarnianego. Klatraty metanu stanowią nie tylko potencjalne zagrożenie – możliwość wyekstrahowania z nich gazu czyni je zasobnym źródłem energii, a technologię tę w ciągu ostatnich paru lat opracowali Japończycy oraz Chińczycy. Odkrycie to może zmienić kalkulację zysków i strat wydobycia surowców mórz arktycznych, gdzie potencjał klatratów metanu kilkukrotnie przekracza łączne zasoby gazu ziemnego na świecie.

Arktyczne szlaki

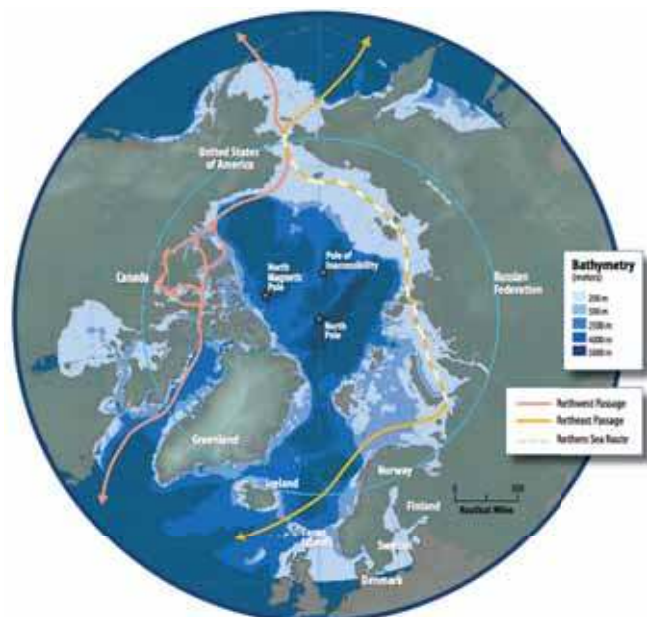
Uwalnianie Oceanu Arktycznego spod pokrywy lodowej otwiera także możliwości uaktywnienia dwóch morskich szlaków handlowych. Pierwszy z nich zwany jest Przejściem Północno-Zachodnim (*Northwestern Passage* – NWP) i wiedzie cieśninami Archipelagu Arktycznego u wybrzeży Kanady i Stanów Zjednoczonych, natomiast drugi to Przejście Północno-Wschodnie (*Northeastern Passage* – NEP) i Północna Droga Morska (*Northern Sea Route* – NSR), wiodące od Cieśniny Beringa w stronę Europy przez morza: Czukockie, Wschodniosyberyjskie, Łaptiewów, Karskie i Barentsa. W zależności od portu docelowego ich przebieg skraca drogę do portów azjatyckich o ok. cztery tysiące kilometrów w przypadku NWP, oraz do sześciu tysięcy kilometrów dla NEP.

W przypadku NSR, której eksploracja sięga XVI i XVII w., udowodnienie jej opłacalności nastąpiło po przepłynięciu jej przez Otto Schmidta (65 dni) w 1932 roku. Z kolei NWP została w całości pokonana w ciągu jednego roku nawigacyjnego (86 dni) dopiero w 1944 r. przez Henry'ego Larsena. W latach 2005-2007 obydwie przejścia po raz pierwszy zostały całkowicie uwolnione od lodu w sezonie letnim, umożliwiając tym samym swobodniejszy ruch statków. Wykorzystując zaistniałe warunki, w 2013 r. pierwszy statek handlowy pokonał NEP na drodze Rotterdam-Dalian (Chiny) w czasie o dziewięć dni krótszym niż dotychczas.

Federacja Rosyjska wiąże z tym szlakiem konkretne plany – w ciągu najbliższych lat wzdłuż szlaku mają powstać bazy portowo-logistyczne, nowe systemy i infrastruktura nawigacyjna, a obecny przepływ towarów na trasie (4-5 mln ton rocznie) ma wzrosnąć nawet dwudziestokrotnie. Perspektywa ta wydaje się o tyle realna, że do połowy XXI w. NSR ma być przez ponad 1/3 roku wolna od pływającego lodu, a cieńsza niż dotychczas pokrywa lodowa sezonu zimowego mogłaby być łatwiejsza do sforsowania w asyście lodolamaczy.

Opłacalność inwestycji w NSR wiąże się ściśle z kierunkami światowej wymiany handlowej, a oszczędności ekonomiczne towarzyszące korzystaniu z Drogi Północnej musiałyby przeważać nad szeregiem kosztów wejściowych oraz czynników niepewnych: kosztów administracyjnych i związanych z użegłownieniem trasy, dostosowaniem standardów technicznych floty, niepewnością warunków pogodowych czy skróconym okresem pełnej żeglowności. Podobne trudności dotyczą korzystania z NWP, gdzie złodzenie utrzymuje się dłużej, a liczne wąskie i płytkie odcinki trasy czynią z niej przejście trudniejsze i o mniejszej przepustowości.

Nie wiadomo jeszcze, jaką rolę może odegrać użegłownienie NEP w światowym układzie sił. Dla Rosji oznacza to ułatwienie transportu surowców pozyskiwanych na obszarze Syberii, a sprawowanie kontroli nad tym szlakiem mogłoby przynieść korzyści w sojuszu z Chinami, jeśli racje ekono-



Przejście Północno-Wschodnie i Północno-Zachodnie, źródło: Wikipedia

miczne i polityczne przemawiałyby za poprowadzeniem tamtejszy północnej odnogi Nowego Szlaku Jedwabnego. Byłoby to wyraźnym naruszeniem dominacji potęgi morskiej Stanów Zjednoczonych. Nie wiadomo jednak, czy interesem chińskim jest współpraca ze swoim największym sąsiadem, czy raczej jego ominięcie na drodze do rynków Europy Zachodniej. Tymczasem brak infrastruktury i niepewność warunków uniemożliwiają uzyskanie przez NEP roli konkurencyjnej drogi handlowej. Jednak w perspektywie kilkudziesięciu lat, przy odpowiednim nakładzie finansowym, może stanowić ona istotny szlak komplementarny.

Spór o „Skarby Północy”

Pytanie o to, kto może skorzystać na zmianach zachodzących w Arktyce, ściśle łączy się z tematem roszczeń terytorialnych w tej części świata, które pojawiły się już w I poł. XX w. Do końca lat 90. otoczenie bieguna północnego podzielone było na sektory między pięcioma państwami, których terytoria sąsiadują z Oceanem Arktycznym: USA, Rosją, Kanadą, Danią (poprzez Grenlandię) i Norwegią. Poza znajdującymi się w ich obrębie specjalnymi strefami ekonomicznymi (200 mil morskich od wybrzeży), pozostałe wody Oceanu Arktycznego, w tym biegun północny, stanowiły przestrzeń międzynarodową.

