# Naukowcy z całego świata ogłaszają klimatyczny stan wyjątkowy

WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, PHOEBE BARNARD, WILLIAM R. MOOMAW, WRAZ 11 258 SYGNATARIUSZAMI Z 153 KRAJÓW (LISTA W MATERIALE DODATKOWYM S1)

**Moralnym obowiązkiem świata nauki** jest ostrzeganie ludzkości przed zbliżającymi się zagrożeniami, a także przedstawienie faktycznego stanu rzeczy. Dlatego wraz z grupą ponad 11 000 naukowców z całego świata, sygnatariuszy niniejszego dokumentu, chcielibyśmy jasno i wyraźnie oświadczyć, że planeta Ziemia stoi w obliczu katastrofy klimatycznej. Jednoznacznie wskazują na to opublikowane poniżej dane i wskaźniki.

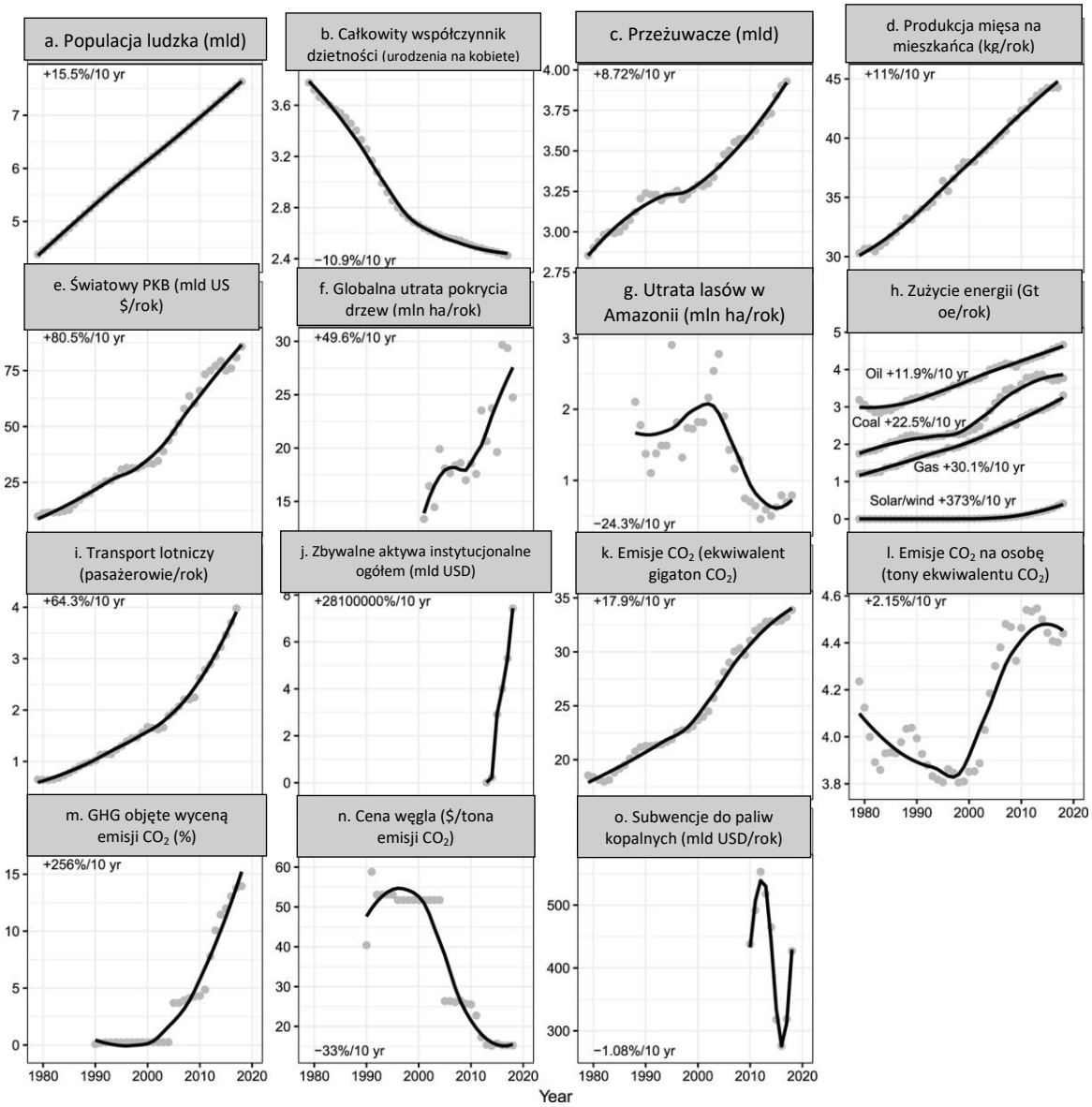
Dokładnie 40 lat temu, podczas pierwszej Światowej Konferencji Klimatycznej w Genewie w 1979 r., badacze z 50 krajów wspólnie uznali, że alarmujące zjawiska klimatyczne wymagają podjęcia pilnych działań. Od tego czasu podobne ostrzeżenia zostały ogłoszone na szczycie w Rio w 1992 r., w protokole z Kioto z 1997 r. i w Porozumieniu Paryskim z 2015 r., a także na wielu innych międzynarodowych konferencjach i w otwartych apelach badaczy, podkreślających niedostateczny postęp w tej kwestii (Ripple et al. 2017). Pomimo to, wciąż obserwujemy wzrost emisji gazów cieplarnianych, wywierający coraz bardziej szkodliwy wpływ na klimat naszej planety. Ludzkość musi podjąć zdecydowane działania, i to na nieporównywalnie większą skalę niż dotychczas, jeśli chcemy ocalić naszą biosferę i uniknąć nieopisanych cierpień z powodu kryzysu klimatycznego (IPCC 2018).

Publiczną debatę na temat zmian klimatu zdominowały dane dotyczące globalnej temperatury powierzchni Ziemi, które jednak nie są adekwatnym miernikiem działalności człowieka i nie odzwierciedlają w pełni realnych zagrożeń związanych z globalnym ociepleniem (Briggs et al. 2015). Decydenci polityczni i szeroka opinia publiczna musi również poznać inne dane, dające lepsze wyobrażenie o wpływie działalności człowieka na poziom gazów cieplarnianych w atmosferze i jak zmieniają one nasz klimat, środowisko naturalne i społeczeństwo. Opierając się na wcześniejszych badaniach (zob. aneks S2), chcielibyśmy przedstawić wskaźniki obrazujące istotne zmiany klimatyczne jakie dokonały się w ciągu ostatnich 40 lat w wyniku ludzkiej działalności (Wykres 1), a także skutki owych zmian (Wykres 2). Przytaczamy jedynie te dane, które są jasne i zrozumiałe, i które były systematycznie gromadzone przez co najmniej 5 ostatnich lat i aktualizowane przynajmniej raz w roku.

Kryzys klimatyczny jest ściśle związany z nadmierną konsumpcją towarzyszącą kosztownemu stylowi życia. To właśnie najzamożniejsze kraje są głównie odpowiedzialne za rekordowe emisje gazów cieplarnianych (GHG) i na ogół odnotowują również największą emisję na osobę (tabela S1). W niniejszym artykule przedstawiamy ogólne prawidłowości, głównie na skalę światową, zdając sobie sprawę, że w sprawę ratowania klimatu angażują się również poszczególne regiony i kraje. Wskaźniki zostały opracowane w taki sposób, aby mogły z nich korzystać różne grupy społeczne, decydenci, świat biznesu, i wszyscy, którzy pracują nad wdrożeniem postanowień Porozumienia Paryskiego, Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ i Celów Aichi.

