



Polski
Instytut
Ekonomiczny

LISTOPAD 2022

WARSZAWA

ISBN 978-83-67575-01-0

Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji

Cytowanie: Lipiński, K. (2022), *Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, listopad 2022 r.

Autor: Kamil Lipiński

Współpraca: Marcelina Pilszyk

Redakcja merytoryczna: Andrzej Kubisiak

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Tomasz Gałązka

Współpraca graficzna: Sebastian Grzybowski

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-67575-01-0

Spis treści

Kluczowe liczby	4
Kluczowe wnioski.	5
Wprowadzenie	7
Dodatkowe emisje gazów cieplarnianych spowodowane rosyjską inwazją	9
Emisje związane z koncentracją, przemieszczaniem i utrzymaniem rosyjskich sił zbrojnych.	9
Emisje w wyniku zniszczenia rosyjskiego i ukraińskiego sprzętu ciężkiego.	11
Emisje gazów cieplarnianych w wyniku pożarów wywołanych wojną	15
Zniszczenie zapasów ropy i gazu, rozszczelnienie gazociągów	21
Emisje w wyniku przymusowych migracji.	24
Koszty klimatyczne odbudowy	29
Koszty zatrzymanej transformacji. Wojna a rozwój ukraińskich OZE	32
Podsumowanie. Całkowity koszt klimatyczny inwazji i próba wyceny.	36
Bibliografia	39
Spis map, tabel i wykresów	44

Kluczowe liczby

212,7 mln t CO₂e

wyniesie koszt klimatyczny rosyjskiej inwazji na Ukrainę w scenariuszu umiarkowanych emisji. To 6 proc. ekwiwalentu wszystkich emisji gazów cieplarnianych Unii Europejskiej w 2022 r. i 53 proc. bezpośredniej rocznej emisji CO₂e Polski

16,6 mld EUR

może wynieść koszt klimatyczny rosyjskiej inwazji w scenariuszu umiarkowanych emisji. Koszty klimatyczne w tych scenariuszach będą równe 10-19 proc. PKB Ukrainy

115 mln t emisji CO₂e i 8,9 mld EUR

kosztów klimatycznych może pozwolić uniknąć zielona odbudowa Ukrainy

3,76 t CO₂

wynosi szacunkowa emisja ze zniszczenia jednego czołgu wg Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy

147,3-304,8 tys. ha

lasów mogło ulec spaleni podczas inwazji według szacunków opartych na monitoringu anomalii termicznych NASA FIRMS i danych EFIS

23,3 mln t CO₂

mogły wynieść emisje związane z wymuszonym porzuceniem miejsca zamieszkania przez ponad 13,9 mln Ukraińców i emigracji 6,9 mln z nich

0,24 mln t metanu

mogło zostać wyemitowane w wyniku uszkodzenia ukraińskiej infrastruktury wydobycia, magazynowania i przesyłu gazu w miesiącach marzec-sierpień 2022 r.

4000 MW

odnawialnych źródeł energii, czyli 24 proc. ukraińskich mocy zainstalowanych OZE, mogło zostać uszkodzonych i zniszczonych podczas rosyjskiej inwazji na terytorium Ukrainy

Kluczowe wnioski

- **Całkowita wielkość emisji gazów cieplarnianych spowodowanych inwazją Rosji na Ukrainę w okresie luty-wrzesień 2022 r. mogła wynieść 98,1 mln t ekwiwalentu CO₂ w scenariuszu minimalnych emisji, 212,7 mln t w umiarkowanym i aż 326,9 mln t w scenariuszu maksymalnych emisji.** Koszty klimatyczne wojny szacujemy na 6,5-25,5 mld EUR. Rosyjska inwazja na Ukrainę spowodowała znaczne szkody środowiskowe i klimatyczne, których nadrobienie będzie wymagało wielu lat pracy wspólnoty międzynarodowej. Ostateczna ocena tych kosztów będzie możliwa po zakończeniu konfliktu.
- **Zielona odbudowa z udziałem UE, UK i USA może pozwolić uniknąć nawet 115 mln t emisji CO₂ i ograniczyć koszty klimatyczne wojny o 8,9 mld EUR.** Niska emisyjność gospodarek europejskich oraz transfer zielonych technologii umożliwiających szybką odbudowę zniszczonych i uszkodzonych mocy OZE będą mieć kluczowe znaczenie w ograniczeniu wpływu rosyjskiej inwazji na klimat.
- **Największy potencjał OZE w zielonej odbudowie Ukrainy będzie miała fotowoltaika i lądowa energetyka wiatrowa.** W latach 2016-2021 – przed rosyjską inwazją – liczba zainstalowanych elektrowni fotowoltaicznych w Ukrainie wzrosła ponad 8-krotnie (o 7000 MW), energii wiatrowej zaś ponad 3-krotnie (o 1200 MW). Długoterminowe inwestycje w tym sektorze mogą pomóc uniknąć emisji nawet 39,5 mln t CO₂ w latach 2022-2025 w porównaniu do sytuacji, w której Ukraina jest pozbawiona wsparcia inwestorów z państw UE i NATO.
- **Wartość emisji z pożarów lasów i terenów zabudowanych może wynieść nawet 27,4 mln t CO₂.** Jest to więcej niż przewidywana przez EEA emisja lotów wewnątrz unii europejskiej w latach 2022-2023 (23 mln t). Rosyjska inwazja niszczy tysiące hektarów ukraińskich obszarów leśnych i terenów chronionych. Według naszych szacunków powierzchnia spalonych lasów wynosi 50-305 tys. ha.

- **Największy udział w kosztach klimatycznych wojny w 2022 r. (w wariantcie umiarkowanym) będą mieć koszty odbudowy zniszczeń wojennych i gospodarki ukraińskiej (77 proc.)** w przypadku braku wsparcia zewnętrznego, ze względu na stosunkowo wysoką intensywność emisji tej gospodarki. Istotny wpływ na emisję będą mieć także koszty klimatyczne związane z wymuszonym rosyjską agresją przemieszczaniem się i pobytem ukraińskich uchodźców wojennych (10 proc.), pożarami lasów (6 proc.) i wstrzymaniem rozwoju ukraińskich OZE (6 proc.). Przemieszczenie sprzętu wojskowego i działania militarne mają niewielki udział w kosztach klimatycznych (poniżej 0,01 proc.) w porównaniu do skali zniszczeń, jakie spowodowały.

Wprowadzenie

Inwazja wojsk rosyjskich 24.02.2022. na Ukrainę dotknęła nie tylko ludzi, państwa i gospodarki. Inną, często pomijaną ofiarą działań wojennych, jest klimat i środowisko naturalne. Kryzysy klimatyczne wywołane przez działania wojenne niszczą zasoby niezbędne człowiekowi do życia i funkcjonowania.

Każdy konflikt napędza kolejny zgodnie z prawidłowością (Clark, Jorgenson, 2012) nazywaną „kieratem zniszczenia” (*Treadmill of destruction*)¹. Ocena skutków wojennych jest trudna, często niejednoznaczna i wymagająca złożonych oszacowań realizowanych w sytuacji niepewności. Powinna być jednak istotnym obszarem analizy kosztów, związanych z działaniami agresora i kraju broniącego się.

W raporcie przeanalizowaliśmy wieloaspektowy wpływ działań wojennych na terenie Ukrainy na klimat w okresie luty-wrze-

sień 2022 r. Ze względu na znaczne różnice w szacunkach ośrodków analitycznych, przedstawiliśmy trzy scenariusze: minimalnych, umiarkowanych i maksymalnych emisji, wykorzystując różne źródła i metodyki obliczeń. Jako koszty klimatyczne wojny rozumiemy łączne emisje CO₂ związane z przemieszczaniem się wojsk, niszczeniem sprzętu wojskowego obu stron konfliktu (opisywane w pierwszej części raportu), pożarami obszarów leśnych i zabudowanych (analizowane w drugiej części), zniszczeniami infrastruktury energetycznej (trzecia część), przemieszczaniem się migrantów wojennych (czwarta część), odbudową zniszczeń wojennych (piąta część), kosztami opóźnienia rozwoju ukraińskich OZE i wydłużającą się perspektywą odbudowy i modernizacji ukraińskiego sektora energetycznego (szósta część raportu).