W obliczu rosnących zainteresowań tę częścią świata powołana została Rada Arktyczna, mająca na celu nie tylko wspólną ochronę całego regionu, ale także wypracowanie statusu terytorialnego w otoczeniu Oceanu Arktycznego. Skupia ona ośmiu stałych członków, których terytoria bezpośrednio obejmują obszary arktyczne (Rosja, USA, Dania, Szwecja, Finlandia, Kanada, Islandia oraz Norwegia), a dodatkowo trzynastu krajów ma w niej status obserwatorów, pilnie śledzących rozwój wydarzeń na „szczytach świata”. Należą do nich m.in. Polska, Wielka Brytania, Niemcy, Singapur, Indie oraz Chiny.

Dzięki Konwencji Narodów Zjednoczonych o Prawie Morza (wesła w życie w 1994 r.) kraje Rady Arktycznej mają możliwość zweryfikowania swoich roszczeń terytorialnych. Jeżeli dane państwo udowodni naukowo, że obszar zaintere-

sowania stanowi przedłużenie szelfu kontynentalnego należącego do tego kraju, to jego strefa ekonomiczna może zostać poszerzona do 350 mil morskich przy jednoczesnym zyskaniu praw do eksploataowania dna morskiego na tym terytorium. W procedurze tej ścierają się roszczenia Danii, Kanady i Rosji, które dotyczą m.in. podwodnego Grzbietu Łomonosowa. Dziwić może tutaj brak zaangażowania ze strony Stanów Zjednoczonych, które do tej pory nie ratyfikowały Konwencji o Prawie Morza, a przez to nie mogły dochodzić swoich praw w Komisji Granic Szelfu Kontynentalnego ONZ. Tymczasem kraj ten posiada konflikt interesów z Kanadą, dotyczący fragmentu szelfu na Morzu Beauforta, a także przynależności Przejścia Północno-Zachodniego, które wbrew opinii innych krajów uznawane jest przez rząd Kanady jako integralna część ich wód terytorialnych.

Jak dotąd kwestie terytorialne w Arktyce rozwiązywane są na drodze oficjalnej, a epizody stosowania agresywnej polityki są stosunkowo rzadkie. Należały do nich np. demonstracyjne przepływanie amerykańskich łodzi podwodnych przez wody Przejścia Północno-Zachodniego lub umieszczenie na dnie morskim pod biegunem północnym tytanowej flagi rosyjskiej, dokonane przez batyskaf Mir-1 w 2007 r. Faktem pozostaje, że na terytoriach krajów arktycznych pierwszy raz od zakończenia zimnej wojny obserwować można wzrost militarystyki.

Stany Zjednoczone, posiadające bazy wojskowe u wybrzeży Grenlandii, chcą wzmocnić swoją obecność w regionie poprzez rozwój infrastruktury militarnej na Alasce i w krajach sojuszniczych (np. budowa bazy radarowej na norweskiej wyspie Vardø – północna Norwegia, przy granicy z Rosją). Z kolei Kanada, poza organizowaniem corocznych manewrów wojsk, ma w planach zwiększenie liczebności jednostek arktycznych i inwestycje w bezzałogowe samoloty patrolujące ich terytoria.

Rosyjskie dążenia do dominacji są znacznie bardziej ewidentne. W ciągu ostatnich dwóch lat uruchomili oni daleko wysuniętą stację badawczą North Pole-2015 (po paru miesiącach musiała się ewakuować z powodu topniejącego lodu), oraz otworzyli dwie nowe bazy wojskowe – w obwodzie murmańskim i na Ziemi Aleksandry, co ma swoje uzasadnienie w zabezpieczeniu Przejścia Północno-Wschodniego.

Można sądzić, że kwestia Arktyki dla Rosji jest istotniejsza niż dla innych państw, z uwagi na chęć kontroli perspektywicznych złóż węglowodorów, co stanowi kluczowy element gospodarczo-politycznej pozycji tego kraju na świecie, a także zabezpieczenie zasobnych w inne surowce północnych terytoriów Federacji. Z kolei arktyczne aspiracje Stanów Zjednoczonych wydają się być znacznie mniejsze, być może z powodu rozwoju technologii pozyskiwania gazu łupkowego lub upatrywaniu centrum interesów globalnych w innych regionach świata.

Przyszłość regionu

Arktyka posiada znaczący potencjał gospodarczy, przy czym z uwagi na obecną sytuację technologiczną, gospodarczą oraz warunki naturalne przedstawia ona wciąż zbyt niską stawkę, aby mogła generować otwarty konflikt lub umożliwiać intensywną eksploatację w ciągu najbliższych kilku dekad. Scenariusz jej dalszych losów zależy w znacznym stopniu od skuteczności współpracy międzynarodowej w tym regionie, czego dobrym przykładem może być tegoroczne Porozumienie Arktyczne (wdrażanie ustaleń paryskiego Panelu



Roszczenia terytorialne na Oceanie Arktycznym, źródło: IBRU, Uniwersytet Durham, MSZ Danii

Klimatycznego – IPCC), czy współpraca w sprawie oczyszczania z odpadów atomowych (porozumienie *Arctic Military Environmental Cooperation*) oraz poszukiwań i ratownictwa na wodach Arktyki (*Arctic SAR Agreement*).

Z kolei nieporozumienia generować mogą sprzeczne lub niespójne działania, które mogą mieć coraz gorsze konsekwencje dla utrzymania równowagi ekologicznej regionu. Nawet jeżeli realnym stanie się postulat utworzenia wokół bieguna północnego zamkniętego rezerwatu, to można przypuszczać, że jeszcze za naszego życia oblicze Arktyki zmieni się diametralnie i, co również prawdopodobne – nieodwracalnie.

LINKI I LITERATURA

- www.naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,414167,sekretarz-stanu-usa-i-przedstawiciele-7-panstw-podpisali-porozumienie-arktyczne.html
- www.dailymail.co.uk/news/article-4421072/Russia-unveils-new-Arctic-military-base.html
- www.nbcnews.com/news/world/russia-s-military-buildup-arctic-has-u-s-watching-closely-n753041
- www.nytimes.com/2017/06/13/world/europe/arctic-norway-russia-radar.html
- www.geopolityka.net/leszek-sykowski-geopolityka-polarna-arktyka-i-antarktyka-wideo/
- www.dailyclimate.org/tdc-newsroom/2012/04/climate-geopolitics:
- www.maritime-executive.com/editorials/future-development-of-the-northern-sea-route
- ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2014/NSR_Advisory.pdf
- www.arctic.ru
- www.geopoliticsnorth.org
- www.arcticicesea.blogspot.com
- www.discoveringtheartctic.org.uk
- Dodds K., 2010, *A Polar Mediterranean? Accessibility, Resources and Sovereignty in the Arctic Ocean*, "Global Policy", 1, 3, s. 303-312.
- Jania J., 2008, *Konsekwencje globalnego ocieplenia dla kriosfery*, „Nauka” 3, s. 35-58.
- Łuszczak M., Graczyk P., Stępień A., Śmieszek M., 2015, *Cele i narzędzia polskiej polityki arktycznej*, Ministerstwo Spraw Zagranicznych, Departament Polityki Europejskiej, Warszawa.
- Pachauri R.K., Meyer L.A. (red.), 2014, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Genewa, Szwajcaria.
- Rzeszutko-Piotrowska M., 2014, *Aktywność Federacji Rosyjskiej w rejonie Arktyki – wybrane problemy rywalizacji mocarstw*, „Rocznik Bezpieczeństwa Narodowego” 8, 1, s. 51-61.
- Walasek K., 2013, *Rosyjska Ameryka, rosyjska Arktyka. Między historią a współczesnością*, „Przegląd Polityczny”, 6, s. 61-68.