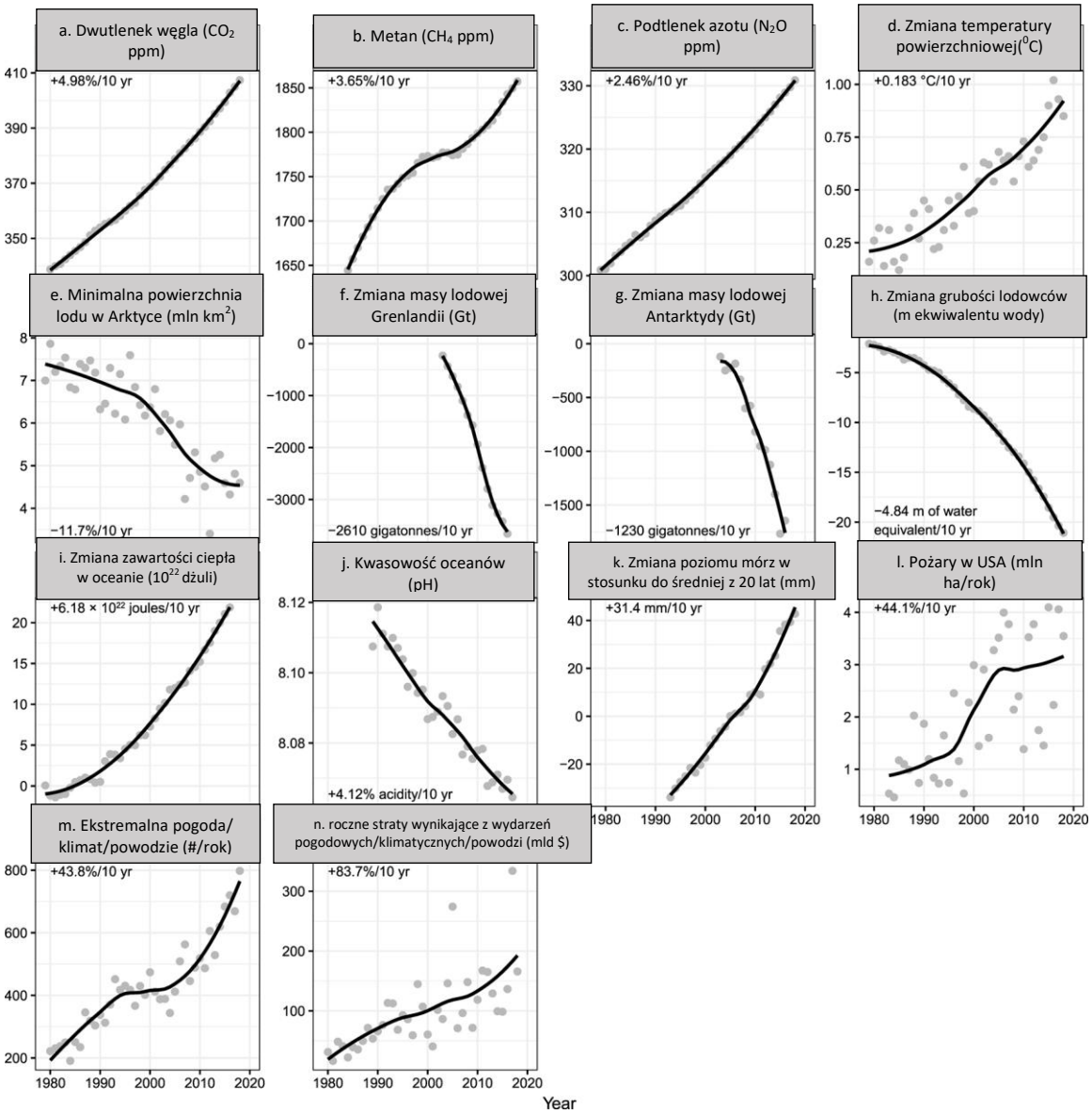
Do najbardziej niepokojących przejawów działań człowieka można zaliczyć stały wzrost liczby ludzi i pogłowia hodowanych przez ludzi przeżuwaczy, wzrost produkcji mięsa na osobę, wzrost światowego produktu krajowego brutto, rosnącą utratę pokrywy leśnej na świecie, a także wzrost zużycia paliw kopalnych, liczby pasażerów linii lotniczych, ogólnej emisji dwutlenku węgla ($CO_2$) oraz emisji $CO_2$ na osobę od 2000 r. (Wykres 1, część S2). Do pozytywnych sygnałów można zaliczyć spadek dzietności na świecie (Wykres 1b), spowolnienie utraty lasów w brazylijskiej Amazonii (Wykres 1g), wzrost wykorzystania energii słonecznej i wiatrowej (Wykres 1h), instytucjonalna

dezinwestycja w sektorze paliw kopalnych o wartości ponad 7 bilionów USD (Wykres 1j) oraz rosnący udział emisji gazów cieplarnianych objętej opłatami węglowymi (Wykres 1m). Jednakże w ciągu ostatnich 20 lat można zaobserwować znaczne spowolnienie spadku dzietności na świecie (Wykres 1b), a tempo spadku powierzchni lasów w brazylijskiej Amazonii zaczęło ponownie rosnąć (Wykres 1g). Zużycie energii słonecznej i wiatrowej wzrastało o 373% na dekadę, ale w 2018 r. nadal było 28 razy mniejsze niż zużycie paliw kopalnych (łączne zużycie gazu, węgla, i ropy naftowej; Wykres 1h). W 2018 r. około 14% światowej emisji gazów cieplarnianych objęte było opłatami (Wykres 1m), ale średnia cena za tonę dwutlenku węgla (ważona globalną emisją) wynosiła tylko około 15,25 USD (Wykres 1n). Uważamy zatem, że opłata za emisję dwutlenku węgla powinna znacznie wzrosnąć (IPCC 2018, sekcja 2.5.2.1). Oprócz tego roczne dopłaty do paliw kopalnych udzielane przedsiębiorstwom energetycznym ulegały wahaniom, ale w 2018 r. gwałtownie wzrosły i przekroczyły 400 mld USD (Wykres 1o).




**Wykres 1. Globalna działalność człowieka od 1979 r. Przedstawione wskaźniki są przynajmniej częściowo związane ze zmianami klimatycznymi. Wykres f) pokazuje roczną utratę pokrywy leśnej bez względu na przyczynę (np. pożary, wycinki lub przekształcenia lasów w grunty rolne). Przy obliczaniu utraty pokrywy leśnej nie uwzględniono przyrostu lasu. Na wykresie h), zużycie energii wodnej i jądrowej ukazuje Wykres S2. Wskaźniki przedstawione na wykresach są procentowymi zmianami występującymi w ciągu dekady w całym szeregu czasowym. Dane roczne przedstawione są za pomocą szarych punktów. Czarne linie są lokalnymi, wygładzonymi liniami trendu regresji. Skrót: Gt oe na rok, gigatony ekwiwalentu ropy naftowej na rok. Źródła danych i dodatkowe informacje o każdej zmiennej znajdują się w pliku uzupełniającym S2, w tym w tabeli S2.**

Szczególnie niepokojące są pojawiające się równolegle trendy w kluczowych przejawach ludzkiego wpływu na klimat (Wykres 2, plik uzupełniający S2). Wciąż rosną poziomy trzech najistotniejszych gazów cieplarnianych atmosferze ($CO_2$, metan i podtlenek azotu) (patrz Wykres S1, ze szczególnym uwzględnieniem bardzo niepokojącego skoku poziomu $CO_2$ w 2019 r.), podobnie jak temperatura powierzchni Ziemi (Wykres 2a-2d). W skali globalnej obserwujemy gwałtowne zanikanie pokrywy lodowej, o czym świadczy malejąca powierzchnia arktycznego lodu morskiego w czasie wrześniowego minimum, zmniejszająca się masy pokrywy lodowej Grenlandii i Antarktydy, oraz grubość lodowców na całym świecie (Wykres 2e-2h). Temperatura oceanów, odczyn oceanów, poziom morza, obszar objęty pożarami w Stanach Zjednoczonych oraz ekstremalne warunki pogodowe i wartość związanych z nimi szkód wykazują tendencję wzrostową (Wykres 2i-2n). Przewiduje się, że zmiany klimatu będą miały ogromny wpływ na życie morskie, słodkowodne i lądowe, począwszy od planktonu i koralowców, na rybach i lasach kończąc (IPCC 2018, 2019). Zjawiska te jasno wskazują na potrzebę podjęcia niezwłocznych działań.




**Wykres 2. Zmiany czynników związanych z klimatem od 1979 r. Wskaźniki przedstawione na wykresach przedstawiają zmiany dekadalne dla całych zakresów czasowych. Wskaźniki te są wyrażone w procentach, z wyjątkiem zmiennych na skalach przedziałowych (d, f, g, h, i, k), gdzie zamiast tego przedstawione są zmiany w wartościach absolutnych. W przypadku odczynu wód oceanicznych (pH) wskaźnik procentowy opiera się na zmianie aktywności jonów wodorowych, aH+ (gdzie spadek wartości pH oznacza wyższą kwasowość). Dane roczne są przedstawione za pomocą szarych punktów. Czarne linie są lokalnymi wygładzonymi liniami trendu regresji. Źródła i dodatkowe informacje o każdej zmiennej znajdują się w pliku uzupełniającym S2, w tym w tabeli S3.**

Pomimo trwających 40 lat międzynarodowych rozmów w sprawie klimatu, z nielicznymi wyjątkami działaliśmy dotąd na dotychczasowych zasadach (*business-as-usual*) i w dużej mierze nie udało nam się rozwiązać problemu (Wykres 1). Kryzys klimatyczny już nastąpił i postępuje szybciej niż spodziewała się tego większość naukowców (Wykres 2, IPCC 2018). Jest on poważniejszy niż przewidywano, i zagraża istnieniu całych ekosystemów i ludzkości (IPCC 2019). Szczególnie niepokojące są potencjalne nieodwracalne punkty krytyczne dla klimatu i sprzężenia zwrotne zachodzące w przyrodzie (atmosferyczne, morskie i lądowe), które mogą doprowadzić do katastroficznego stanu "Ziemi w fazie szklarni" już bez względu na podejmowane przez nas działania (Steffen et al. 2018). Owe klimatyczne reakcje łańcuchowe mogą doprowadzić do wielkich zniszczeń w ekosystemach, w ludzkim społeczeństwie i gospodarce, a także sprawić, że duże obszary Ziemią staną się niezdatne do zamieszkania.

Aby zapewnić ludzkości zrównoważoną przyszłość na Ziemi, musimy zmienić nasze życie w taki sposób, by poprawić kluczowe wskaźniki przedstawione na wykresach poniżej. Wzrost gospodarczy i wzrost liczby ludności są jednymi z najważniejszych czynników powodujących wzrost emisji $CO_2$ pochodzących ze spalania paliw kopalnych (Pachauri et al. 2014, Bongaarts i O'Neill 2018), dlatego też potrzebujemy odważnych i radykalnych zmian w polityce gospodarczej i ludnościowej. Proponujemy przeprowadzenie sześciu kluczowych i wzajemnie powiązanych zmian (w dowolnej kolejności), które rządy, przedsiębiorstwa i cała ludzkość mogłyby wprowadzić, aby złagodzić najgorsze skutki zmian klimatu. Co istotne, nie są to jedyne działania, które można lub należy podjąć (Pachauri et al. 2014, IPCC 2018, 2019).