W raporcie podjęliśmy próbę oszacowania emisji CO₂ spowodowanych ruchami wojsk oraz niszczeniem ukraińskiego i rosyjskiego sprzętu wojskowego. Szacunki NASA i rządu Ukrainy, a także dane o anomaliiach termicznych systemu NASA FIRMS i dane o pożarach lasów EFFIS, wykorzystaliśmy do oszacowania skali zniszczeń ukraińskich terenów leśnych i ich wpływu na

¹ „Kierat zniszczenia” to mechanizm samonapędzania się procesów rywalizacji o ograniczone zasoby, militaryzacji, konfliktów zbrojnych, kosztów środowiskowych i klimatycznych i kryzysów ekonomicznych. Po raz pierwszy tego terminu użyli Gregory Hooks, Chad Smith wywodząc je z myśli krytycznej amerykańskiego socjologa Charlesa Wrighta Millsa oraz pojęcia „kieratu produkcji” przypisywanego amerykańskiemu socjologowi Allanowi Schnaibergowi. Termin został zdefiniowany po raz pierwszy w 2005 r. w artykule naukowym Hooksa i Smitha „Treadmills of Production and Destruction” (Hooks, Smith, 2005).

klimat. Dane dotyczące funkcjonowania ukraińskiego systemu przesyłowego i doniesienia o zniszczonych magazynach ropy były podstawą do analizy emisji gazów cieplarnianych związanych z niszczeniem zapasów ropy i gazu i rozszczelnieniem gazociągów. Kolejnym źródłem, wykorzystywanym do analizy klimatycznego wpływu migracji, które wymusiła wojna, są dane Wysokiego Komisarza Narodów Zjednoczonych ds. Uchodźców.

Skale zniszczeń wojennych, koszty odbudowy i modelowanie scenariusza rozwoju ukraińskich OZE pozwalają oszacować klimatyczne znaczenie zielonej odbudowy oraz wsparcie, które powinna otrzymać Ukraina po zakończeniu konfliktu. Uzyskane wyniki przedstawiają obraz skali klimatycznego wpływu inwazji na Ukrainę. W raporcie wyceniliśmy nieznane wcześniej koszty klimatyczne, związane z rosyjską agresją.



Dodatkowe emisje gazów cieplarnianych spowodowane rosyjską inwazją

Emisje związane z koncentracją, przemieszczaniem i utrzymaniem rosyjskich sił zbrojnych

Obliczenie dokładnych wielkości emisji związanych z przemieszczaniem się i działalnością sił zbrojnych wymagałoby pełnej informacji o liczebności, uzbrojeniu i położeniu wojsk, dlatego zazwyczaj nie jest to możliwe, nie tylko w trakcie trwania rosyjskiej inwazji na Ukrainę, ale wiele lat po jego zakończeniu. Siły zbrojne nie podają emisji związanej ze swoimi operacjami, a badacze zgłębiający tę problematykę bazują na ogólnych założeniach i oszacowaniach (Michaelowa i in., 2022). Ponieważ jednak operacje wojsk są nieodłącznym elementem każdego konfliktu zbrojnego, zestawienie kosztów klimatycznych wojny powinno uwzględniać przynajmniej przybliżone szacunki w tym zakresie.

Można wskazać trzy główne rodzaje emisji związane z ruchem i działaniem wojsk:

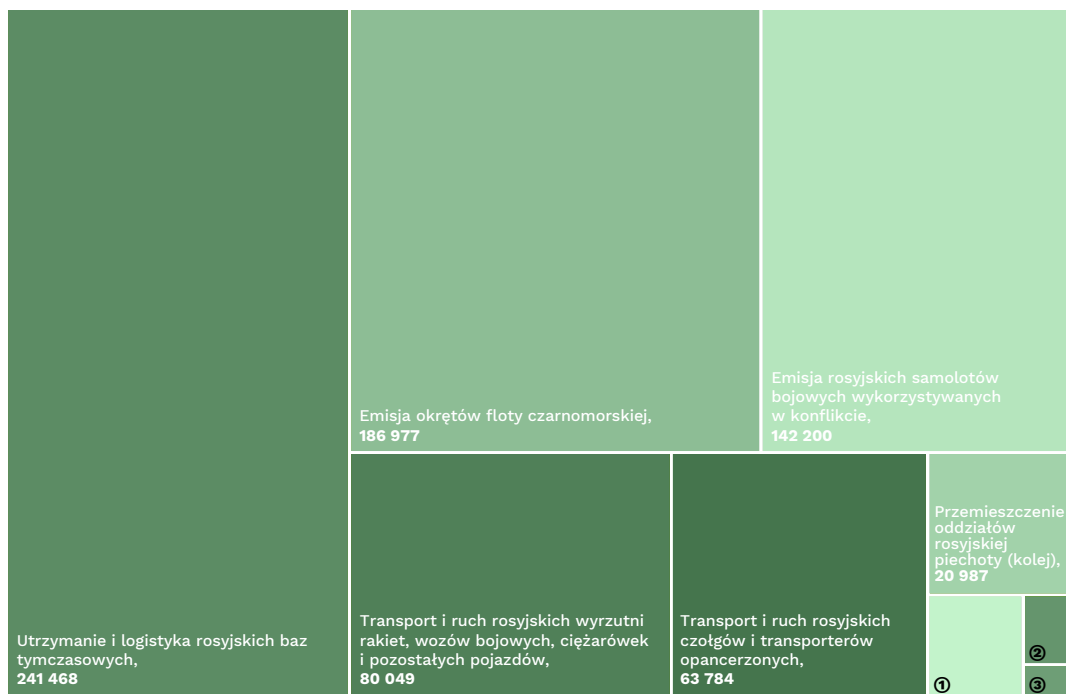
1. Emisje gazów cieplarnianych związane z koncentracją, przemieszczaniem się i utrzymaniem rosyjskich sił zbrojnych zaangażowanych w inwazję na terytorium Ukrainy i Federacji Rosyjskiej,
2. Emisje gazów cieplarnianych związane z ruchem ukraińskich sił zbrojnych, zmuszonych do obrony własnego terytorium,
3. Emisje gazów cieplarnianych w wyniku zniszczenia sprzętu ciężkiego, wykorzystywanego przez obie strony.

Spowodowane rosyjską inwazją działania generujące emisje zaczęły się jeszcze przed rozpoczęciem agresji 24.02.2022. Skoncentrowane na granicy rosyjskie siły zbrojne, liczące między 150 tys. (www1) a 170 tys. żołnierzy (www2), musiały zostać przetransportowane na terytorium Rosji, zaopatrzone i przeciwiczone przed atakiem. Eksperci z ukraińskiego przedsiębiorstwa doradczego ТОВ «КТ-Енергія» oszacowali w lutym 2022 r. wielkość emisji wynikających z koncentracji wojsk w okresie 12.2021-02.2022 (60 dni) na 136 tys. t CO₂. Zazaczyli jednak niepełny charakter obliczeń, w tym pominięcie sił powietrznych (www3) ze względu na trudności w ich monitorowaniu,

a także uwzględnianie ruchu jedynie 6 z 20 jednostek floty czarnomorskiej (www4).

Założenia autorów opracowania dotyczącego emisyjności poszczególnych rodzajów rosyjskich sił zbrojnych (www5) wykorzystaliśmy do oszacowania wielkości emisji wynikających z działań w okresie poprzedzającym eskalację oraz w pierwszych miesiącach inwazji. Obliczenia przeprowadzono dla koncentracji wojsk rosyjskich w okresie 12.2021-02.2022 i działań zbrojnych w okresie 02-07.2022.