Przyszłość – nadzieja czy katastrofa?



Rozważania o ekologii. Materiały pomocnicze do realizacji programu przedmiotu przyroda

Ekologia¹ jest dziedziną wybitnie interdyscyplinarną. Wiąże się ona nie tylko z takimi naukami jak biologia, geografia czy chemia, ale także z fizyką, techniką a nawet socjologią społeczną. Jest więc szczególnie użyteczna w realizacji celu postawionego przez twórców programu przedmiotu przyroda, jakim jest kształcenie holistyczne².

Waldemar Reńda

Rozwój zrównoważony a ekologia

Jednym z najbardziej ostatnio dyskutowanych problemów współczesnego przyrodoznawstwa jest problem ochrony środowiska przyrodniczego Ziemi. Problemowi temu został poświęcony tzw. Raport Brundtland². Raport ten zakłada, że na obecnym poziomie cywilizacyjnym

możliwy jest rozwój zrównoważony, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone, bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie³.

To taki rozwój, w którym wzrost gospodarczy prowadzi do podnoszenia jakości środowiska naturalnego poprzez ograniczanie szkodliwego wpływu produkcji i konsumpcji na jego stan oraz aktywną ochronę zasobów przyrodniczych.

Do najważniejszych dokumentów prawnomiędzynarodowych ujmują-

cych problematykę zrównoważonego rozwoju należy Agenda 21. Dokument ten został przyjęty na konferencji „Środowisko i Rozwój” z inicjatywy ONZ w 1992 r. w Rio de Janeiro⁴.

Idea rozwoju zrównoważonego jest obowiązującą zasadą konstytucyjną: „Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże dzie-

¹ Od grec. *oikos* = dom, *lógos* = słowo (nauka)

² Od nazwiska przewodniczącej komisji, Gro Harlem Brundtland.

³ O konieczności zrównoważonego rozwoju gospodarczego wypowiadał się już 40 lat temu astrofizyk rosyjski, prof. J. S. Szklowski. Por.: *O unikatowości ziemskiej cywilizacji we Wszechświecie* – wywiad z prof. J. S. Szklowskim, „Urania”, luty 1977 s. 47-52.

⁴ Dokumenty końcowe Konferencji ONZ Środowisko i rozwój. Szczyt Ziemi. Rio de Janeiro, 3-14 czerwca 1992 r., Warszawa 1993.

Ważne pojęcia

Energia – podstawowa wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu. Energia jest wielkością skalarną, addytywną i zachowywaną. Przekazywana jest w oddziaływaniach fizycznych, ale nie znika i nie może powstawać *ex nihilo* (z niczego). Energia występuje w różnych postaciach w opisie zjawisk fizycznych. Energię mierzy się obecnie w dżulach (J).

Odnawialne źródło energii (OZE)¹¹ – źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, z biogazu powstałego w procesach towarzyszących oczyszczaniu ścieków oraz rozkładu odpadów roślinnych i zwierzęcych.

Alternatywne źródło energii – metoda pozyskiwania energii, niezależna od dużych, instytucjonalnych dostawców. Energia ta wykorzystywana jest do zasilania poszczególnych zakładów produkcyjnych. Często wytwarzana jest przez gospodarstwa domowe, będące jej konsumentami.

Energetyka słoneczna – dział energetyki zajmujący się wykorzystaniem i przetwarzaniem energii promieniowania słonecznego w energię cieplną i elektryczną.

Energia wody (energetyka wodna) – wykorzystywana gospodarczo energia mechaniczna spiętrzonej lub płynącej wody. Współcześnie energię wodną zazwyczaj przetwarza się na energię elektryczną (hydroenergetyka oparta na spiętrzeniach uzyskanych dzięki zaporom wodnym). Można ją także wykorzystywać bezpośrednio do napędu maszyn (np. młyny).

Energetyka wiatrowa – jest jednym z odnawialnych źródeł energii. Energetyka wiatrowa zajmuje się przekształcaniem energii kinetycznej wiatru na energię mechaniczną urządzeń (np. wiatraki), a następnie na elektryczną.

Geoenergetyka – dział energetyki cieplnej obejmujący pozyskiwanie i przetwarzanie energii geotermalnej z wnętrza Ziemi. Geoenergetyka ma obecnie niewielkie znaczenie praktyczne, gdyż dotychczas wykorzystywana jest jedynie energia gorących źródeł powierzchniowych i podziemnych przetwarzana w geotermicznych zakładach energetycznych.

Energia biomasy – uzyskiwana poprzez spalanie biomasy lub produktów jej rozkładu – głównie metanu. W wyniku spalania uzyskuje się ciepło, które może być przetworzone na inne rodzaje energii, np. energię elektryczną.

Biopaliwa – paliwo uzyskiwane z roślin. Może to być etanol powstały z alkoholowej fermentacji cukrów lub tzw. biodiesel – paliwo podobne do oleju napędowego uzyskiwane z olejów roślinnych.

dzictwa narodowego oraz zapewnią ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju” (rozdz. I art. 5. Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej).

Jednym z najważniejszych celów zrównoważonego rozwoju jest ochrona środowiska naturalnego, jego zasobów oraz zachowanie równowagi procesów zachodzących w tym środowisku, a w szczególności:

- I ograniczenie zjawiska globalnego ocieplenia,
 - I zatrzymanie procesu zanikania różnicowania biologicznego,
 - I kontrolowanie i ograniczenie emisji trwałych zanieczyszczeń chemicznych,
 - I powrót do naturalnych cykli obiegu substancji odżywczych⁵.
- Realizując rozwój zrównoważony, należy mieć na uwadze ograniczo-

ność zasobów naturalnych i możliwości regeneracyjnych środowiska, a głównym priorytetem będzie ochrona środowiska przyrodniczego człowieka oraz nasze zdrowie i bezpieczeństwo – zarówno w wymiarze indywidualnym⁶, jak i zbiorowym⁷.