**Energia**

Świat musi szybko wdrożyć zakrojone na szeroką skalę rozwiązania w zakresie efektywności energetycznej i ochrony środowiska oraz zastąpić paliwa kopalne niskoemisyjnymi źródłami odnawialnymi (Wykres 1h) i innymi czystszymi źródłami energii, jeśli są one bezpieczne dla ludzi i środowiska (Wykres S2). Powinniśmy pozostawić pozostałe zapasy paliw kopalnych w ziemi (zob. ramy czasowe w IPCC 2018) i ostrożnie dążyć do skutecznej negatywnej emisji przy użyciu technologii takich jak wychwytywanie węgla ze źródła emisji i z powietrza, a zwłaszcza poprzez wzmacnianie systemów naturalnych (zob. "Przyroda"). Bogatsze kraje muszą wspierać biedniejsze kraje w procesie odchodzenia od paliw kopalnych. Musimy szybko zrezygnować z dotacji do paliw kopalnych (Wykres 1o), a także zastosować skuteczną i sprawiedliwą politykę rosnących cen paliw opartych na węglu, aby ograniczyć ich wykorzystanie.

**Zanieczyszczenia krótkotrwałe**

Musimy niezwłocznie ograniczyć emisję krótkotrwałych zanieczyszczeń, które najbardziej wpływają na klimat, w tym metanu (Wykres 2b), czarnego węgla (sadzy) i fluorowęglowodorów (HFC). Może to spowolnić sprzężenia zwrotne i w ciągu kilku następnych dziesięcioleci zmniejszyć bieżący trend ocieplenia o ponad 50%, ratując w ten sposób życie milionów ludzi i zwiększyć plony dzięki zmniejszonemu zanieczyszczeniu powietrza (Shindell et al. 2017). Pewną nadzieję daje tu Poprawka z Kigali z 2016 r. dotycząca stopniowego zmniejszania emisji HFC.

**Przyroda**

Musimy chronić i odbudowywać ekosystemy na Ziemi. Fitoplankton, rafy koralowe, lasy, sawanny, użytki zielone, mokradła, torfowiska, gleby, namorzyny i trawy morskie w znacznym stopniu przyczyniają się do sekwestracji atmosferycznego $CO_2$. Rośliny, zwierzęta i mikroorganizmy morskie i lądowe odgrywają istotną rolę w obiegu i magazynowaniu węgla i składników odżywczych. Musimy szybko ograniczyć utratę siedlisk i bioróżnorodności (Wykres 1f-1g), chroniąc pierwotne i nienaruszone lasy, zwłaszcza te magazynujące znaczne ilości węgla, oraz inne lasy o zdolności do szybkiej sekwestracji dwutlenku węgla, przy jednoczesnej masowej intensyfikacji zalesiania i

odbudowywania lasów. Chociaż tę strategię ogranicza do pewnego stopnia kwestia dostępności gruntów, to dzięki tym naturalnym rozwiązaniom (Griscom et al. 2017) można by uzyskać aż jedną trzecią redukcji emisji postulowanej na rok 2030 w Porozumieniu Paryskim (tzn. prowadzącego do wzrostu temperatury poniżej 2°C).

**Żywność**

Dieta oparta głównie na produktach pochodzenia roślinnego i jednoczesne ograniczenie globalnego spożycia produktów zwierzęcych (Wykres 1c-d), zwłaszcza pochodzących od przeżuwaczy (Ripple et al. 2014), może poprawić zdrowie ludzi i znacząco obniżyć emisję gazów cieplarnianych (w tym metanu zob. "Zanieczyszczenia krótkotrwałe "). Tym sposobem, zwiększy się obszar gruntów pod uprawę bardzo potrzebnej żywności roślinnej dla ludzi (zamiast paszy dla zwierząt gospodarskich), a jednocześnie część ziemi pod pastwiska będzie mogła zostać wykorzystana do wprowadzenia naturalnych rozwiązań klimatycznych (zob. "Przyroda"). Niezwykle ważne są rozwiązania takie jak uprawa zminimalizowana (*minimum tillage*, o ograniczonej intensywności oddziaływania na glebę – przyp. tłum.), dzięki której zostaje zwiększona zawartość węgla w glebie. Musimy również drastycznie ograniczyć ogromną ilość niepotrzebnie marnotrawionej i wyrzucanej żywności na całym świecie.

**Gospodarka**

Aby osiągnąć długoterminowy zrównoważony rozwój biosfery, musimy jak najszybciej ograniczyć nadmierne wydobycie surowców i eksploatację ekosystemów, które towarzyszą nieustannemu wzrostowi gospodarczemu. Potrzebujemy gospodarki bezwęglowej, opartej na zrozumieniu naszej zależności od biosfery, oraz rozwiązań politycznych, które odpowiednio ukierunkują decyzje gospodarcze. Naszym celem nie powinno być utrzymanie nieustannego wzrostu PKB i dążenie do coraz większego bogactwa, ale zachowanie ekosystemów i poprawa jakości życia poprzez przyznanie priorytetu podstawowym ludzkim potrzebom i zmniejszenie nierówności społecznych.

**Populacja**

Należy zahamować wzrost populacji ludzkiej, a następnie stopniowo zredukować jej liczebność, bez uszczerbku dla spójności społecznej. W tym momencie liczba ludzi na ziemi wzrasta o około 80 milionów rocznie, czyli ponad 200 000 dziennie (Wykresy 1a-b). Sytuację można zmienić przy pomocy sprawdzonych i skutecznych rozwiązań politycznych, które wzmacniają prawa człowieka, a jednocześnie obniżają dzietność i zmniejszają wpływ wzrostu liczby ludności na emisje gazów cieplarnianych (GHG) i utratę różnorodności biologicznej. Strategia ta zakłada powszechną dostępność usług w zakresie planowania rodziny i pełne równouprawnienia płci, w tym wykształcenie podstawowe i średnie jako globalną normę dla wszystkich, szczególnie wśród dziewcząt i młodych kobiet (Bongaarts i O'Neill 2018).

**Wnioski**

Złagodzenie zmian klimatycznych i dostosowywanie się do nich, przy jednoczesnym poszanowaniu różnorodności poszczególnych społeczeństw, wymaga znacznych zmian w sposobie funkcjonowania naszego globalnego społeczeństwa i stosunku do ekosystemów. Duże nadzieje budzi w nas niedawny widoczny wzrost obaw przed katastrofą. Instytucje rządowe składają deklaracje w sprawie sytuacji kryzysowej dotyczącej klimatu. Strajkuje młodzież szkolna. Przed sądami toczą się procesy o niszczenie środowiska. Ruchy obywatelskie domagają się zmian, a wiele państw, regionów, miast i przedsiębiorstw stara się reagować.

Jako Sojusz Naukowców Świata (*Alliance of World Scientists*) jesteśmy gotowi służyć pomocą w przejściu do zrównoważonej i sprawiedliwej przyszłości. Chcielibyśmy, aby przedstawione poniżej wskaźniki pozwoliły politykom, sektorowi prywatnemu i społeczeństwu lepiej zrozumieć skalę

kryzysu, śledzić postępy w trakcie wdrażania koniecznych zmian, a także na nowo określić priorytety w polityce łagodzenia zmian klimatu. Co ważne, zmiana uwzględniająca sprawiedliwość społeczną i ekonomiczną gwarantuje o wiele lepsze warunki życia, niż jeśli nie będziemy niczego zmieniać. Mamy największe szanse na sukces, jeśli decydenci i cała ludzkość odpowiednio szybko zareagują na zagrożenie katastrofą klimatyczną oraz podejmą odpowiednie działania na rzecz podtrzymania życia na planecie Ziemia – naszym jedynym domu.

**Recenzenci**
Franz Baumann, Ferdinando Boero, Doug Boucher, Stephen Briggs, Peter Carter, Rick Cavicchioli, Milton Cole, Eileen Crist, Dominick A. DellaSala, Paul Ehrlich, Iñaki Garcia-De-Cortazar, Daniel Gilfillan, Alison Green, Tom Green, Jillian Gregg, Paul Grogan, John Guillebaud, John Harte, Nick Houtman, Charles Kennel, Christopher Martius, Frederico Mestre, Jennie Miller, David Pengelley, Chris Rapley, Klaus Rohde, Phil Sollins, Sabrina Speich, David Victor, Henrik Wahren i Roger Worthington.

**Źródło finansowania**
Niniejszy projekt został w części sfinansowany przez The Worthy Garden Club.

**Strona internetowa**
Zapraszamy na stronę internetową https://scientistswarning.forestry.oregonstate.edu/, aby zapoznać się z postulatami Sojuszu Naukowców Świata lub złożyć podpis poparcia.

**Materiały dodatkowe**
Dane uzupełniające są dostępne na stronie: https://academic.oup.com/bioscience/article/70/1/8/5610806. Lista sygnatariuszy znajduje się w materiale dodatkowym S1.