Wykres 1. Emisje CO₂ wywołane koncentracją i przemieszczeniami wojsk rosyjskich i ukraińskich w okresie 12.2021-06.2022 (w t)



- ① Emisja ukraińskich samolotów bojowych wykorzystywanych w konflikcie, **10 087**
- ② Zaopatrzenie rosyjskich sił zbrojnych, **3 566**
- ③ Zaopatrzenie ukraińskich sił zbrojnych, **1 748**

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie metodyki kt-energy.com.ua oraz danych europarl.europa.eu i globalfirepower.com.

Łączną wielkość emisji wywołanych działalnością rosyjskich sił zbrojnych na podstawie przedstawionych wyników można oszacować na 751 tys. t CO₂.

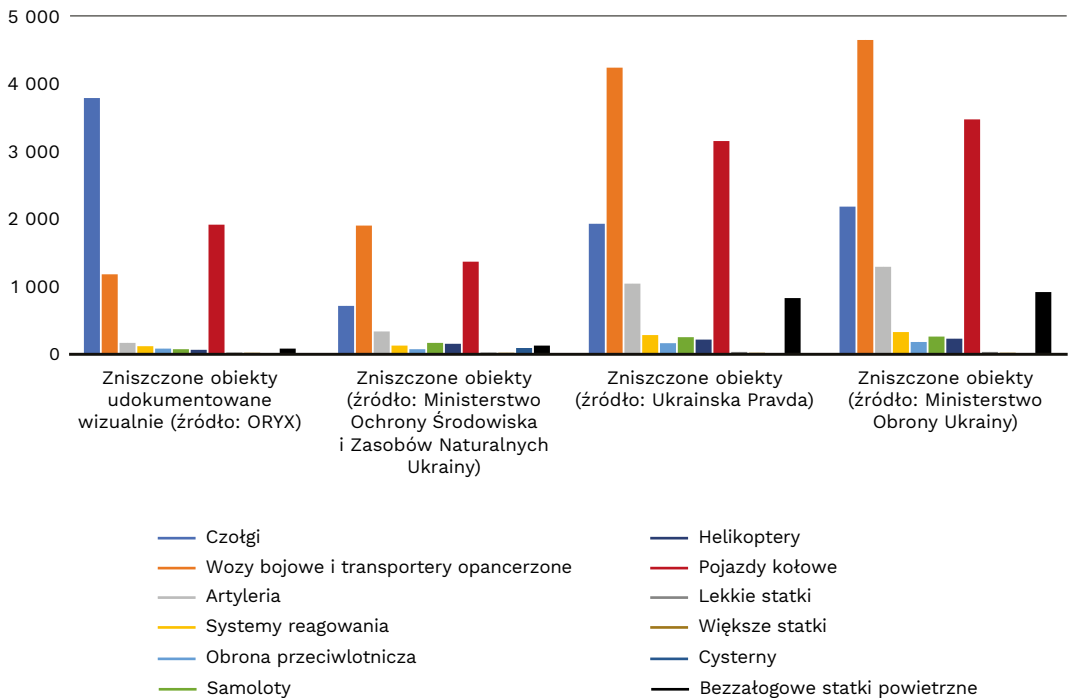
Najistotniejsze znaczenie miała logistyka związana z zapatrzeniem i utrzymaniem rosyjskich baz i sił zbrojnych (łącznie 245 tys. t CO₂), aktywność rosyjskich samolotów bojowych (142 tys. t CO₂), działania okrętów floty czarnomorskiej (187 tys. t CO₂) i wykorzystanie przez Rosjan samolotów bojowych

(co najmniej 142 tys. t CO₂). Emisje wojsk ukraińskich są trudniejsze do oszacowania ze względu na brak adekwatnych opracowań. W raporcie uwzględniliśmy aktywność sił powietrznych Ukrainy (znacznie niższą niż sił rosyjskich) (www6) i koszty zaopatrzenia sił zbrojnych. Pominęliśmy natomiast relokację wojsk rosyjskich i ukraińskich na terenie Ukrainy ze względu na nieznaczny wpływ na wielkość emisji gazów cieplarnianych.

Emisje w wyniku zniszczenia rosyjskiego i ukraińskiego sprzętu ciężkiego

Niszczenie sprzętu wojskowego to jedno z bardziej dostrzegalnych źródeł emisji gazów cieplarnianych. Strony konfliktu zazwyczaj z opóźnieniem informują o własnych stratach, ponieważ dane te są bezpośrednio związane z oceną przebiegu działań wojennych. Znaczne różnice między ukraińskimi i rosyjskimi szacunkami próbowaliśmy uwzględnić przez zestawienie danych z różnych źródeł.

Wykres 2. Zniszczony rosyjski sprzęt wojskowy na dzień 16.09.2022 r. (liczba obiektów)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ORYX, Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Ukrainy, gazety Ukraińska Pravda oraz Ministerstwa Obrony Ukrainy.

Wartości uzyskane z poszczególnych źródeł różnią się zarówno w obszarze typu, jak i ilości zniszczonego uzbrojenia. Ze względu na podobieństwo ukraińskiego i rosyjskiego sprzętu wojskowego wykorzystanego w pierwszym etapie wojny, przyjęliśmy podobne wskaźniki emisji gazów cieplarnianych.

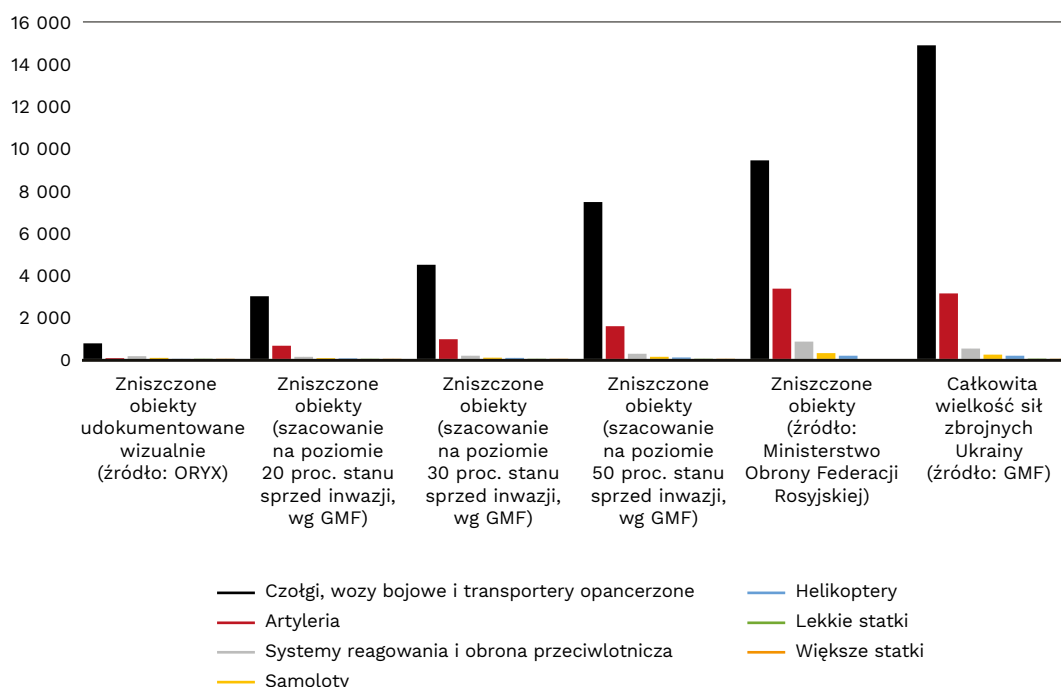
Tabela 1. Porównanie emisji CO₂ ze zniszczonego sprzętu wojskowego Federacji Rosyjskiej (w t)