Warto zauważyć, że działania proekologiczne są bardzo drogie, a przez obywateli krajów Trzeciego Świata uważane za fanaberie ludzi bogatych. Niestety, kraje te niechętnie poddają się rygorom ochrony środowiska, tłumacząc się koniecznością szybszego rozwoju swoich gospodarek, co wiąże się z ograniczaniem środków na technologie proekologiczne. Do tych krajów dołączyły Chiny, Stany Zjednoczone, Indie i Brazylia, co złe wróży procesowi ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Jak dotąd, mimo licznych konferencji, nie doprowadzono do w pełni wiążących w tej sprawie decyzji o zasięgu globalnym⁸.

Trzeba będzie więc wybierać: albo podbój kosmosu, albo ekologia; nieograniczony wzrost konsumpcji energii, albo wzrost poziomu życia obywateli biednych krajów, gdzie podstawowym problemem jest choćby brak czystej wody do picia.

Przegląd najczęściej stosowanych źródeł energii

Przyjrzyjmy się kolejno stosowanym obecnie sposobom uzyskiwania⁹ energii oraz dokonajmy analizy pod kątem ich wpływu na środowisko przyrodnicze.

Z historycznych względów zacznę od **energii wodnej**. Wykorzystuje się ją od dawna (młyny). Obecnie największą rolę odgrywają elektrownie wodne wykorzystujące sztuczne spiętrzenia rzek¹⁰. Ich zaletą jest taniość pozyskiwania energii oraz bezpośredni brak emisji szkodliwych gazów. Można też je bardzo szybko uruchamiać – np. gdy gwałtownie wzrośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Ich zaletą jest i to, że tworzone jeziora zaporowe chronią przed powodzią niżej leżące tereny. Natomiast ich wadą jest znaczny koszt budowy oraz to, że zmieniają

⁵ Między innymi należy dążyć do tego, by czyste odpady biologiczne wracały do środowiska.

⁶ Mam tu na myśli choćby ochronę zdrowia i życia obywateli, a także ich bezpieczeństwa ekonomicznego.

⁷ Dotyczy to wojen i innych konfliktów zbrojnych.

⁸ Ostatnio Stany Zjednoczone i Chiny podjęły decyzję o ograniczeniu emisji CO₂ do 2020 r. Nie były to jednak konkretne i wiążące zobowiązania.

⁹ W październiku 2014 r. Rada Europy proponowała, by do 2030 roku zwiększyć udział energii uzyskiwanej z odnawialnych źródeł energii średnio do 27%.

¹⁰ Piszę tu „uzyskiwania”, a nie „wytwarzania”, bo energii się nie wytwarza, lecz jedynie przetwarza na bardziej użyteczną! Przecież omawianych tu form energii z wyjątkiem energii jądrowej jest Słońce.

¹¹ Buduje się też elektrownie szczytowo-pompowe.

naturalne środowisko na zalanych terenach, a na ich dnie tworzą się szkodliwe osady (zbiorniki wymagają refulacji). Nie wspomina się też o tym, że do wybudowania tamy potrzeba setek tysięcy ton cementu, którego produkcja nie jest obojętna dla środowiska, bo m.in. wytwarzana jest równocześnie duża ilość CO₂.

Ciekawym rozwiązaniem są elektrownie pływowe, ale budować je można tylko tam, gdzie dysponujemy głęboką i wąską zatoką, w której występuje duża amplituda pływów oceanicznych. Taka elektrownia funkcjonuje już w Bretanii.

A **energetyka wiatrowa**? Energia wiatru również wykorzystywana jest od dawna. To ona napędza statki żaglowe czy wiatraki. Obecnie buduje się potężne turbiny wiatrowe o mocy kilku megawatów. W Europie szczególnie dużo instaluje się ich w Danii i północnych Niemczech. Wynika to z korzystnych warunków pogodowych. Podobnie jak w przypadku elektrowni wodnych pozyskiwanie energii jest tu niezwykle tanie, bo wiatr nic nie kosztuje. Wiatraki nie wytwarzają też żadnych szkodliwych substancji. Wydawałoby się, że są niemal idealnym sposobem uzyskiwania energii elektrycznej. Ale gdybyśmy zechcieli zastąpić nimi np. elektrownię Pątnów o mocy 1600 MW, to musielibyśmy zainstalować 800 do 1600 wiatraków¹². A są to konstrukcje o wysokości 160 m i długości łopat do 50 m. Zatem nie wszędzie można je instalować. Nie wiem też, czy chcielibyśmy, aby w pobliżu naszych domów czy w rejonach turystycznie atrakcyjnych je instalowano. W dodatku nie zawsze wieje wiatr i konieczne są tzw. moce dyżurne, które mogą zapewnić jedynie elektrownie ciepłe. Wbrew pozorom wiatraki nie są obojętne ekologicznie, bo zabrania się ich montażu na trasach przelotu ptaków. Tworzą też swoisty pulsujący hałas oraz drgania gruntu, które sprawiają, że z ich pobliża migrują ptaki, drobne ssaki, gady, a nawet bezkręgowce. Zapomina się też o tym,

że owe wiatraki należy budować, więc zużywać energię i surowce. Łopaty zaś są wykonane z kompozytów wymagających fabryk chemicznych.

Przejdźmy do **energetyki słonecznej**. Energia ta też jest za darmo. I mimo że Słońce może dostarczać 1368 W/m²¹³, to jednak nie całą tę energię możemy wykorzystać. I tak na przykład, chcąc przy pomocy baterii słonecznych uzyskać 1 MW, należy nimi pokryć 40 tys. m² powierzchni. Do ich produkcji używa się drogich i bardzo szkodliwych dla środowiska pierwiastków, takich jak arsen, gal czy kadm¹⁴. Słuszne jest korzystanie z tej energii wszędzie tam, gdzie jest jej dostatek. Coraz szerzej korzysta się z niej do zasilania różnych urządzeń o niewielkim poborze prądu, jak oświetlenie ogrodowe, urządzenia satelitarne, sygnalizacyjne, kalkulatory, a nawet laptopy. W Polsce energetyka słoneczna, przy naszym nasłonecznieniu, ma znikome szanse zastąpienia tradycyjnych źródeł prądu elektrycznego¹⁵. Częściej korzysta się z niej poprzez kolektory ciepłe służące do ogrzewania wody i pomieszczeń. Dodam tylko, że koszt takich instalacji grzewczych zwraca się średnio po 15 latach, kiedy to instalacja ta jest praktycznie do wymiany.

Ciekawym, acz jednostkowym przykładem wykorzystania energii słonecznej, jest zbudowana we francuskich Pirenejach elektrownia, w której światło słoneczne odbite od luster podgrzewa zbiornik z wodą. Jest to też jedna z metod uzyskiwania wysokiej temperatury (do 3000°C) w ściśle izolowanych warunkach.

Energetyka geotermalna jest droga i dostarcza niewielkich mocy. Koszty zwracają się na ogół po czasie, gdy urządzenia są już wyeksploatowane. W związku z tym geotermia (stosowana głównie do ogrzewania mieszkań i wody w basenach) jest opłacalna tylko tam, gdzie są wydajne i płytko położone źródła wody o dostatecznie wysokiej temperaturze. W Stanach Zjednoczonych przestano się nią interesować.