**Bibliografia**
Briggs S, Kennel CF, Victor DG. 2015. Planetary vital signs. Nature Climate Change 5: 969.
Bongaarts J, O'Neill BC. 2018. Global warming policy: Is population left out in the cold? Science 361: 650–652.
Griscom BW, et al. 2017. Natural climate solutions. Proceedings of the National Academy of Sciences 114: 11645–11650.
[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018. Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report. IPCC.
[IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019. Climate Change and Land. IPCC.
Pachauri RK, et al. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.
Ripple WJ, Smith P, Haberl H, Montzka SA, McAlpine C, Boucher DH. 2014. Ruminants, climate change, and climate policy. Nature Climate Change 4: 2–5.
Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Galetti M, Alamgir M, Crist E, Mahmoud MI, Laurance WF. 2017. World scientists' warning to humanity: A second notice. BioScience 67: 1026–1028.
Shindell D, Borgford-Parnell N, Brauer M, Haines A, Kuylenstierna J, Leonard S, Ramanathan V, Ravishankara A, Amann M, Srivastava L. 2017. A climate policy pathway for near- and long-term benefits. Science 356: 493–494.
Steffen W, et al. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences 115: 8252–8259.

*William J. Ripple (bill.ripple@oregonstate.edu) and Christopher Wolf (christopher.wolf@ oregonstate.edu) are affiliated with the Department of Forest Ecosystems and Society at Oregon State University, in Corvallis and contributed equally to the work. Thomas M. Newsome is affiliated with the School of Life and Environmental Sciences at The University of Sydney, in Sydney, New South Wales, Australia. Phoebe Barnard is affiliated with the Conservation Biology Institute, in Corvallis, Oregon, and with the African Climate and Development Initiative, at the University of Cape Town, in Cape Town, South Africa. William R. Moomaw is affiliated with The Fletcher School and the Global Development and Environment Institute, at Tufts University, in Medford, Massachusetts.*

doi:10.1093/biosci/biz088

**Materiał dodatkowy S2:** Naukowcy z całego świata ogłaszają klimatyczny stan wyjątkowy. William J. Ripple, Christopher Wolf, Thomas M. Newsome, Phoebe Barnard, William R. Moomaw, wraz 11 258 sygnatariuszami z 153 krajów (lista w materiale dodatkowym S1)

**Spis treści**

**Wykres S1**. Średnia miesięczna ilość $CO_2$ w Mauna Loa, Hawaje

**Wykres S2**. Wskaźniki zużycia energii elektrycznej w elektrowniach wodnych i jądrowych

**Tabela S1**. Podsumowania regionalne dla 24 państw i Unii Europejskiej

**Tabela S2**. Podsumowanie wskaźników działalności człowieka

**Tabela S3**. Podsumowanie wskaźników reakcji klimatycznej

**Inne wskaźniki graficzne**

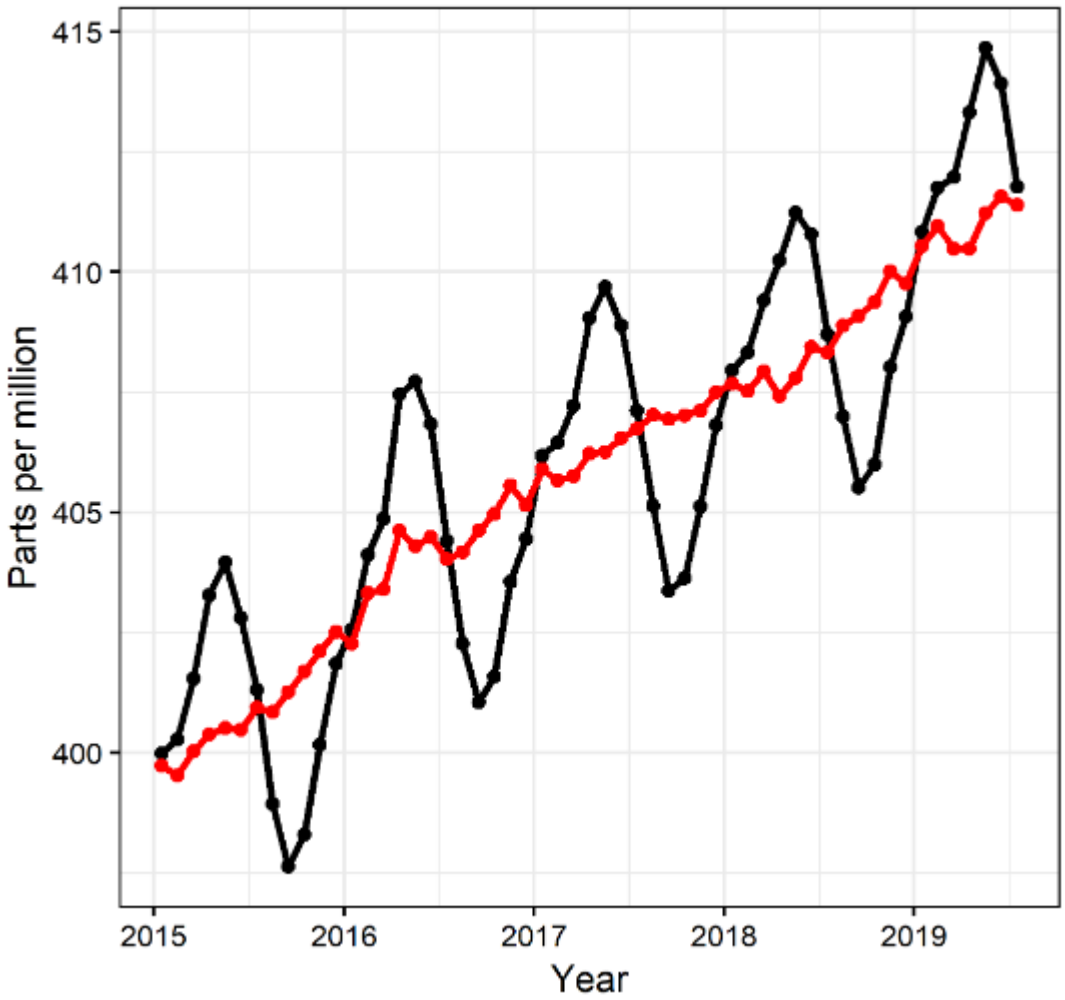
**Metody**

**Wskaźniki działalności człowieka.**

**Wskaźniki zmian klimatu**

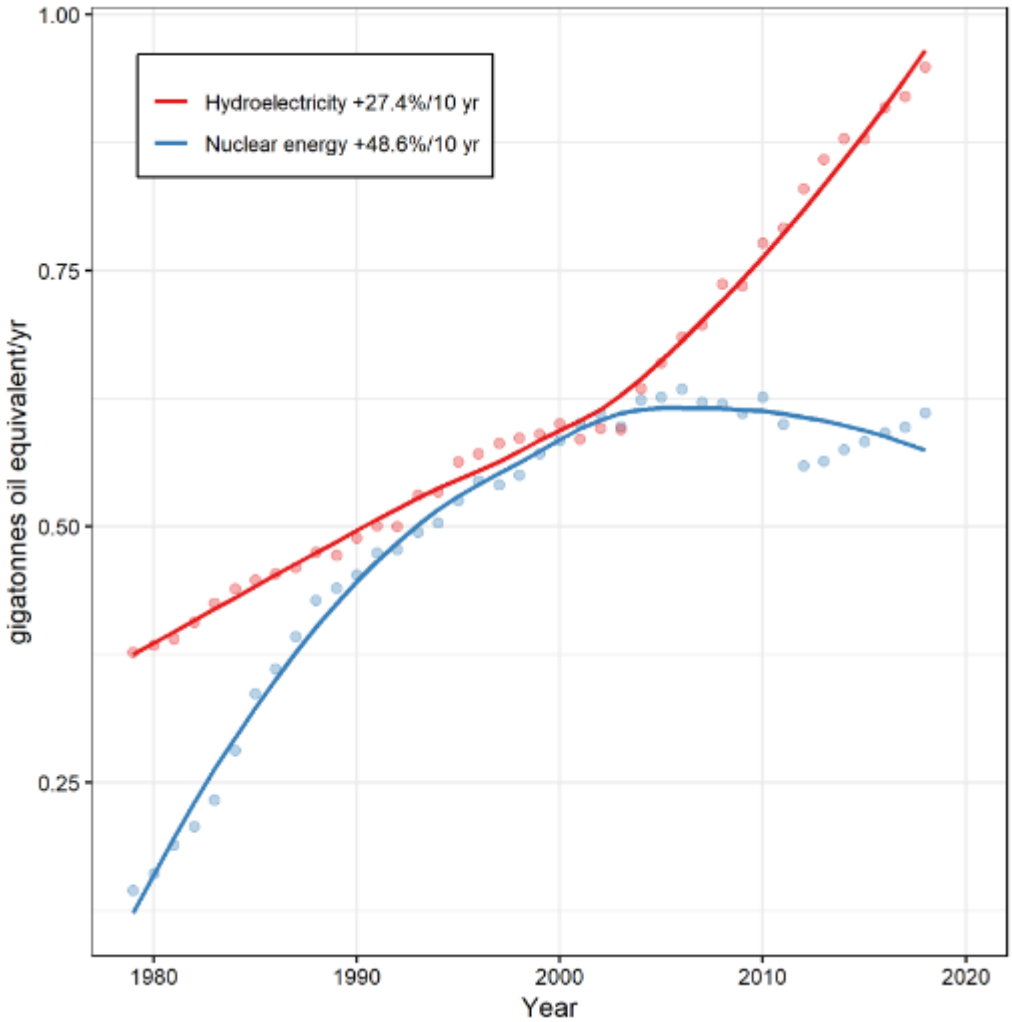
**Dodatkowe źródła**

## Średnia miesięczna ilość $CO_2$ w Mauna Loa




**Wykres S1.** Średnia miesięczna ilość dwutlenku węgla mierzona w Obserwatorium Mauna Loa na Hawajach. Dane dotyczące dwutlenku węgla ([czarna] krzywa), mierzone jako frakcja molowa w suchym powietrzu na Mauna Loa to obecnie najdłużej prowadzony bezpośredni zapis poziomu $CO_2$ w atmosferze. [...] Czarna linia reprezentuje średnie wartości miesięczne, wyśrodkowane w połowie każdego miesiąca. Linia czerwona oznacza korektę dla średniego cyklu sezonowego – jest to średnia krocząca z SIEDMIU sąsiadujących ze sobą cykli sezonowych, wyśrodkowanych wokół korygowanego miesiąca, z wyjątkiem pierwszych i ostatnich TRZECH i pół lat, gdzie cykl sezonowy został uśredniony odpowiednio dla pierwszych i ostatnich SIEDMIU lat.