Rodzaj obiektu	Emisja (w t CO ₂ / zniszczony obiekt) (www5)	Emisje ze zniszczonych obiektów udokumentowanych wizualnie (ORYX; www7)	Emisje ze zniszczonych obiektów (Ministerstwo Zasobów Naturalnych Ukrainy)	Emisje ze zniszczonych obiektów (Ukraińska Prawda; www8)	Emisje ze zniszczonych obiektów (Ministerstwo Obrony Ukrainy; www9)
Czołgi	3,76	14 243	2 624	7 215	8 178
Wozy bojowe i transportery opancerzone	1,45	1 694	2 742	6 147	6 745
Artyleria	1,73	260	557	1785	2213
Systemy reagowania	2,33	238	252	620	725
Obrona przeciwlotnicza	1,83	121	101	265	302
Samoloty	35,93	1 940	5 390	8 408	8 767
Helikoptery	4,57	215	617	905	973
Pojazdy kołowe	0,53	1 011	720	1 669	1 839
Lekkie statki	500,65	3 505	3 004	7 009	7 009
Większe statki	15,11	15	15	15	15
Cysterny	0,12	0	9	0	0
Bezzałogowe statki powietrzne	0,02	1	2	16	18
Suma emisji ze zniszczonych obiektów	-	23 241	16 032	34 054	36 784

Źródło: opracowanie własne PIE.

Zniszczenia po stronie ukraińskiej są w znacznie mniejszym stopniu dokumentowane wizualnie (www5). Wykonaliśmy ogólne oszacowania na podstawie przyjętej procentowej wartości zniszczonego ukraińskiego potencjału wojskowego. Dane o ukraińskich stratach, podawane przez Ministerstwo Obrony Federacji Rosyjskiej (www10), przewyższają całkowitą wielkość potencjału Ukrainy, co czyni je mało wiarygodnymi, podobnie jak rozpowszechniane przez rosyjskie agencje prasowe informacje (www11; www12), które sugerowały zniszczenie połowy potencjału wojskowego Ukrainy.

Wykres 3. Zniszczony ukraiński sprzęt wojskowy na dzień 16.09.2022 r. (liczba obiektów)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ORYX, GMF oraz Ministerstwa Obrony Federacji Rosyjskiej.

Według oficjalnych danych Ministerstwa Obrony Federacji Rosyjskiej, Rosjanie mieli zniszczyć 273 spośród 206 istniejących ukraińskich samolotów oraz 148 z 146 ukraińskich helikopterów. Podważa to wiarygodność podawanych danych, w szczególności, że wizualna dokumentacja tych działań ma charakter sporadyczny. Z tego powodu nie wykorzystaliśmy danych rosyjskiego Ministerstwa Obrony do dalszych obliczeń. Przedstawiliśmy je jednak w tabeli ze względów poglądowych.

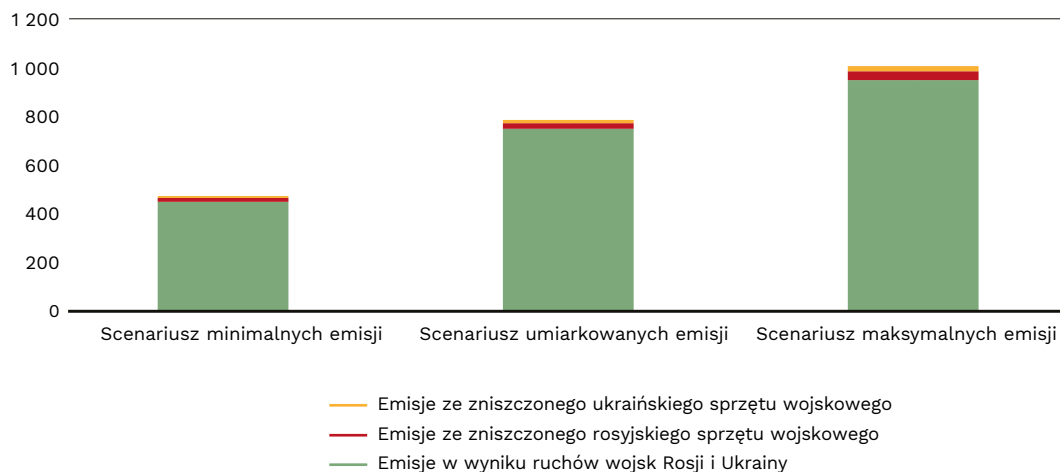
Tabela 2. Porównanie emisji CO₂ ze zniszczonego sprzętu wojskowego Ukrainy (w t)

Rodzaj obiektu	Emisja (w t CO ₂ / zniszczony obiekt) (www5)	Emisja z obiektów z dowodami wizualnymi (ORYX; www13)	Emisja z obiektów (zniszczenia szacowane na poziomie 20 proc. stanu sprzed inwazji, wg GMF; www14)	Emisja z obiektów (zniszczenia szacowane na poziomie 30 proc. stanu sprzed inwazji, wg GMF; www14)	Emisja z obiektów (zniszczenia szacowane na poziomie 50 proc. stanu sprzed inwazji, wg GMF; www14)	Emisja ze zniszczonych obiektów (Ministerstwo Obrony Federacji Rosyjskiej; www15)
Czołgi, wozy bojowe i transportery opancerzone	1,85	1 358	5 513	8 270	13 783	17 449
Artyleria	1,73	73	1 074	1 612	2 688	5 778
Systemy reagowania i obrona przeciwlotnicza	1,97	250	193	290	483	1 613
Samoloty	35,93	1 617	1 473	2 228	3 701	9 809
Helikoptery	4,57	50	133	201	334	676
Lekkie statki	2,52	10	8	10	18	
Większe statki	9,44	28	9	9	19	
Suma emisji ze zniszczonych obiektów	-	3 386	8 403	12 620	21 024	35 326

Źródło: opracowanie własne PIE.

Ze względu na znaczne rozbieżności w omawianych danych, wyróżniliśmy trzy warianty emisji związanych z dotychczasowymi działaniami wojennymi. W scenariuszu minimalnych emisji przyjęte działania wojenne stanowią logistyczną kontynuację manewrów wojsk rosyjskich sprzed wojny. Wariant umiarkowany uwzględnia informacje podawane przez stronę ukraińską, dotyczące skali zniszczonego sprzętu rosyjskiego i dodatkowe koszty klimatyczne, związane ze stacjonowaniem i utrzymywaniem wojsk rosyjskich na terenie Ukrainy. Scenariusz maksymalnych emisji zakłada, że oprócz zidentyfikowanych kosztów działalności i zniszczeń, możliwe są niedoszacowania w obszarze ruchów wojsk, przekładające się na wyższe spalanie paliw kopalnych i większe koszty związane z logistyką.

Wykres 4. Łączna emisja CO₂ z działań wojennych (w tys. t)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ORYX, Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Ukrainy, gazety Ukrainska Pravda, Ministerstwa Obrony Ukrainy oraz GMF.

W scenariuszu minimalnych emisji całkowita wielkość emisji została oszacowana na około 474 tys. t, w wariantcie umiarkowanym na 786 tys. t, w wariantcie maksymalnym na 1007 tys. t CO₂. Zestawienie emisji z ruchów wojsk i zniszczonego sprzętu obydwu stron wskazuje, że logistyka działań wojennych ma większy wpływ na klimat niż emisje z niszczenia wykorzystywanych czołgów, samolotów czy statków. W każdym z analizowanych wariantów emisje związane z niszczeniem sprzętu odpowiadają za ok. 5 proc. całkowitego kosztu klimatycznego działań wojennych. Największe emisje gazów cieplarnianych wynikają z zaopatrzenia, organizacji działań militarnych, ruchu samolotów i okrętów wojennych.

Emisje gazów cieplarnianych w wyniku pożarów wywołanych wojną

Bombardowania, wymiana ognia, utrudnienia w funkcjonowaniu służby pożarnej, chaos wywołany wojną i celowe niszczenie ekosystemu w celu wywarcia presji psychologicznej to niektóre przyczyny nasilania się pożarów w okresie konfliktów zbrojnych.