A teraz słów parę o tzw. **energii odnawialnej**. W dużej części jest ona energią ciepłą, z tym że do jej uzyskiwania wykorzystuje się biogaz i inne biopaliwa, jak biodiesel, odpady drzewne i roślinne – np. słomę. O ile przetwarzanie energii wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalnej, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek jest racjonalne i nienaruszające w większym stopniu ekosystemów, to spalanie biomasy jest równie szkodliwe, jak spalanie kopalin, bo dostarcza do ekosystemów dużo CO₂ oraz sadzy. Natomiast słusznym jest uzyskiwanie biogazu ze ściętek i nienadających się do recyklingu śmieci. Warto zauważyć, że spalanie niezanieczyszczonej biomasy nie jest ekologicznie słuszne, gdyż powinna ona wrócić do ekosystemu i użyźnić jałowięjące gleby. Dodam, że produkcja nawozów mineralnych nie jest obojętna ekologicznie.

Warto tu jeszcze wspomnieć o biopaliwach. O ile uzyskiwanie ich z odpadów roślinnych¹⁶ jest racjonalne, to zakładanie specjalnych plantacji roślin, z których się je produkuje okazało się szkodliwe. Biodiesel miał zmniejszyć import i zużycie ropy, przynosić korzyści dla środowiska, a na produkcji roślin energetycznych zyskać mieli rolnicy. Lecz ujawnione szczególnie w raporcie Unii Europejskiej o wartościach emisji z niektórych biopaliw¹⁷ oraz dewastacji środowiska wskutek uprawy roślin energetycznych, wywołały niepokój. Następuje bowiem wylesianie terenów i przeznaczanie ich pod uprawę, co łącznie z niszczeniem bagienno-torfowych lasów równinowych w celu produkcji oleju palmowego i innych roślin dostarczających biopaliwa, może mieć niekorzystne konsekwencje dla klimatu na naszej planecie¹⁸. Należy dodać, że ostatnio UE wycofała się z promocji biopaliw.

Spśród **elektrowni ciepłych** najtańsze w budowie i najmniej obciążające ekosystem są elektrownie na gaz ziemny¹⁹. W dodatku można je szybko uruchomić lub wyłączyć. Trzeba jednak mieć tanie źródła tego surowca. Pewną nadzieję w tej mierze łączymy

¹² Obecnie w Polsce czynnych jest 2300 turbin o łącznej mocy 3700 MW. Źródło: art. A. Grzeszczaka, *Zielone na złote i z powrotem*, „Polityka” nr 48/2014.

¹³ Jest to tzw. *stała słoneczna*, czyli ilość energii jak pada na 1 m² powierzchni zwróconej prostopadle do padających promieni słonecznych poza atmosferą. Jej wartość zmienia się wraz ze zmianą odległości Ziemi od Słońca w jej ruchu orbitalnym. Dodam, że atmosfera, hydrosfera oraz litosfera Ziemi absorbuje ok. 40% tej energii (por. albedo Ziemi), co w przybliżeniu odpowiada mocy 44 000 000 elektrowni Pątnów! Energia ta jest w ogromnej większości wypromieniowywana w przestrzeń, a tylko niewielka jej część zamienia się w energię wiatrów i prądów morskich, a jeszcze mniejsza jest kumulowana w biomasie.

¹⁴ Niestety, szybko może zabraknąć wielu rzadkich pierwiastków takich jak neodym, lantan, gal, tellur czy dysproz, by zaspokoić potrzeby zielonej energetyki.

¹⁵ W Czechach zaprzestano budowy farm na ognia fotowoltaiczne, ze względu na ich niską opłacalność.

¹⁶ Są to odpady drzewne, słoma, łuski słonecznikowe czy – płynące do nas z Afryki – łupiny kokosa. Odpady te najczęściej spalane są w naszych elektrowniach i elektrociepłowniach.

¹⁷ Badania wykazały, że paliwa te dostarczają do atmosfery więcej szkodliwych substancji niż paliwa kopalne.

¹⁸ Ochrona tych obszarów jest konieczna również ze względu na fakt, że jedynie roślinność skutecznie pochłania CO₂.

¹⁹ W przypadku wolnego od zanieczyszczeń gazu, wytwarzają połowę tej ilości CO₂, co elektrownie węglowe, a przy tym nie wytwarzają popiołu i sadzy.

z gazem łupkowym²⁰. Problem w tym, że skały, w których się znajduje, zalegają w Polsce na dużych głębokościach (2 do 3 km) i są to skały zwarte, które trudniej niż w USA poddać procesowi szczelinowania.

W Polsce dominują opalane węglem kamiennym i brunatnym elektrownie oraz ciepłownie²¹. Zaczę od tych ostatnich. Najkorzystniejsze są tu duże zakłady, gdyż opłaca się instalowanie w nich urządzeń odpylających i odsiarczających spaliny. Dla polepszenia ekonomiczności tego typu zakładów nierzadko łączy się ciepłownię z elektrownią, tworząc elektrociepłownię.

Najbardziej krytykowanymi elektrowniami są elektrownie opalane węglem kamiennym i brunatnym ze względu na to, iż produkują duże ilości CO₂, tlenków siarki i azotu, które w połączeniu z wodą deszczową tworzą kwaśne deszcze zakwaszające gleby oraz niszczące roślinność²². Produkują też ogromne ilości popiołów, w skład których wchodzi również pierwiastki radioaktywne. W dodatku kopalnie odkrywkowe dewastują środowisko, a tworząc ogromne wyrobiska, obniżają poziom wód gruntowych.

Trzeba jednak odnotować fakt, że Polska posiada znaczące złoża zarówno węgla kamiennego jak i brunatnego, co sprawia, że chętnie budujemy tego typu elektrownie. W dodatku ich budowa jest stosunkowo tania²³. Pewną ich wadą jest to, że muszą pracować nieustannie – nawet wówczas, gdy brak jest zapotrzebowania na energię elektryczną. Wówczas ratunkiem są elektrownie szczytowo-pompowe, które zbyteczną (np. nocną) energię wykorzystują do pompowania wody do wyższego zbiornika, a włączane są wówczas, gdy w sieci wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Pewnym usprawiedliwieniem dla budowy elektrowni węglowych jest to,

że obecnie istnieje możliwość znacznego oczyszczania spalin zarówno z popiołów jak i szkodliwych gazów. Przestają więc szkodzić środowisku w takim stopniu, jak to było dawniej²⁴. Niestety, oczyszczanie to podnosi koszt budowy oraz eksploatacji tychże elektrowni, co odbija się na cenie dostarczanej nam energii.