Źródło https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/




**Wykres S2.** Roczne zużycie energii jądrowej i wodnej (British Petroleum Company 2019). Wykres przedstawia zmiany dekadalne dla całych zakresów czasowych (w ujęciu procentowym). British Petroleum Company (2019) podaje również dane dla innych mniejszych źródeł energii nie umieszczonych na wykresie. Wykres 1h w tekście głównym przedstawia zużycie paliw kopalnych, jak również energii słonecznej/wiatrowej.

**Tabele dodatkowe**

**Tabela S1.** Zestawienie dla 24 krajów i Unii Europejskiej. Przedstawiono następujące zmienne: "$CO_2$" (całkowita emisja $CO_2$ związana ze zużyciem paliw kopalnych w megatonach $CO_2$), "Ludność" (wielkość populacji ludzkiej w milionach), "$CO_2$ na osobę" (emisja $CO_2$ na w tonach na osobę), "Udział" (procent całej emisji $CO_2$ związanej z zużyciem paliw kopalnych w stosunku do sumy globalnej) oraz "PKB na osobę" (produkt krajowy brutto na mieszkańca w dolarach amerykańskich na osobę). Wszystkie dane dotyczą roku 2018, z wyjątkiem PKB dla Iranu, które pochodzą z 2017 r. (dane szacunkowe na rok 2018 nie były jeszcze dostępne). Dodatkowe informacje na temat przedstawionych zmiennych można znaleźć w informacjach dodatkowych, które publikujemy w dalszej części.

| | $CO_2$ | Ludność | $CO_2$ na osobę | Udział | PKP na osobę |
|---|---|---|---|---|---|
| Chiny | 9429 | 1447 | 6.5 | 28.4% | $9,400 |
| Stany Zjednoczone | 5145 | 327 | 15.7 | 15.5% | $62,736 |
| Unia Europejska | 3470 | 510 | 6.8 | 10.4% | $36,806 |
| Indie | 2479 | 1354 | 1.8 | 7.5% | $2,016 |
| Rosja | 1551 | 144 | 10.8 | 4.7% | $11,531 |
| Japonia | 1148 | 127 | 9.0 | 3.5% | $39,077 |
| Korea Południowa | 698 | 51 | 13.6 | 2.1% | $31,663 |
| Iran | 656 | 82 | 8.0 | 2.0% | $5,536 |
| Arabia Saudyjska | 571 | 34 | 17.0 | 1.7% | $23,305 |
| Kanada | 550 | 37 | 14.9 | 1.7% | $46,274 |
| Indonezja | 543 | 267 | 2.0 | 1.6% | $3,898 |
| Meksyk | 463 | 131 | 3.5 | 1.4% | $9,330 |
| Brazylia | 442 | 211 | 2.1 | 1.3% | $8,868 |
| Republika Południowej Afryki | 421 | 57 | 7.3 | 1.3% | $6,376 |
| Australia | 417 | 25 | 16.8 | 1.3% | $57,726 |
| Turcja | 390 | 82 | 4.8 | 1.2% | $9,363 |
| Tajlandia | 302 | 69 | 4.4 | 0.9% | $7,299 |
| Zjednoczone Emiraty Arabskie | 277 | 10 | 29.0 | 0.8% | $43,389 |
| Malezja | 250 | 32 | 7.8 | 0.8% | $11,048 |
| Kazachstan | 248 | 18 | 13.5 | 0.7% | $9,292 |
| Singapur | 230 | 6 | 39.7 | 0.7% | $62,846 |
| Wietnam | 225 | 96 | 2.3 | 0.7% | $2,539 |
| Egipt | 224 | 99 | 2.3 | 0.7% | $2,526 |
| Pakistan | 196 | 201 | 1.0 | 0.6% | $1,559 |
| Ukraina | 187 | 44 | 4.2 | 0.6% | $2,977 |
| **Top 25** | **30511** | **5460** | **5.6** | **91.8%** | **$13,960** |
| **Świat** | **33243** | **7550** | **4.4** | **100.0%** | **$11,363** |

**Tabela S2.** Podsumowanie wskaźników opisujących działalność człowieka. W kolumnach tabeli podano nazwę zmiennej, ostatni rok z dostępnymi danymi, wartość zmiennej w tym roku, miejsce w rankingu dla tego roku (#1 jest najwyższą możliwą wartością), oraz łączną liczbę lat z dostępnymi danymi (od 1979 r.). Dla przykładu, wielkość ludzkiej populacji została oszacowana w 2018 r. na 7,63 mld osób, czyli najwięcej od 1979 r. (miejsce 1).

| **Zmienna** | **Rok** | **Wartość** | **Miejsce** | **Lata łącznie** |
|---|---|---|---|---|
| Populacja ludzka (w miliardach) | 2018 | 7.63 | 1 | 40 |
| Współczynnik dzietności ogółem (liczba dzieci na kobietę) | 2017 | 2.43 | 39 | 39 |
| Pogłowie przeżuwaczy (w miliardach) | 2017 | 3.93 | 1 | 39 |
| Produkcja mięsa na osobę (kg/rok) | 2017 | 44.3 | 1 | 39 |
| Światowy PKB (w bilionach według obecnego kursu USD/rok) | 2018 | 85.8 | 1 | 40 |
| Strata pokrywy leśnej na świecie (mln hektarów/rok) | 2018 | 24.8 | 3 | 18 |
| Utrata lasów amazońskich (mln hektarów/rok) | 2018 | 0.79 | 22 | 31 |
| Zużycie węgla (ekwiwalent ropy naftowej w gigatonach/rok) | 2018 | 3.77 | 5 | 40 |
| Zużycie ropy naftowej (ekwiwalent ropy naftowej w gigatonach/rok) | 2018 | 4.66 | 1 | 40 |
| Zużycie gazu ziemnego (ekwiwalent ropy naftowej w gigatonach/rok) | 2018 | 3.31 | 1 | 40 |
| Energia słoneczna/wiatrowa (ekwiwalent ropy naftowej w gigatonach/rok) | 2018 | 0.42 | 1 | 40 |
| Transport lotniczy (mld przewiezionych pasażerów/rok) | 2017 | 3.98 | 1 | 39 |
| Łączne zdeinwestowane aktywa (w bilionach USD) | 2018 | 6.17 | 1 | 6 |
| Emisja $CO_2$ (gigatony ekwiwalentu $CO_2$/rok) | 2018 | 33.9 | 1 | 40 |
| Emisja $CO_2$ na osobę (tony ekwiwalentu $CO_2$/rok) | 2018 | 4.44 | 9 | 40 |
| Emisja gazów cieplarnianych objęta opłatami (%) | 2018 | 14 | 1 | 29 |
| Cena uprawnień do emisji (w USD za tonę $CO_2$) | 2018 | 15.2 | 28 | 29 |
| Dotacje do paliw kopalnych (mld USD/rok) | 2018 | 427 | 6 | 9 |

**Tabela S3.** Podsumowanie wskaźników reakcji klimatycznej. W kolumnach podano nazwę zmiennej, ostatni rok z dostępnymi danymi, wartość zmiennej w tym roku, miejsce dla tego roku (miejsce #1 jest najwyższym możliwym miejscem), oraz łączną liczbę lat z dostępnymi danymi (od 1979 r.). Na przykład stężenie dwutlenku węgla w atmosferze zostało ostatnio oszacowane w 2018 r. i wyniosło 407 części na milion, co stanowi najwyższą wartość spośród danych za poprzednie 39 lat, czyli od 1979 r.

| **Zmienna** | **Rok** | **Wartość** | **Miejsce** | **Lata łącznie** |
|---|---|---|---|---|
| Dwutlenek węgla (części $CO_2$ na milion) | 2018 | 407 | 1 | 39 |
| Metan (części $CH_4$ na miliard) | 2018 | 1860 | 1 | 35 |
| Podtlenek azotu (części $N_2O$ na miliard) | 2018 | 331 | 1 | 40 |
| Zmiana temperatury powierzchni (°C) | 2018 | 0.85 | 4 | 40 |
| Minimalna powierzchnia arktycznego lodu morskiego (mln $km^2$) | 2018 | 4.6 | 35 | 40 |
| Zmiana masy lodu na Grenlandii (gigatony) | 2016 | -3660 | 14 | 14 |
| Zmiana masy lodu na Antarktydzie (gigatony) | 2016 | -1640 | 13 | 14 |
| Zmiana grubości lodowca (metry ekwiwalentu wody) | 2018 | -21.1 | 40 | 40 |
| Zmiana zawartości ciepła w oceanie ($10^{22}$ dżuli) | 2016 | 21.9 | 1 | 38 |
| Odczyn oceanów (pH) | 2017 | 8.06 | 29 | 29 |
| Zmiana poziomu morza (cm) | 2018 | 42.8 | 1 | 26 |
| Powierzchnia objęta pożarami w Stanach Zjednoczonych (mln ha/rok) | 2018 | 3.55 | 6 | 36 |
| Ekstremalne zjawiska pogodowe/klimatyczne/hydrologiczne (liczba/rok) | 2018 | 798 | 1 | 39 |
| Roczne straty z tytułu zdarzeń pogodowych, klimatycznych i hydrologicznych (w miliardach USD) | 2018 | 166 | 4 | 39 |