Według NASA ponad 100 tys. ha lasów mogło zostać spalonych podczas pierwszych czterech miesięcy rosyjskiej inwazji (www16). Ukraina w tym okresie miała odnotować 78 razy więcej alarmów pożarowych niż w analogicznych okresach w latach poprzednich (www17). Według szacunków Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy w okresie 24.02-20.07.2022 spaleni uległo około 8,3 tys. ha lasów (www5) (dane na dzień 20.07.2022). Tak istotne różnice w szacunkach eksperckich muszą prowadzić do różnych wielkości emisji gazów cieplarnianych, wygenerowanych przez pożary w trakcie trwania inwazji rosyjskiej.

W raporcie przyjęliśmy trzy sposoby obliczania potencjalnych emisji gazów cieplarnianych wywołanych przez pożary. Pozwala to krytycznie spojrzeć na wyniki oszacowań poszczególnych grup ekspertów i zbalansować efekty potencjonalnego zawyżenia lub zaniżenia skali zniszczeń i wywołanych nimi emisji. W pierwszej metodyce wykorzystaliśmy założenia ukraińskiego Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych (www5). W drugiej metodyce wykorzystaliśmy dane pochodzące z prowadzonego przez NASA monitoringu pożarowego (*Fire Information for Resource Management System*, FIRMS) polegającego na obrazowaniu termicznym w podczerwieni danych radiometrycznych (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*, VIIRS) (www18), porównując je z danymi Europejskiego Systemu Informacji o Pożarach Lasów (EFFIS) dla Ukrainy (www19). Trzecią metodykę oparliśmy na dotychczasowych doświadczeniach historycznych (Toon i in., 2007) w zakresie szacowania emisji wywołanych przez zniszczenia wojenne (Owen, Toon, Turco, 2008) dla przyjętej szacunkowej powierzchni zniszczeń.

W pierwszej metodyce wykorzystano deklaracje NASA oraz Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy. Obie instytucje podały szacunki dotyczące skali spowodowanych inwazją zniszczeń wywołanych przez pożary na terenach leśnych oraz pozostałych (przede wszystkim zabudowanych). Następnie na podstawie wskaźników emisyjności pożarów zaproponowanych przez Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy obliczono szacunkowe wartości emisji. Jest to metoda uproszczona, dająca ogólny wgląd w skalę emisji według oficjalnych deklaracji.

Tabela 3. Metodyka 1. Emisja CO₂ w wyniku pożarów szacowana na podstawie przyjętych współczynników emisji

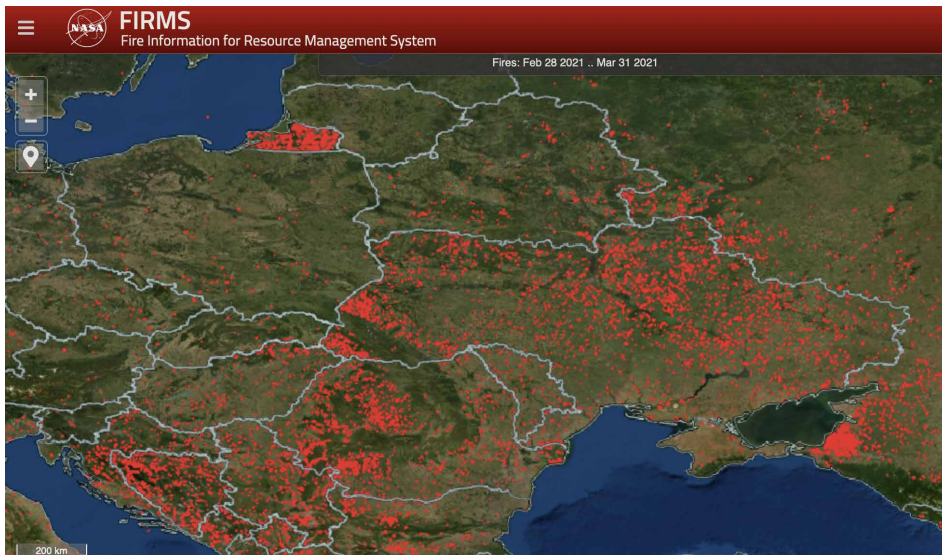
Etapy obliczeń	Wariant 1. Szacunki Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych UA	Wariant 2. Szacunki NASA
Obszary uszkodzone w wyniku pożarów (w ha)	59 574 (lasy) 5 430 (pozostałe obszary)	ok. 100 000 (lasy)
Przyjęta emisja dla pożarów lasów (w t CO ₂ /ha) (Bartowitz i in., 2022; www5)	90	90
Przyjęta emisja dla pozostałych obszarów (w t CO ₂ /ha) (www5)	793,5	nie dotyczy
Łączne emisje w wyniku pożarów (w mln t CO ₂)	9,7	9,0

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie szacunków NASA oraz Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy.

Druga metodyka polegała na analizie statystycznej nadreprezentacji anomalii termicznych na terenie Ukrainy w czasie prowadzenia działań wojennych. Celem było stwierdzenie o ile więcej obiektów i obszarów płonęło podczas rosyjskiej inwazji niż w analogicznych okresach w poprzednich latach.

Mapa 1. Anomalie termiczne na terenie Ukrainy w marcu w latach 2021-2022

Rok 2021



Rok 2022

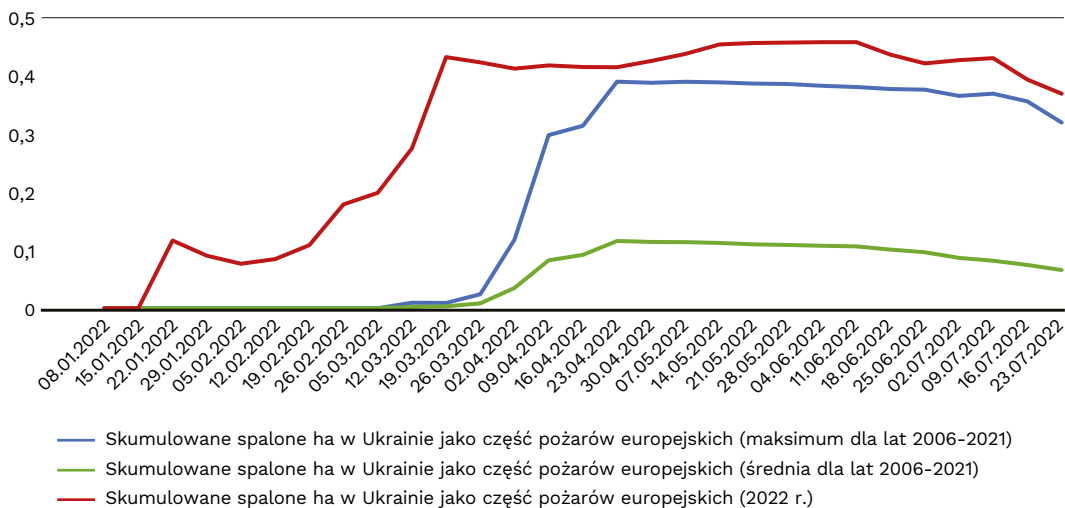


Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie firms.modaps.eosdis.nasa.gov [dostęp: 09.10.2022].

Do oszacowania rozmiaru pożarów na terenie Ukrainy spowodowanych inwazją wykorzystaliśmy dane z systemu FIRMS, porównując anomalie termiczne w latach 2021-2022. Dzienna moc (frp) anomalii termicznych w Ukrainie w 2022 r. była ponad dwukrotnie większa r/r (404 MW/dzień w 2021 r. wobec 1108 MW/dzień w 2022 r.). W Europie moc anomalii termicznych wzrosła z 6558 MW/dzień w 2021 r. do 10 692 MW/dzień w 2022 r. Moc anomalii termicznych na terenie Ukrainy stanowiła 6,16 proc. europejskich anomalii termicznych w 2021 r. i aż 10,37 proc. w 2022 r. Inwazja rosyjska spowodowała wzrost tych anomalii i związanych z nimi emisji o około 40,5 proc. Przy takich założeniach spośród 363 tys. ha, które uległy spaleniowi na terenie Ukrainy od rozpoczęcia inwazji 24.02.2022 r. (www19), około 147,3 tys. ha zostało spalonych w wyniku inwazji.