Był okres, że **energetyka jądrowa** rozwijała się w szybkim tempie. Jednakże po katastrofie w Czarnobylu entuzjazm osłabł. O elektrowniach atomowych napisano wiele złego. Było w tym dużo prawdy, ale nie brakowało też mitów. To prawda, że koszt ich budowy jest ogromny, że potrzebują drogiego paliwa, którego nie posiadamy oraz że produkują radioaktywne odpady, z przechowywaniem których są poważne problemy²⁵. Najpoważniejszym jednak zarzutem jest to, że ulegają groźnym w skutkach awariom, jak na przykład ta w Czarnobylu (26.04.1986 r.), w wyniku której do atmosfery dostało się więcej radioaktywnych pierwiastków niż w czasie wybuchu bomby atomowej nad Hiroshimą. Trzeba jednak dodać, że czarnobylskie reaktory posiadały grafitowy spowalnicznik neutronów, który w wyniku przegrzania uległ samozapłonowi. Dziś już takich reaktorów się nie buduje i nie istnieje obawa ich wybuchu²⁶.

O wykorzystaniu **reakcji syntezy wodoru** na razie nie ma co marzyć, a ukazujące się co pewien czas doniesienia o bliskim jej wykorzystaniu, mają na celu uzyskanie dotacji na prowadzenie badań. A koszt ich budowy jest ogromny! I tak na przykład w kalifornijskim mieście Livermore na powierzchni kilku boisk piłkarskich powstaje laboratorium (NIF, czyli reaktor National Ignition Facility), w którym planuje się uzyskanie syntezy próbki deuteru litu o objętości 1/2 cm³ przy pomocy zogniskowania na niej 192 wiązek laserowych o łącznej mocy 100 bilionów

watów²⁷. Oczekuje się uzyskania temperatury ok. 100 mln stopni Celsjusza oraz ciśnienia rzędu 100 mld atmosfer. Pierwotny koszt to 3 do 4 mld dolarów, a ostateczny to ok. 200 mld dolarów (kosztowna zabawa!). Równoległe do tego eksperymentu buduje się tak zwane tokamaki i stellaratory. Jeden z nich budowany jest w Instytucie Fizyki Plazmy Maxa Plancka w Greifswaldzie w Niemczech. Kosztował on już 400 mln euro²⁸.

Przykłady te świadczą o tym, że elektrownie termojądrowe (jeżeli kiedykolwiek powstaną), nie będą wcale tanie. Nie będzie też tania ich energia, jak sądzą niektórzy. Wprawdzie deuteru jest stosunkowo dużo w wodzie morskiej²⁹, ale tryt otrzymuje się w wysokociśnieniowych reaktorach atomowych³⁰ i wcale tani nie jest. Można wprawdzie jako paliwa użyć deuteru litu (DLi)³¹, ale lit jest dość rzadkim pierwiastkiem³². Eksploatacja tego typu elektrowni prawdopodobnie też będzie droga i nieprędko się one pojawią. Trzeba bowiem rozwiązać niezwykle trudny problem podtrzymywania reakcji oraz odzyskiwania powstałej energii, bo temperatura powstałej plazmy sięga 100 mln stopni Celsjusza!

Warto na koniec wspomnieć, że reaktor atomowy w Świerku pod Warszawą dostarcza wiele preparatów promieniotwórczych używanych w lecznictwie jak choćby jod-131. Obecnie jesteśmy jednym z liczących się eksporterów tego typu substancji.

Ekolodzy protestują przeciwko budowie elektrowni atomowych i proponują w zamian budowę elektrowni wiatrowych, wodnych lub z wykorzystaniem fotoogniwi, ale wszystkie te sposoby pozyskiwania energii nie są obojętne dla środowiska. Poza tym owe ekologiczne źródła energii są drogie i mało wydajne³³. Nie należy więc oczekiwać, aby w przyszłości mogły zastąpić tradycyjne elektrownie ciepłe

²⁰ Kraje europejskie powinny jak najszybciej uniezależnić się od dostaw ropy i gazu. I nie jest to jedynie wymóg ekonomiczno-ekologiczny.

²¹ Obecnie 88% energii uzyskujemy w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego.

²² Pamiętamy katastrofę ekologiczną lasów w Karkonoszach.

²³ Ograniczeniem stosowania węgla kamiennego będą rosnące koszty jego wydobywania z kopalni głębinowych.

²⁴ Mimo to będziemy zmuszeni do ograniczenia rozwoju tego rodzaju energetyki ze względu na konieczność zmniejszania ilości emitowanego CO₂.

²⁵ Zamyka się je w szczelnych „sarkofagach”, które przez jakiś czas wymagają intensywnego chłodzenia, a które potem pozostają na krajobrazie na wiele setek lat!

²⁶ Awaria w Fukushima spowodowana była zalaniem instalacji elektrycznej odpowiedzialnej za chłodzenie reaktorów, a wywołanym katastrofalnym tsunami. Sam reaktor wytrzymał wówczas trzęsienie ziemi o niespotykanej sile 9,4 stopni w skali Richtera.

²⁷ Moc (chwilowa) użytych tu laserów jest porównywalna z mocą wszystkich europejskich elektrowni łącznie!

²⁸ W tym przedsięwzięciu biorą udział także polscy uczeni. Por. Przemysław Berg, *Słońce na Ziemi*, „Polityka” 2014, nr 27.

²⁹ Jest go ok. 20 mg w 1 litrze wody (dokładniej w tzw. ciężkiej wodzie – D₂O). Otrzymuje się go poprzez elektrolizę wody.

³⁰ W reakcji: ${}^6\text{Li} + {}^1_0\text{n} = {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$. Zatem do reakcji termojądrowych nadal będą potrzebne reaktory atomowe! Tryt jest promieniotwórczy i emituje pozytony (β^+). Jego czas połowicznego zaniku to 12,3 lat.

³¹ W reakcji: ${}^7\text{Li} + {}^2\text{H} = {}^4\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Jak widać, w tego typu reakcjach powstają wolne neutrony! Nie jest to więc całkowicie bezpieczna reakcja!

³² Jest on mocno rozproszony. Otrzymuje się go poprzez elektrolizę stopionej mieszaniny chlorku litu i potasu. Chlorki te (obok NaCl) występują w solniskach – pozostałościach po wyschniętych jeziorach – głównie w Boliwii, Chile i Australii.

i jądrowe. Ekolodzy domagają się likwidacji elektrowni ciepłych ze względu na to, że emitują do atmosfery CO₂ oraz wytwarzają duże ilości pyłów, które – oprócz wielu szkodliwych substancji chemicznych – zawierają pierwiastki promieniotwórcze. Na przykład elektrownia węglowa o mocy 2000 MW, spalająca w ciągu roku ok. 6 mln ton węgla, czyli 2,5 tys. pociągów rocznie, wytwarza ponad milion ton popiołu, w którym może być nawet kilka ton uranu! Popiół ten trafia częściowo na hałdy, a częściowo wraz dymem opada na pola i lasy w promieniu setek kilometrów. Zatem elektrownie węglowe dostarczyły do środowiska znacznie więcej substancji radioaktywnych niż awarie elektrowni atomowych.