## Inne wskaźniki graficzne

Globalny System Obserwacji Klimatu (GCOS) - wykorzystuje siedem wskaźników klimatycznych, w tym temperaturę powierzchniową, ciepło oceanów, atmosferyczny $CO_2$, odczyn oceanów, poziom morza, grubość lodowców, oraz arktyczną i antarktyczną pokrywę lodową. https://gcos.wmo.int/en/home
Kluczowe wskaźniki NASA - pięć wskaźników klimatycznych: temperatura globalna, minimalny zasięg lodu arktycznego, pokrywa lodowa, poziom morza i poziom atmosferycznego $CO_2$. https://climate.nasa.gov/
2 Degrees Institute - wykorzystuje sześć wskaźników klimatycznych: globalną temperaturę, poziomy $CO_2$, metanu ($CH_4$), podtlenku azotu ($N_2O$), tlenu ($O_2$) i globalne poziomy morza.
https://www.2degreesinstitute.org/
IPCC 1.5C Report - wykorzystuje wskaźnik globalnego ocieplenia.
https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

## Metody

Poniżej przedstawiamy wykresy ukazujące globalną działalność człowieka, która ma wpływ na środowisko (np. zużycie paliw kopalnych) oraz reakcję środowiska i klimatu (np. zmiany temperatury). Opisy i źródła dla każdej zmiennej są podane poniżej. Chociaż wykorzystywane dane pochodzą ze źródeł powszechnie uznanych za wiarygodne, to należy do nich podchodzić z ostrożnością, ponieważ sami nie dokonaliśmy ich formalnej oceny. Braliśmy pod uwagę zmienne, które były aktualizowane przynajmniej raz w roku. Każdą zmienną przedstawiamy w postaci rocznej, w razie potrzeby uśredniając obserwacje w każdym roku kalendarzowym, oraz wyłączając dane z pierwszego i ostatniego roku, jeśli były niekompletne (pierwszy niekompletny rok: odczyn oceanów, masa lodu na Grenlandii i Antarktydzie; ostatni niekompletny rok: masa lodu na Grenlandii i Antarktydzie). Dla każdej zmiennej usunięto lata poprzedzające rok 1979. Następnie obliczyliśmy wygładzone linie trendu, na podstawie LOESS (*locally estimated scatterplot smoothing*). Linie trendu w R dopasowano za pomocą funkcji LOESS dla ustawień domyślnych (stopień 2, zakres 0,75) (R Core Team 2018).

Wykorzystaliśmy linie trendu do obliczenia tempa zmian każdej zmiennej. Dla zmiennych wskaźnikowych (tj. tych z prawdziwym poziomem zerowym, jak na przykład atmosferyczne stężenie $CO_2$), obliczyliśmy zmianę procentową, a dla zmiennych interwałowych (które mogą być dowolnie przesuwane w górę lub w dół, jak na przykład poziom morza) obliczyliśmy zmianę addytywną. Dla zmiennych wskaźnikowych zastosowaliśmy następujący wzór na 10-letnią zmianę procentową:

$$r_{ratio} = 100\% \times \left[ \left( \frac{y_{end}}{y_{start}} \right)^{\frac{10}{t_{end} - t_{start}}} - 1 \right]$$

Gdzie $y_{start}$ i $y_{send}$ to wartości początkowe i końcowe linii trendu, a $t_{start}$ i $t_{send}$ to lata początkowe i końcowe. Jest to 10-letnia zmiana procentowa z dekadalnym interwałem składowym. Dla przykładu, zmienna która wzrastała w tempie 15% na dekadę przez cały okres jej trwania, ma wartość 15% według tego wzoru. Dla odczynu oceanu (pH), obliczyliśmy zmianę procentową w zakresie aktywności jonów wodorowych ($a_H^+$) (niższe wartości pH oznaczają kwasowość). Dla zmiennych interwałowych użyliśmy wzoru

$$r_{interval} = 10 \times \frac{y_{end} - y_{start}}{t_{end} - t_{start}}$$

## Wskaźniki ludzkiej działalności, które mogą mieć wpływ na emisję gazów cieplarnianych lub zmianę klimatu (Wykres 1)

Poniżej wymieniamy materiały źródłowe i podajemy krótkie opisy wskaźników użytych w naszej analizie. Pełna metodologia dla każdego wskaźnika jest podana w materiałach źródłowych.

Populacja ludzka (Wykres 1a)

Podane wielkości populacji ludzkiej bazują na danych FAOSTAT (2019). W przypadku szacunków dotyczących populacji ludzkiej, dane źródłowe wykorzystywane przez FAOSTAT pochodzą z krajowych spisów ludności.

Współczynnik dzietności całkowitej (Wykres 1b)

Dane dotyczące dzietności pochodzą z Banku Światowego (The World Bank 2019a). Pełna nazwa zmiennej brzmi "Współczynnik dzietności (ilość dzieci na kobietę), a identyfikator zmiennych Banku Światowego to SP.DYN.TFRT.IN. Zmienna ta została wyprowadzona na podstawie danych z wielu źródeł, w tym z Działu Populacji ONZ. Pełny wykaz materiałów źródłowych jest dostępny na stronie Banku Światowego (The World Bank 2019a). Współczynnik dzietności ogólnej definiowany jest jako "liczba dzieci, które urodziłaby kobieta, gdyby żyła do końca wieku prokreacyjnego i rodziła dzieci zgodnie ze współczynnikami dzietności właściwymi dla danego wieku w danym roku" (The World Bank 2019a).

Populacja przeżuwaczy (Wykres 1c)

Jako źródło danych o populacji przeżuwaczy wykorzystano dane FAOSTAT (2019). Do tej grupy zwierząt zaliczyliśmy bydło, bawoły, owce i kozy. W przypadku szacunków dotyczących zwierząt gospodarskich podstawowym źródłem danych są statystyki krajowe uzyskane za pomocą kwestionariuszy lub zebrane ze stron internetowych lub sprawozdań poszczególnych krajów. Gdy krajowe statystyki dotyczące zwierząt gospodarskich były niedostępne, FAOSTAT podaje je posługując się imputacją (FAOSTAT 2019).

Produkcja mięsa na osobę (Wykres 1d)

Do oszacowania produkcji mięsa w przeliczeniu na osobę wykorzystano dane dotyczące całkowitej produkcji mięsa i szacunkowej wielkości populacji ludzkiej (Wykres 1a) z bazy danych FAOSTAT (2019). Dane te podane są "w odniesieniu do masy tuszy po rozebraniu, z wyłączeniem podrobów i tłuszczów rzeźnych" (FAOSTAT 2019).

Produkt krajowy brutto (Wykres 1e)

Dane dotyczące PKB pochodzą z Banku Światowego (The World Bank 2019b). Pełna nazwa tej zmiennej brzmi "PKB (dolary amerykańskie według aktualnego kursu)", a identyfikator zmiennych Banku Światowego to NY.GDP.MKTP.CD. Zmienna ta została uzyskana z wielu źródeł, w tym z rachunków narodowych Banku Światowego. Pełna lista materiałów źródłowych jest dostępna w The World Bank (2019b). Produkt krajowy brutto to "suma wartości dodanej brutto wytworzonej przez wszystkich producentów na terenie danego kraju, powiększona o wszelkie podatki od produktów i pomniejszona o wszelkie dotacje nieuwzględnione w wartości produktów" (2019b).

Globalna utrata pokrywy leśnej (Wykres 1f)

Dane dotyczące rocznej straty pokrycia drzew w skali globalnej pochodzą z Global Forest Watch (Hansen et al. 2013). Przedstawiają one straty w milionach hektarów (Mha) i pochodzą z map wykorzystywanych w teledetekcji satelitarnej. Należy zauważyć, że straty są ogólne i nie są związane z konkretnym rodzajem wylesiania. Tak więc obejmują ona procesy naturalne,

przekształcenie lasów w grunty rolne, choroby, itd. Dodatkowo, utrata pokrywy leśnej nie uwzględnia jej przyrostu w innych miejscach. W związku z tym straty netto w lasach mogą być niższe.

Spadek powierzchni lasów amazońskich w Brazylii (Wykres 1g)

Roczne szacunki strat lasów amazońskich w Brazylii pochodzą z pracy Butlera (2017). W Brazylii znajduje się około 60% lasów deszczowych Amazonii. Źródłami wykorzystanymi przez Butlera (2017) były Brazylijski Narodowy Instytut Badań Kosmicznych (INPE) oraz Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO). Chociaż INPE nie dostarczył szacunkowych danych na temat wylesiania w 2019 r., dane dotyczące pożarów wykazują duży wzrost, który z reguły pociąga za sobą zwiększone wylesianie (Amigo 2019).