Podobne wyniki uzyskaliśmy, korzystając z danych z Europejskiego systemu informacji o pożarach lasów (EFFIS) (www19). Liczba spalonych hektarów lasów w Ukrainie była w miesiącach 02-07.2022 r. o 15 proc. wyższa od maksimum dla analogicznego okresu w latach 2006-2021. 59 proc. pożarów w Ukrainie w pierwszym półroczu 2022 r. miało miejsce w marcu, podczas gdy w latach 2006-2021 jedynie 3,6 proc. pożarów pierwszego półrocza miało miejsce w tym miesiącu.

Wykres 5. Skumulowana liczba hektarów spalonych lasów na terenie Ukrainy w okresie styczeń-lipiec 2022 r. jako część skumulowanej liczby hektarów spalonych lasów w Europie w okresie styczeń-lipiec latach 2006-2022



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Europejskiego systemu informacji o pożarach lasów (EFFIS).

Tabela 4. Metodyka 2. Emisja CO₂ w wyniku pożarów szacowana na podstawie przyjętych współczynników emisji

Etapy obliczeń	Wariant 1. Obliczenia PIE na podstawie monitoringu anomalii termicznych NASA FIRMS	Wariant 2a. Obliczenia PIE na podstawie danych EFFIS (nadreprezentacja pożarów w Ukrainie w 2022 r. względem maksimum 2006-2021, scenariusz minimalnych emisji)	Wariant 2b. Obliczenia PIE na podstawie danych EFFIS (nadreprezentacja pożarów w Ukrainie w 2022 r. względem średniej z lat 2006-2021, scenariusz maksymalnych emisji)
Powierzchnia lasów spalonych w wyniku inwazji rosyjskiej (w tys. ha)	147,3	49,8	304,8
Przyjęta emisja dla pożarów lasów (w t CO ₂ /ha) (Bartowitz i in., 2022; www5)	90	90	90
Łączne emisje w wyniku pożarów (w mln t CO ₂)	13,3	4,5	27,4

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych EFFIS i NASA FIRMS.

Zestawienie wyników analiz opartych na danych FIRMS i EFFIS wskazuje na znaczną nadreprezentację statystyczną pożarów w Ukrainie na tle Europy względem lat ubiegłych. Porównanie pozwala oszacować, że 49,8-304,8 tys. ha ukraińskich lasów zostało zniszczonych w wyniku pożarów spowodowanych rosyjską inwazją. Odpowiada to emisjom od 4,5 mln t CO₂ (scenariusz minimalnych emisji) do 27,4 mln t CO₂ (scenariusz maksymalnych emisji).

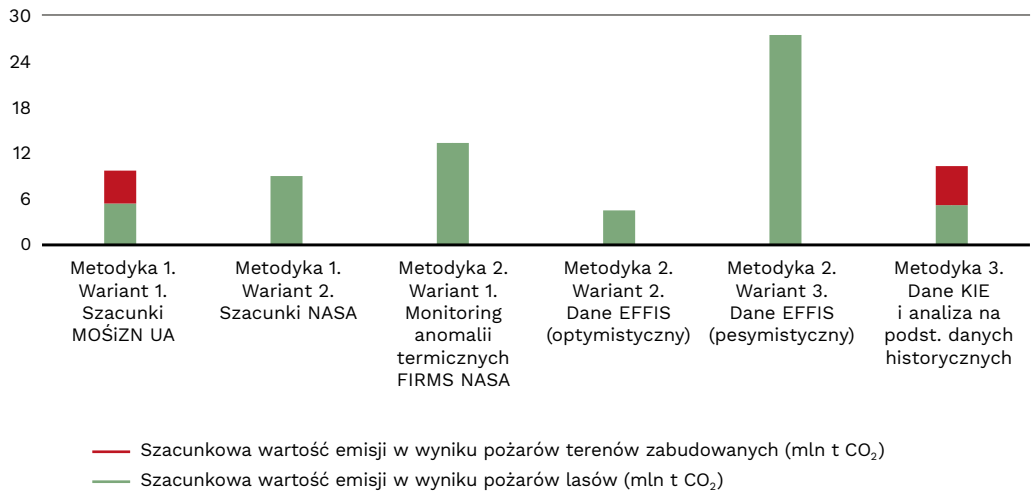
Trzecia metodyka opiera się na wykorzystaniu dotychczasowych doświadczeń historycznych (Toon i in., 2007) w szacowaniu emisji wywołanych przez zniszczenia wojenne (Owen, Toon, Turco, 2008). Dla przyjętej powierzchni i gęstości zaludnienia zniszczonych terenów zabudowanych obliczyliśmy zniszczoną masę substancji palnych ze wzoru (1) (Owen, Toon, Turco, 2008).

$$M_t = 1,1 \times 10^4 \frac{kg}{osoba \times gęstość\ zaludnienia} + 8,0 \times 10^6 \frac{kg}{km^2} \quad (1)$$

W obliczeniach uwzględniliśmy emisje wygenerowane dla wybranych powierzchni w wyniku działań wojennych oraz pożarów. Metodyka ta pozwala uwzględnić potencjalnie wyższe emisje związane ze zniszczeniami obiektów znajdującymi się na terenach miejskich (co najmniej 2300 obiektów) (www20). Źródłem informacji o zniszczeniach w tej metodyce są analizy Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii (IKSE). Instytut od początku inwazji korzysta z doniesień (www21) dotyczących zniszczeń wojennych spowodowanych przez rosyjskie siły zbrojne (Instytut Kijowskiej Szkoły

Ekonomii, 2022). Szacujemy, że co najmniej 5,2 mln t CO₂ wygenerowały zniszczenia na obszarze 54,3 km², zamieszkałym przez ok. 125 tys. osób. Dodatkowo IKSE zakłada, że wielkość obszarów leśnych zniszczonych w wyniku inwazji sięgnęła 7109 ha (ok. 5,1 mln t CO₂). Łączna wartość emisji w wyniku pożarów oszacowana na podstawie tej metodyki wyniosła 10,3 mln t CO₂.

Wykres 6. Emisje CO₂ spowodowane pożarami lasów i terenów zabudowanych (w mln t)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie obliczeń zrealizowanych w oparciu o dane Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy, NASA, systemu NASA FIRMS, EFFIS oraz Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii.

Zestawienie wyników uzyskanych dla poszczególnych metodyk obliczeń wskazuje na znaczne rozbieżności dotyczące skali zniszczeń terenów leśnych i związanych z nimi emisji, szacowanych na 4,5-27,4 mln t CO₂. Emisje związane ze zniszczeniami terenów miejskich wydają się mieć marginalny wpływ na klimat. Stosunkowo najniższe wyniki oszacowania bazujące na danych Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii i rządu Ukrainy, szacujące wielkość zniszczonych terenów leśnych na 7-8 tys. ha i wynikające z nich emisje wielkości 9,7-10,3 mln t CO₂. **Według szacunków NASA oraz analiz PIE na podstawie monitoringu anomalii termicznych NASA FIRMS, zniszczenia wojenne na poziomie 100 tys.-147 tys. ha obszarów leśnych spowodowały emisje rzędu 9,02-13,3 mln t CO₂.** Różnice w wielkości emisji w analizach na podstawie modelu EFFIS (4,5 mln-27,4 mln t CO₂) wynikają z trudności zidentyfikowania skali statystycznej nadreprezentacji ukraińskich pożarów w porównaniu z okresem 2006-2022 (49,8 tys. ha ponad maksimum z lat 2006-2021, 304,8 tys. ha ponad średnią z lat 2006-2021).