Co zatem nam pozostaje? **Jeżeli chcemy ograniczyć spalanie węgla, ropy i gazu, to – póki co – jedynie elektrownie atomowe są w stanie zapewnić dostateczne ilości – stosunkowo taniej i ekologicznie bezpiecznej energii.** Nie oznacza to zaprzestania wysiłków w poszukiwaniu innych nieszkodzących przyrodzie źródeł energii. Mówiąc jednak o działaniach proekologicznych należy brać pod uwagę także aspekty ekonomiczne. Działania te wymagają bowiem znacznych nakładów inwestycyjnych. Nic więc dziwnego, że energia elektryczna w Niemczech jest blisko dwukrotnie droższa niż we Francji, w której ¾ energii dostarczają elektrownie atomowe.

Ekologia a klimat

Jednym z podstawowych zadań ekologicznych jest niedopuszczenie do ocieplenia atmosfery, co wywołałoby wzmożone topnienie lodów i podniesienie poziomu wód oceanów i mórz³³. Za jedną z przyczyn tego ocieplenia uważa się wzrost zawartości CO₂ w atmosferze. Niektórzy naukowcy twierdzą, że niewielkie zmiany zawartości tego gazu mogą radykalnie zmniejszyć absorpcję i emisję promieniowania ciepłego przez powierzchnię Ziemi³⁷, a przez to mieć znaczący wpływ na jej klimat.

Zagadnienia do dyskusji

- I Co rozumiemy pod pojęciem „rozwój zrównoważony”?
- I Co składa się na środowisko naturalne człowieka?
- I Jakie są główne zagrożenia dla jego stanu i dlaczego należy je chronić?
- I Jakie działania podejmują poszczególne państwa dla jego ochrony?
- I Co my możemy zrobić dla ochrony otaczającego nas środowiska przyrodniczego?
- I Omów zalety i wady najczęściej stosowanych źródeł energii.
- I Czy istnieją nieszkodzące przyrodzie źródła energii i dlaczego?
- I Na czym polega rachunek ciągłony kosztów wytwarzania energii?
- I Omów przyczyny zachodzących zmian klimatycznych; które z tych zmian są wynikiem działalności człowieka, a które są od niego niezależne?
- I Jak zapobiegać skutkom takich katastrof, jak powodzie czy huragany?

Sceptycznie o przyczynach zmian klimatu

Dziś ekologia jest w modzie. Zajmują się nią naukowcy, politycy, działacze społeczni oraz środki masowego przekazu. Przyjrzyjmy się jednak uważnie zgłaszanym propozycjom. Zaczę od żądania³⁴, by obniżyć temperaturę atmosfery o 2°C. Tak znaczne obniżenie temperatury może się okazać niebezpieczne, bo jeżeli pyły wyrzucone w czasie potężnej erupcji wulkanu na wyspie Sumbawa w Indonezji w roku 1815 spowodowały obniżenie temperatury atmosfery w tamtym rejonie o ok. 1°C i ogromne straty w rolnictwie, to globalne obniżenie temperatury o 2 stopnie mogłoby być katastrofalne dla całego ekosystemu Ziemi.

Warto zauważyć, że taką samą zmianę temperatury może wywołać zmniejszenie aktywności Słońca. Jedną z teorii

dotyczącą przyczyn ostatniego zlodowacenia (10 tysięcy lat temu) głosi, że wiązało się ono z faktem, iż wówczas Ziemia była nachylona do Słońca swą południową półkulą, co sprawiło, że do naszej półkuli docierało o 4% mniej energii słonecznej niż obecnie.

Panuje powszechna opinia, że ocieplenie się klimatu jest wywołane zwiększeniem ilości CO₂ w atmosferze. Jednak nie wszyscy uczeni podzielają ten pogląd. Wibjörn Karlen – profesor Uniwersytetu Sztokholmskiego, członek Królewskiej Akademii Nauk – twierdzi, że okres ocieplenia się kończy i że najwyższa temperatura na Ziemi osiągnęła szczyt w latach 1998-2005. Inni uczeni twierdzą, że obecne ocieplenie jest naturalne po tak zwanej małej epoce lodowcowej z XVII i XVIII w., kiedy to zamarzała Bałtyk.

Część uczonych uważa, że ilość CO₂ emitowanego przez przemysł i gospodarstwa domowe jest drobnym ułamkiem tego CO₂, który znajduje się w naturalnym obiegu biosfery (pochłaniają go oceany i roślinność, a wydobywa się w czasie erupcji wulkanów³⁵ oraz w procesach geologicznych) i nie ma on tak dużego wpływu na klimat, jak się powszechnie uważa. Twierdzą oni, że znacznie większy wpływ na ziemski klimat ma aktywność Słońca oraz zachmurzenie atmosfery ziemskiej³⁶. Twierdzą też, że okresowe zmiany klimatu są zjawiskiem naturalnym⁴¹. Na przykład w okolicy 1000 roku europejski klimat był o wiele cieplejszy niż teraz. Między innymi na południu Anglii były winnice, a na Grenlandii uprawiano ziemię.

Obawiamy się podniesienia poziomu oceanów spowodowanego topnieniem lodowców, ale przecież poziom mórz ulegał zmianom. Świadczą o tym choćby ślady po skałotoczach na kolumnach starożytnych budowli.

To fakt, że człowiek zmienił i zmienia oblicze Ziemi; zamienił piękne lasy wokół Jeziora Śródziemnego w pastwiska, a potem w skaliste ugory; spowodował pustoszczenie wielu obszarów

³³ Wydajność baterii słonecznych nie przekracza kilku procent.

³⁴ Poziom ten rośnie o ok. 1,5 mm/rok. Łącznie w XX w. średni poziom wód oceanów podniósł się o ok. 14 cm, źródło: Nowa Encyklopedia Powszechna PWN, t. 7, s. 806.

³⁵ CO₂ jest jednym z tak zwanych gazów cieplarnianych. Są to gazy, które przepuszczają promieniowanie widzialne Słońca, a ograniczają emisję promieniowania ciepłego Ziemi. Do nich zalicza się też freony, wszelkie węglowodory, a także parę wodną.

³⁶ Por.: Dokumenty końcowe Konferencji ONZ „Środowisko i rozwój”. Szczyt Ziemi. Rio de Janeiro, 3-14 czerwca 1992 r., Warszawa 1993.

³⁷ Ostatnia (kwiecień 2010 r.) erupcja wulkanu na Islandii dostarczyła do atmosfery więcej CO₂ niż wszystkie przemysłowe źródła tego gazu razem wzięte w ciągu wielu lat. Aktualnie na Ziemi czynnych jest ok. 600 wulkanów.

³⁸ Nie omówiłem tu wpływu prądów morskich na lokalny klimat.

³⁹ Klimatolodzy mówią o okresach trzydziesto- i trzystuletnich zmian klimatu.