Zużycie energii (Wykres 1h)

Jako źródło danych o zużyciu energii wykorzystaliśmy raport statystyczny British Petroleum Company 2019 Statistical Review of World Energy (British Petroleum Company 2019). Dane dotyczą energii pochodzącej z zużycia węgla, ropy naftowej, gazu ziemnego, energii słonecznej i wiatrowej. Energię słoneczną i wiatrową połączono w jedną kategorię. Dane na temat zużycia węgla dotyczą tylko komercyjnych paliw stałych. W każdym przypadku, jednostkami zużycia energii są gigatonowe ekwiwalenty ropy naftowej (Gt oe). Inne źródła energii o niskiej emisji dwutlenku węgla, takie jak elektrownie wodne i jądrowe, pokazano na wykresie S2. Dane dotyczące globalnego zużycia energii, choć nie zostały wykorzystane w niniejszym raporcie, są również dostępne na stronie Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA 2018).

Transport lotniczy (Wykres 1i)

Dane pochodzą z Banku Światowego (The World Bank 2019c). Pełna nazwa zmiennej brzmi "Transport lotniczy, przewóz pasażerów" (identyfikator zmiennych Banku Światowego to IS.AIR.PSGR), a bazuje ona na wielu źródłach, w tym danych Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego. Pełna lista materiałów źródłowych jest dostępna na stronie Banku Światowego (The World Bank 2019c). Kategoria "Transport lotniczy" obejmuje zarówno ruch krajowy i międzynarodowy.

Dezinwestycja (Wykres 1j)

Dane dotyczące dezinwestycji uzyskano z 350.org (350.org 2019; Fossil Free 2019). Obejmują one instytucjonalne dezinwestycje przeprowadzone przez 1 117 organizacji. Najczęściej były to organizacje wyznaniowe, fundacje filantropijne, instytucje edukacyjne, rządy i fundusze emerytalne (Fossil Free 2019). Wykorzystując bazę danych 350.org, obliczyliśmy skumulowaną całkowitą wartość dezinwestycji instytucjonalnych w poszczególnych latach (od 2013 roku) na podstawie zmiennej "data zapisu", która "generalnie reprezentuje datę ogłoszenia zobowiązania do dezinwestycji przez daną organizację" (350.org 2019).

Emisje $CO_2$ (Wykres 1k)

Jako źródło danych o emisji $CO_2$ (British Petroleum Company 2019) wykorzystaliśmy raport statystyczny British Petroleum Company 2019 Statistical Review of World Energy. Te dane dotyczące emisji $CO_2$ "odzwierciedlają jedynie [...] spalanie ropy naftowej, gazu i węgla" (British Petroleum Company 2019). Nie uwzględniają one sekwestracji dwutlenku węgla, innych źródeł emisji $CO_2$, ani innych emisji gazów cieplarnianych.

Emisje $CO_2$ na osobę (Wykres 1l)

Przeliczyliśmy całkowitą emisję $CO_2$ (Wykres 1k) na emisję $CO_2$ na osobę przy użyciu danych FAOSTAT dotyczących wielkości populacji ludzkiej (Wykres 1a).

Emisja gazów cieplarnianych objęta opłatami (Wykres 1m)

Dane dotyczące odsetka emisji gazów cieplarnianych objętych systemami uprawnień do emisji dwutlenku węgla pochodzą bezpośrednio z World Bank Group (2019). W przypadku gdy te same emisje objęte były więcej niż jednym systemem, braliśmy pod uwagę ten, który był wprowadzony najwcześniej. Dostęp do danych uzyskano za pomocą Carbon Pricing Dashboard. Ostatnia aktualizacja miała miejsce w dniu 1 kwietnia 2019 r.

Cena emisji dwutlenku węgla i udział w emisjach gazów cieplarnianych objętych systemem uprawnień do emisji dwutlenku węgla (Wykres 1n)

Dane pochodzą ze strony World Bank Group (2019). Do oszacowania globalnej ceny emisji dwutlenku węgla wykorzystaliśmy średnią z cen poszczególnych systemów ważoną odsetkiem emisji gazów cieplarnianych objętych przez każdy system. W przypadku gdy te same emisje objęte były więcej niż jednym systemem, braliśmy pod uwagę ten, który był wprowadzony najwcześniej. Dostęp do danych uzyskano za pomocą Carbon Pricing Dashboard. Ostatnia aktualizacja miała miejsce w dniu 1 kwietnia 2019 r.

Dotacje do paliw kopalnych (Wykres 1o)

Dane o dopłatach do paliw kopalnych otrzymano z Międzynarodowej Agencji Energetycznej (International Energy Agency 2019a). Dotacje do paliw kopalnych podane są w miliardach dolarów amerykańskich z 2018 r. Obejmują one ropę naftową, elektryczność, gaz ziemny i węgiel. Wartości subsydiów oszacowano porównując "przeciętne opłaty ponoszone przez odbiorców końcowych z cenami referencyjnymi odpowiadającymi pełnym kosztom dostaw" (International Energy Agency 2019b). Kwota dotacji jest równa iloczynowi tej luki cenowej i ilości zużytego węgla (International Energy Agency 2019b).

## Wskaźniki zmiany klimatu (Wykres 2)

Atmosferyczny $CO_2$ (Wykres 2a)

Uśrednione światowe szacunki stężenia $CO_2$ w atmosferze otrzymano z globalnej sieci referencyjnej dla gazów cieplarnianych NOAA (NOAA 2019a). W szczególności, wykorzystaliśmy zmienną "Średnioroczna, uśredniona globalnie powierzchnia morza". Jest ona oparta na danych zebranych przez The Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory przy wykorzystaniu globalnej sieci miejsc poboru próbek. Średnie globalne zostały oszacowane poprzez wygładzenie obserwacji z każdego miejsca w różnych punktach czasowych, a następnie oszacowanie zależności pomiędzy atmosferycznym $CO_2$ i szerokością geograficzną.

Atmosferyczny metan (Wykres 2b)

Uśrednione w skali światowej szacunkowe roczne stężenie metanu atmosferycznego ($CH_4$) otrzymano z NOAA (Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL 2019). Wykorzystaliśmy zestaw danych zatytułowany "Średnioroczna, uśredniona globalnie powierzchnia morza". Dane te pochodzą z pomiarów wykonanych w globalnej sieci miejsc poboru próbek, które zostały wygładzone w czasie i wykreślone w stosunku do szerokości geograficznej (Dlugokencky et al. 1994; Masarie & Tans 1995). Dane te są opisane jako "frakcja molowa w suchym powietrzu" (Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL 2019).

Atmosferyczny podtlenek azotu (Wykres 2c)

Dane na temat stężenia podtlenku azotu ($N_2O$) uzyskano od NOAA/ESRL Global Monitoring Division ("Połączone dane dotyczące podtlenku azotu z NOAA/ESRL Global Monitoring Division)

(NOAA/ESRL Global Monitoring Division 2019). Posłużyliśmy się średnimi miesięcznymi szacunkami globalnymi (mierzonymi w częściach na miliard). Zbiór danych jest średnią ważoną szacunków z programów pomiarowych NOAA/ESRL/GMD.

Zmiana temperatury powierzchni (Wykres 2d)

Dane o średnich globalnych anomaliach temperaturowych powierzchni otrzymano z NASA/GISS (2019). Użyliśmy niewygładzonej rocznej zmiennej dla wskaźnika „Land-Ocean Temperature Index". Szacunki anomalii temperaturowych / zmiany temperatury biorą pod uwagę temperaturę powierzchni lądu i oceanu łącznie. Okres bazowy to średnia z lat 1951-1980.

Minimalny zasięg arktycznego lodu morskiego (Wykres 2e)

Szacunki dotyczące minimalnego zasięgu arktycznego lodu morskiego otrzymano z NASA (2019), na podstawie obserwacji satelitarnych. Dla każdego roku dane pokazują średni zasięg arktycznego lodu morskiego we wrześniu, czyli wtedy, gdy występuje roczne minimum. Według NASA (2019), "zasięg arktyczny lodu morskiego osiąga swoje minimum we wrześniu każdego roku. Wrześniowe zasoby arktycznego lodu morskiego zmniejszają się obecnie w tempie 12,8 procent na dekadę, w porównaniu ze średnią z lat 1981-2010. Powyższy wykres przedstawia średni miesięczny zasięg arktycznego lodu morskiego we wrześniu każdego roku od 1979 roku, na podstawie danych z obserwacji satelitarnych. Zasięg z 2012 roku był jak dotąd najmniejszy. w zapisie satelitarnym."

Masa lodu Grenlandii (Wykres 2f)

Pomiary masy lodu lądowego Grenlandii otrzymano z NASA (2019). Dane te pokazują zmiany masy pokrywy lodowej (w Gt) od kwietnia 2002 roku. Pochodzą one z satelitów GRACE, które obserwują przyspieszenie topnienia lodu na Grenlandii od 2009 r.

Masa lodu na Antarktydzie (Wykres 2g)

Pomiary masy lodu na Antarktydzie uzyskano od NASA (2019). Dane te pokazują zmiany masy pokrywy lodowej (w Gt) od kwietnia 2002 roku. Pochodzą one z satelitów GRACE, które obserwują przyspieszenie topnienia lodu na Antarktydzie od 2009 r.