Zniszczenie zapasów ropy i gazu, rozszczelnienie gazociągów

Celowe i przypadkowe niszczenie zapasów ropy i gazu, a także infrastruktury wydobywczej, przesyłowej i magazynowej, jest istotnym źródłem emisji w trakcie każdego konfliktu zbrojnego. Podczas pierwszej wojny w Zatoce Perskiej wielkość emisji z płonących pól naftowych przekraczała 1,8 mln t CO₂ dziennie (Hobbs, Radke, 1992), zwiększając w latach 1991-1992 światową emisję ze spalania paliw kopalnych o 2 proc. (Linden, Jerneloef, Egerup, 2004). Ze względu na niszczenie infrastruktury naftowej i gazowej podczas działań wojennych wojsk rosyjskich (www22) i ukraińskich (www23), często za pomocą celowych ataków (www24), nie należy wykluczać emisji związanych ze spalaniem części zapasów zgromadzonych w magazynach podczas działań wojennych (www25).

Paliwa są zasobem strategicznym, często decydującym o sile i militarnej pozycji państwa (Erickson, 1978). W interesie państw jest ograniczone informowanie o własnych stratach, które mogłyby świadczyć o niekorzystnym przebiegu wojny. W raporcie przyjęliśmy trzy warianty obliczeń emisji związanych z niszczeniem zapasów ropy i gazu:

- szacunki ukraińskiego rządu,
- scenariusz minimalnych emisji, zakładający zniszczenie części zapasów ukraińskich i rosyjskich w regionie,
- scenariusz maksymalnych emisji, uwzględniający częściowe rozszczelnienie infrastruktury.

Tabela 5. Przyjęte współczynniki emisji CO₂ ze spalania paliw

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa (w GJ/kg)	Wielkość emisji (w kg CO ₂ /GJ)	Emisja dwutlenku węgla w procesie spalania (kg CO ₂ /kg spalanego paliwa)
Gaz ziemny	0,0480	55,3	2,66
Ropa naftowa	0,0423	73,3	3,10
Olej napędowy	0,0430	74,1	3,19
Benzyny silnikowe	0,0443	69,3	3,07
Benzyny lotnicze	0,0443	70,0	3,10

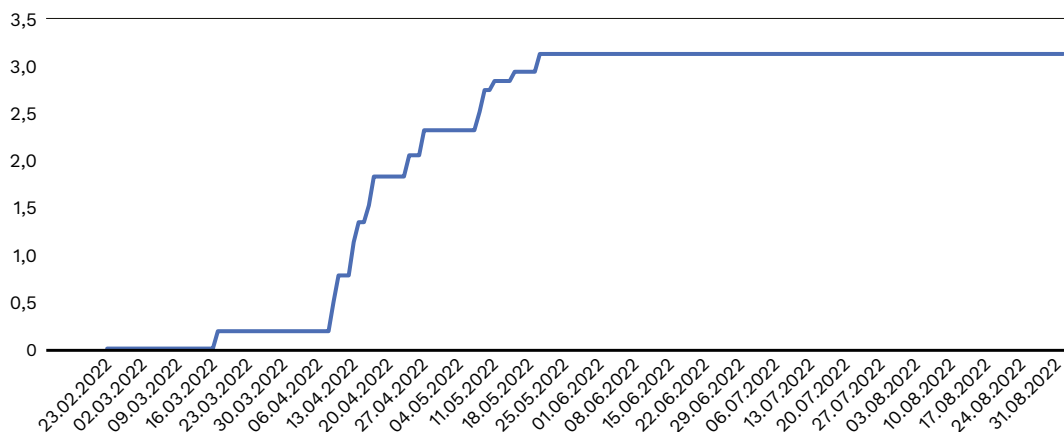
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych KOBIZE.

Ministerstwo Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych przyjmuje, że w działaniach wojennych w okresie 24.02.2022-29.08.2022 zniszczono 144,3 tys. t paliw, co przekłada się na emisje rzędu 0,499 mln t CO₂. Na tej podstawie przyjęliśmy ogólny współczynnik emisyjności spalania paliw na poziomie 3,46 kg CO₂/kg paliwa, czyli nieco więcej niż współczynniki proponowane przez KOBIZE (2020).

Dane Gas Infrastructure Europe nie wskazują na spadek dostępnej pojemności magazynowej, która utrzymywała się na poziomie 322-325 TWh (www26). Analitycy Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii wskazywali jednak na trend odwrotny – ze względu na wywołany wojną spadek konsumpcji przemysłowej gaz był zatlaczany do podziemnych magazynów (www27). W okresie od marca do września 2022 r. ilość gazu w ukraińskich magazynach wzrosła o 97 proc., z 44,9 TWh do 88,6 TWh (www26). Mimo kosztów ekonomicznych takiej operacji (szacowanych przez IKSE na około 1000 USD/1000 Nm³ gazu, czyli 3,98 mld USD dla 43,7 TWh), oznaczałoby to redukcję emisji związanych z niespaleniem zmagazynowanego gazu w wysokości 8,8 mln t CO₂. Przyjmując zniszczenie 40 proc. ukraińskich zapasów ropy w wyniku działań wojennych, szacowanych przed inwazją na 1,0 mln m³ (www28) oraz spalanie 20 proc. zgromadzonych przed inwazją podczas działań wojennych (które byłyby nieuwzględnione w raportowanych danych), oznaczałoby to redukcję emisji 7,0 mln t CO₂, związaną ze spadkiem konsumpcji i eksportu gazu.

W scenariuszu maksymalnych emisji przyjęliśmy większą skalę zniszczeń pierwotnych zapasów ropy (ok. 0,8 mln m³), rozszczelnienie gazociągów (podczas ataków na infrastrukturę gazową, w tym gazociągów i stacji Szeblinka) (www29) i tłoczni (umożliwiających wykorzystanie punktu wejścia Sokhranowka) (www30), które powoduje bezpośrednią emisję metanu do atmosfery. Ukraiński operator systemu przesyłowego gazu ТОВ Оператор ГТС України od początku rosyjskiej inwazji raportował uszkodzenia i naprawy sieci dystrybucyjnej gazu na terenach okupowanych i atakowanych przez wojska rosyjskie (www31). W scenariuszu maksymalnych emisji zakładamy, że spadek zużycia nie miał istotnego wpływu klimatycznego w porównaniu do szkodliwych skutków klimatycznych wycieków gazu ziemnego do atmosfery w wyniku rozszczelnienia gazociągów i niszczenia infrastruktury. Ze względu na 25-krotnie wyższą szkodliwość metanu jako gazu cieplarnianego (www32), nawet niewielkie ilości mają poważny wpływ na klimat.

Wykres 7. Skumulowana wielkość gwałtownych spadków (>10 proc. d/d) dobowego przesyłu gazu z kierunków Sudża i Sokhranowka przez terytorium Ukrainy (w TWh)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ENTSOG.

Szacujemy, że wielkość ułotnionego metanu wyniosła 3,13 TWh, czyli 0,24 mln t, co stanowi ekwiwalent emisji 5,9 mln t CO₂. W okresie 17.03.-20.05.2022 zidentyfikowano 14 przypadków gwałtownego obniżenia (powyżej 10 proc. d/d) wartości przesyłu gazociągami. Założyliśmy, że są one spowodowane głównie przez rozszczelnienie infrastruktury, skutkujące uwolnieniem przesyłanego gazu ziemnego do atmosfery.