Ziemi; tamy na Amu-darii i Syr-darii wywołały zanik Morza Aralskiego, a tamy na Wołdze – obniżenie poziomu Morza Kaspijskiego, ale wątpię, by jego działalność mogła **radzykalnie** zmienić ziemski klimat.

Mówiąc o działaniach proekologicznych należy brać pod uwagę wszystkie aspekty problemu i dokonywać tzw. **rachunku ciążonego**, uwzględniającego koszty wstępne, podstawowe, końcowe oraz poboczne danego procesu. Oto następujący przykład: zarządzono zamianę żarówek na tak zwane żarówki energooszczędne (odmiana jarzeniówek). To fakt, że z jednego wata pobieranej mocy dają kilkakrotnie więcej światła niż zwykłe żarówki, ale ich użycie jest wskazane tylko w tych pomieszczeniach, w których okres nieustannego świecenia jest długi. Natomiast nie są użyteczne tam, gdzie często są włączane i wyłączane, bo nie od razu uzyskują pełną moc świetlną, a poza tym włączanie i wyłączanie powoduje szybsze ich zużycie. Należy dodać, że ze względu na budowę są znacznie droższe w produkcji, wymagają do tej produkcji więcej różnorodnych materiałów i więcej energii niż żarówki zwykłe. Poza tym ze względu na zawartość w nich rtęci utylizacja ich jest skomplikowana i droga⁴⁰.

Ekologia a śmieci

Bezpieczeństwo ekologiczne środowiska wiąże się między innymi z problemem odpadów. Niestety, nasza cywilizacja jest cywilizacją śmieci – zarówno tych kosmicznych jak i ziemskich. W otaczającej nas najbliższej przestrzeni kosmicznej znajdują się już setki ton różnorodnych śmieci. Ich liczba stale rośnie i z czasem zacznie stanowić poważny problem dla lotów kosmicznych. Ten problem też trzeba będzie rozwiązać. Proszę zauważyć, że do niedawna wieś nie produkowała śmieci. Wszystko, co stało się niepotrzebne było wykorzystywane; papier i drewno szły na opał, odpady biologiczne trafiały do obornika, a przetwory domowe zamykano w słoikach. Śmieci pojawiły się wraz z pojawieniem się plastiku. Dziś śmieci są wszechobecne! A to, jak wyglądają nasze obrzeża miast i lasów czy miejsca kempingowe, świadczy o braku kultury części naszego społeczeństwa.

A teraz kamyczek do ogródka ekologów: namawiali nas dawniej, by kupować choinki plastikowe zamiast naturalnych, bo w ten sposób chronimy lasy. To prawda, że nie wolno krać choinek z lasu, ale teraz choinki uprawia się w specjalnych szkółkach, np. pod liniami wysokiego napięcia lub na specjalnych plantacjach usytuowanych nierzadko na nieużytkach rolniczych. Produkcja takich choinek nie tylko nie jest szkodliwa, ale wiąże CO₂ i dostarcza do atmosfery tlen. Podobnie jest z ich utylizacją; plastikowa choinka rozkłada się po 500 latach, natomiast choinka naturalna wraca do środowiska w niczym go nie uszkadzając, a nawet poprawiając biologiczną strukturę gleby. Nie martwmy się, że potrzeba w Polsce co roku kilku milionów choinek. Wszak podaż zależy od popytu, a nieużytków zdalnych pod produkcję choinek jest wystarczająco dużo. Pomiędzy tu względy kulturowe i estetyczne, a i te są za choinką naturalną, bo sztuczna to jedynie atrapa!

Ekolodzy słusznie uratowali przyrodę doliny Rospudy przed ingerencją budowniczych szosy, ale nie dostrzegają się faktu, że owe szosy prowadzą na ogół przez tereny rolnicze, co powoduje zanieczyszczenie gleby produktami spalania ropy. A przecież rosnące na tych polach warzywa trafiają na nasze stoły! O tym ekolodzy jednak milczą. Dodam, że pas zwartej zieleni szerokości 20 m zatrzymuje niemal w całości zanieczyszczenia wytworzone przez środki transportu. Natomiast na otwartym terenie zanieczyszczenia te

docierają nawet na odległość 200 m! Należy zatem zastanowić się, jak chronić pola przylegające do ruchliwych tras przed skażeniem. Nie wystarczy bowiem jedynie zalecenie, by rolnicy nie wypasali bydła przy przydrożnych rowach.

Omawiając problem utylizacji śmieci, wspomnę jeszcze o paleniu opon oraz wyrobów z plastiku w ogniskach lub domowych piecach. Należy z całym naciskiem podkreślić szkodliwość tego procederu, gdyż powstaje wówczas kilkanaście niezwykle szkodliwych substancji (np. rakotwórczy benzopiren) zarówno dla środowiska przyrodniczego, jak i ludzi⁴³.

Jest np. zgoda co do tego, by ograniczyć eksploatację zasobów naturalnych i chronić przyrodę, ale są opory, by ograniczyć konsumpcję oraz wzrost PKB, którym próbuje się mierzyć szczęście społeczeństw. Niestety, 15 mld Ziemiaków nie może żyć tak, jak żyją najbogatsi obywatele najbogatszych krajów. Skąd bowiem wziąć na to energię, wodę oraz surowce naturalne?

Zauważmy, że psychiczny dyskomfort nie powstaje z braku dóbr (nasi dziadkowie byli równie szczęśliwi jak my, choć nie używali komputerów, komórek czy odtwarzaczy MP3), ale z faktu, że nie mamy tych dóbr, które są oferowane lub tych, których posiadanie wymusza rozwój cywilizacyjny. Jeżeli więc szczęście nie zależy od posiadanych dóbr, to można bez szkody dla społeczeństw spowolnić tempo rozwoju i konsumpcji większości dóbr lub też skoncentrować się na ich jakościowym rozwoju.



⁴⁰ Koszt ich zakupu do gospodarstw domowych zwraca się na ogół dopiero po ponad roku ich użytkowania.

⁴¹ Ich utylizacji należy dokonywać w wysokich temperaturach, które występują np. w paleniskach elektrowni ciepłych. Wówczas to następuje rozkład tych substancji na najprostsze związki chemiczne.

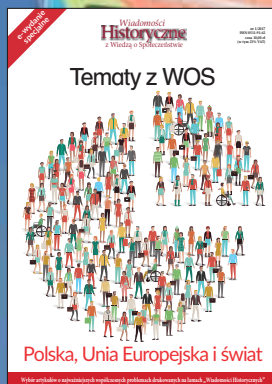
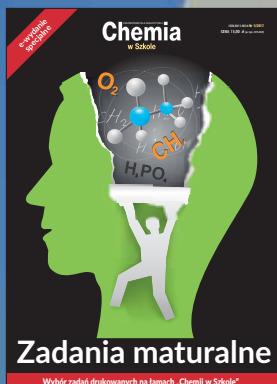
Wydania specjalne

(wersje elektroniczne – pliki PDF)

2018



2017



2016