Łączna zmiana grubości lodowca (Wykres 2h)

Dane o łącznym bilansie lodowców otrzymano z serwisu World Gletscher Monitoring Service (WGMS 2019). Dane te zostały uzyskane z bazy danych zawierającej informacje o zmianach masy, objętości itp. poszczególnych lodowców. Opierają się one na uśrednianiu w odniesieniu do globalnego zbioru danych dotyczących lodowców referencyjnych i w stosunku do stanu z 1970 roku.

Zmiany podane są w metrach ekwiwalentu wody. Według World Gletscher Monitoring Service, "wartość -1,0 [metr ekwiwalentu wody] rocznie oznacza ubytek 1000 kg pokrywy lodowej na metr kwadratowy lub roczną utratę grubości lodu na całym lodowcu wynoszącą około 1,1 m rocznie, ponieważ gęstość lodu wynosi 0,9 gęstości wody" (WGMS 2019).

Zawartość ciepła w oceanie (Wykres 2i)

Dane zawartości ciepła w oceanie otrzymano z krajowych ośrodków informacji o środowisku (National Centers for Environmental Information - NCEI) (NOAA 2019b). Dane podane są w jednostkach $10^{22}$ dżuli i dotyczą wód do głębokości -2000 m. Okres referencyjny to 1955-2006 (Levitus et al. 2012).

Odczyn oceanu (Wykres 2j)

Jako zamiennik dla globalnego odczynu oceanu wykorzystaliśmy dane dotyczące pH wody morskiej z Hawaii Ocean Time (HOT 2019), przedstawione przez Dore et al. (2009). Dane zostały zebrane w

stacji ALOHA (22°45'N, 158°00'W). Zastosowano zmienną "pHmeas_insitu", która jest opisana jako "średnie pH wody morskiej, dostosowane do temperatury in situ, w skali ogólnej" (HOT 2019). Aby przedstawić zmianę procentową tej zmiennej, najpierw przeliczyliśmy pH na aktywność jonów wodorowych ($a_H^+$), stosując wzór $a_H^+ = 10^{-Ph}$.

Ekstremalne zjawiska pogodowe (liczba) (Wykres 2k)

Dane te pochodzą z NatCatSERVICE (Munich Re 2019). Ekstremalne zjawiska pogodowe to zdarzenia meteorologiczne, hydrologiczne lub klimatyczne, które spowodowały co najmniej jedną ofiarę śmiertelną i/lub straty przekraczające 100 tys., 300 tys., 1 mln, or 3 mln dolarów amerykańskich (zależnie od przynależności danego kraju do odpowiedniej grupy dochodowej w klasyfikacji Banku Światowego). Cała baza danych obejmuje 18 169 zdarzeń, ale wyłączono z niej zdarzenia geofizyczne, co daje 16 585 zdarzeń. Obejmują one trzy kategorie: ekstremalne zdarzenia meteorologiczne (cyklony tropikalne, pogodowe bomby cyklonowe itp.), zdarzenia hydrologiczne (powodzie, osunięcia) oraz ekstremalne zdarzenia klimatyczne (susze, pożary lasów, itp.).

Ekstremalne zjawiska pogodowe (straty gospodarcze) (Wykres 2l)

Dane te pochodzą z NatCatSERVICE (Munich Re 2019), jak opisano powyżej. Straty gospodarcze (w dolarach amerykańskich z 2018) uwzględniają inflację opartą o indeks cen konsumpcyjnych specyficznych dla danego kraju oraz wahania kursów walutowych między walutą lokalną a USD" (Munich Re 2019).

Zmiana poziomu morza (Wykres 2m)

Dane na temat średniego światowego poziomu morza otrzymano z GSFC (2017) [link zamieszczony przez NASA (2019)]. Jak zauważono w opisie zbioru danych, wykres dostępny na stronie http://climate.nasa.gov opiera się na pomiarach poziomu w odniesieniu do pierwszego cyklu (styczeń) z 1993 r. Zmienną, którą zastosowaliśmy była "Zmienność GMSL w milimetrach (Global Isostatic Adjustment (GIA) nie zostało zastosowane) w odniesieniu do dwudziestoletniego średniego odniesienia współliniowego satelitów TOPEX/Jason. Zgodnie z opisem zbioru danych, odniesienie to pochodzi z cykli 121 do 858, przypadających na lata 1996-2016. Należy zaznaczyć, że głównym czynnikiem przyczyniającym się do wzrostu poziomu morza jest wzrost temperatury i ocieplenie całego oceanu (WCRP Global Sea Level Budget Group 2018).

Całkowity obszar objęty pożarami lasów w Stanach Zjednoczonych (Wykres 2n)

Dane pochodzą z Narodowego Centrum Koordynacji Międzyagencyjnej w Narodowym Centrum Koordynacji Pożarniczej (National Interagency Coordination Center 2018) i obejmują również Alaskę i Hawaje. Zostały opublikowane w Raportach Sytuacyjnych (*Situation Reports*). Pominięto dane sprzed 1983 r., ponieważ ich źródła nie są dokładnie znane. Dane za rok 2004 nie obejmują gruntów stanowych w Północnej Karolinie.

## Bibliografia

350.org. 2019. Divestment Database 2.0. Available from https://docs.google.com/spreadsheets/d/1AWTXvHOoB4A9rqOF4Ld8czsQMdGHHjqarO9ahWCZ4UI/ (accessed August 30, 2019).

Amigo I. 2019, August 21. Amazon rainforest fires leave São Paulo in the dark. Available from https://news.mongabay.com/2019/08/amazon-rainforest-fires-leave-sao-paulo-in-the-dark/ (accessed August 26, 2019).

British Petroleum Company. 2019. BP statistical review of world energy. British Petroleum Company. Available from https://www.bp.com/content/dam/bp/business-

sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf.

Butler RA. 2017, January 26. Calculating Deforestation Figures for the Amazon. Available from https://rainforests.mongabay.com/amazon/deforestation_calculations.html (accessed August 26, 2019). Dlugokencky E, Steele L, Lang P, Masarie K. 1994. The growth rate and distribution of atmospheric methane. Journal of Geophysical Research: Atmospheres **99**:17021–17043.

Dore JE, Lukas R, Sadler DW, Church MJ, Karl DM. 2009. Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. Proceedings of the National Academy of Sciences **106**:12235–12240.

Ed Dlugokencky, NOAA/ESRL. 2019. Trends in Atmospheric Methane. Available from https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/ (accessed September 4, 2019).

FAOSTAT. 2019. FAOSTAT Database on Agriculture. Available from http://faostat.fao.org/ (accessed August 26, 2019).

Fossil Free. 2019. 1000+ Divestment Commitments. Available from https://gofossilfree.org/divestment/commitments/ (accessed August 30, 2019).

GSFC. 2017. Global Mean Sea Level Trend from Integrated Multi-Mission Ocean Altimeters TOPEX/Poseidon, Jason-1, OSTM/Jason-2 Version 4.2 Ver. 4.2 PO.DAAC. CA, USA. Available from http://dx.doi.org/10.5067/GMSLM-TJ142 (accessed September 4, 2019).

Hansen MC et al. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Science **342**:850-853. Data available on-line from:http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest. Accessed through Global Forest Watch on 8/26/19. www.globalforestwatch.org.

HOT. 2019. Hawaii Ocean Time-series (HOT). Available from http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/products/products.html (accessed August 26, 2019).

IEA. 2018. World Energy Outlook 2018. International Energy Agency, Paris. Available from https://doi.org/10.1787/weo-2018-en.

International Energy Agency. 2019a. Commentary: Fossil fuel consumption subsidies bounced back strongly in 2018. Available from https://www.iea.org/newsroom/news/2019/june/fossil-fuel-consumption-subsidies-bounced-back-strongly-in-2018.html (accessed August 26, 2019).

International Energy Agency. 2019b. World Energy Outlook: Fossil-fuel subsidies. Available from https://www.iea.org/weo/energysubsidies/ (accessed August 26, 2019).

Masarie KA, Tans PP. 1995. Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record. Journal of Geophysical Research: Atmospheres **100**:11593–11610.

Munich Re. 2019, January. NatCatSERVICE. Available from https://natcatservice.munichre.com/ (accessed August 26, 2019).

NASA. 2019. Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. Available from https://climate.nasa.gov/ (accessed August 26, 2019).

National Interagency Coordination Center. 2018. National Interagency Fire Center. Available from https://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo_stats_totalFires.html (accessed August 26, 2019).

NOAA. 2019a. National Centers for Environmental Information: Global Greenhouse Gas Reference Network. Available from https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html (accessed August 26, 2019).

NOAA. 2019b. National Centers for Environmental Information: Global Ocean Heat and Salt Content. Available from https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/ (accessed August 26, 2019).

NOAA/ESRL Global Monitoring Division. 2019. Nitrous Oxide (N2O) — Combined Data Set. Available from https://www.esrl.noaa.gov/gmd/hats/combined/N2O.html (accessed September 4, 2019).

R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from https://www.R-project.org/.

The World Bank. 2019a. Fertility rate, total (births per woman). World Bank. Available from https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.TFRT.IN (accessed August 26, 2019). 15

The World Bank. 2019b. GDP (current US$). World Bank. Available from https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD (accessed August 26, 2019).

The World Bank. 2019c. Air transport, passengers carried. World Bank. Available from https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR (accessed August 26, 2019).

WGMS. 2019. The World Glacier Monitoring Service. Available from https://wgms.ch/global-glacier-state/ (accessed August 26, 2019).

World Bank Group. 2019. State and Trends of Carbon Pricing 2019. World Bank, Washington, DC. Available from https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31755/9781464814358.pdf (accessed August 26, 2019).