Tabela 6. Wartość ekwiwalentu emisji CO₂e związanych z uszkodzeniem infrastruktury ropy i gazu (w mln t CO₂e)

Warianty uszkodzeń infrastruktury gazowo-paliwowej Ukrainy	Pożary zapasów ropy	Pożary zapasów gazu	Ograniczenie przesyłu i przemysłowej konsumpcji gazu	Emisje metanu w wyniku rozszczelnienia infrastruktury gazowej	Suma
Wariant 1. Szacunki rządu Ukrainy	łącznie 0,5		-	-	0,5
Wariant 2. (scenariusz minimalnych emisji); szacunki PIE	1,1	0,7	-8,8	-	-7,0
Wariant 2. (scenariusz maksymalnych emisji). Częściowe rozszczelnienie infrastruktury gazowej; szacunki PIE	2,5	0,7	-	5,9	9,1

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych rządu Ukrainy, Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii oraz oszacowania oparte na doniesieniach i danych ENTSOG.

Wpływ rosyjskiej inwazji na emisje spowodowane wydobyciem, przesyłem i wykorzystaniem paliw kopalnych jest niejednoznaczny. Rząd Ukrainy szacuje koszt klimatyczny pożarów zapasów ropy naftowej na około 0,5 mln t ekwiwalentu CO₂. Wartość ta może być jednak zaniżona ze względu na przyjęcie stosunkowo niskiej wielkości łącznej zniszczonych paliw (144,3 tys. t CO₂e). W scenariuszu minimalnych emisji ich ograniczenie wynikające z obniżenia wydobycia i przemysłowej konsumpcji gazu ma istotniejsze znaczenie niż pożary zapasów ropy i gazu, co oznacza redukcję emisji o 7,0 mln t CO₂e. W scenariuszu maksymalnych emisji, uwzględniającym możliwość częściowego rozszczelnienia infrastruktury gazowej w wyniku działań wojennych, a także unikanie raportowania strat ze względu na rynkowe zainteresowanie zapasami gazu Ukrainy (www33), negatywny efekt rozszczelnień i pożarów przekłada się na emisje rzędu 9,1 mln t CO₂e.

Emisje w wyniku przymusowych migracji

Migracje są istotnym czynnikiem, składającym się na ponad 8 proc. globalnych emisji CO₂ (Liang i in., 2020). Masowe, niekontrolowane migracje, wywołane konfliktami zbrojnymi, generują emisje, przyczyniające się do zmian klimatycznych, a w konsekwencji – do dalszych konfliktów i migracji, składając się na samonapędzające się zjawisko społeczne, zwane „kieratem zagłady” (*treadmill of destruction*) (Hooks, Smith, 2004). Inwazja na Ukrainę spowodowała bezprecedensowe na skalę europejską przemieszczenia się ludności (Duszczyk, Kaczmarczyk, 2022). Według szacunków Wysokiego Komisarza Narodów Zjednoczonych ds. Uchodźców, w okresie luty-wrzesień 2022 r. 13,7 mln osób wyjeżdżało z Ukrainy, a do Ukrainy wjeżdżało 6,5 mln osób (www34). Ogólnie liczbę Ukraińców zmuszonych do migracji w wyniku inwazji rosyjskiej w okresie luty-sierpień 2022 r. szacowano na ok. 13,9 mln.

Wykres 8. Liczba uchodźców i przymusowych migrantów z Ukrainy na dzień 30.08.2022 przebywających na stałe za granicą, zarejestrowanych w poszczególnych państwach

Rosja, 2 414 075		Polska, 1 353 338	
Ukraina - uchodźcy wewnętrzni, 7 100 000		Wielka Brytania, 120 600	
Turcja, 145 000		Hiszpania, 139 116	
Słowacja, 90 612		Bułgaria, 77 114	
Czechy, 423 374		Holandia, 68 050	
Rumunia, 86 178		Portugalia, 49 623	
Włochy, 159 968		Litwa, 63 279	
		Irlandia, 46 481	
		Szwajcaria, 64 053	
		Łotwa, 36 912	
		Portugalia, 49 623	
		Irlandia, 46 481	
		Szwecja, 44 546	
		Belgia, 54 414	
		Finlandia, 36 652	
		Dania, 33 396	
		Estonia, 51 501	
		Austria, 79 728	

① Węgry, 29 027 ② Gruzja, 26 379 ③ Czarnogóra, 24 482 ④ Norwegia, 23 912 ⑤ Grecja, 18 745 ⑥ Chonwacja, 17 487 ⑦ Serbia, 17 458 ⑧ Cypr, 13 035 ⑨ Białoruś, 12 505 ⑩ Francja, 9 652

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Biura Wysokiego Komisarza Narodów Zjednoczonych ds. Uchodźców (www34).

Emisje wywołane migracjami wojennymi podzieliliśmy na spowodowane przemieszczaniem się uchodźców oraz ich pobytem na terenie państwa-gospodarza. W przypadku transportu uchodźców rozróżniliśmy ukraińskich uchodźców wewnętrznych (7,1 mln osób), przemieszczających się z terenów objętych działaniami w kierunku zachodnim, bez opuszczania terytorium Ukrainy oraz uchodźców decydujących się na emigrację (6,8 mln osób). Przyjęto 50 proc. wykorzystania transportu szynowego (kolej) i 50 proc. kołowego (busey).

Tabela 7. Emisje w wyniku wymuszonego wojną przemieszczania się uchodźców z Ukrainy do państw-gospodarzy podczas inwazji rosyjskiej

Państwo-gospodarz przyjmujące uchodźców	Liczba uchodźców	Przyjęta odległość (km)	Przyjęta emisyjność transportu (kolej i busy) (kg CO₂/pasażer*km)	Emisja CO₂ związana z przemieszczaniem się uchodźców (mln t CO₂)
Ukraina – uchodźcy wewnętrzni	7 100 000	700	0,09735	0,48
Rosja (w tym przymusowe przesiedlenia)	2 414 075	965	0,09735	0,23
Niemcy	971 000	1 790	0,09735	0,17
Polska	1 353 338	1 098	0,09735	0,14
Hiszpania	139 116	3 997	0,09735	0,05
Czechy	423 374	1 243	0,09735	0,05
Włochy	159 968	2 529	0,09735	0,04
Turcja	145 000	2 155	0,09735	0,03
Wielka Brytania	120 600	2 557	0,09735	0,03
Portugalia	49 623	4 050	0,09735	0,02
Irlandia	46 481	3 264	0,09735	0,01
Austria	79 728	1 831	0,09735	0,01
Szwajcaria	64 053	2 204	0,09735	0,01
Holandia	68 050	2 060	0,09735	0,01
Belgia	54 414	2 219	0,09735	0,01
Słowacja	90 612	1 220	0,09735	0,01
Szwecja	44 546	2 414	0,09735	0,01
Bułgaria	77 114	1 255	0,09735	0,01
Rumunia	86 178	922	0,09735	0,01
Pozostałe państwa	439 625	-	0,09735	0,08
Suma	13 926 895	-	0,09735	1,42

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych KE (www35) oraz modelu TRANSPASSPOL PIE (Maj, Miniszewski, Rabięga, 2022).

Najistotniejsze emisje wywołane transportem, szacowane na 1,42 mln t CO₂, są spowodowane przez przemieszanie się mas ludności na terytorium Ukrainy. Znaczna liczba uchodźców wewnętrznych (7,1 mln) przemieszczała się na względnie niewielkie odległości (do 700 km). Odpowiadało to za około 0,48 mln t CO₂ (34 proc. emisji z transportu uchodźców). Istotne znaczenie mają również emisje spowodowane przemieszczaniem się uchodźców do Rosji (która mimo agresji pozostaje istotnym kierunkiem migracyjnym ze względu na znaczną ukraińską diasporę w tym państwie oraz przymusowe przesiedlenia ludności ukraińskiej przez siły rosyjskie), Polski, Niemiec i Hiszpanii, odpowiedzialne za 0,59 mln t CO₂ i 42 proc. emisji z transportu uchodźców.

Tabela 8. Emisje uchodźców wynikające z przymusowego pobytu na terytorium państw-gospodarzy w 2022 r.

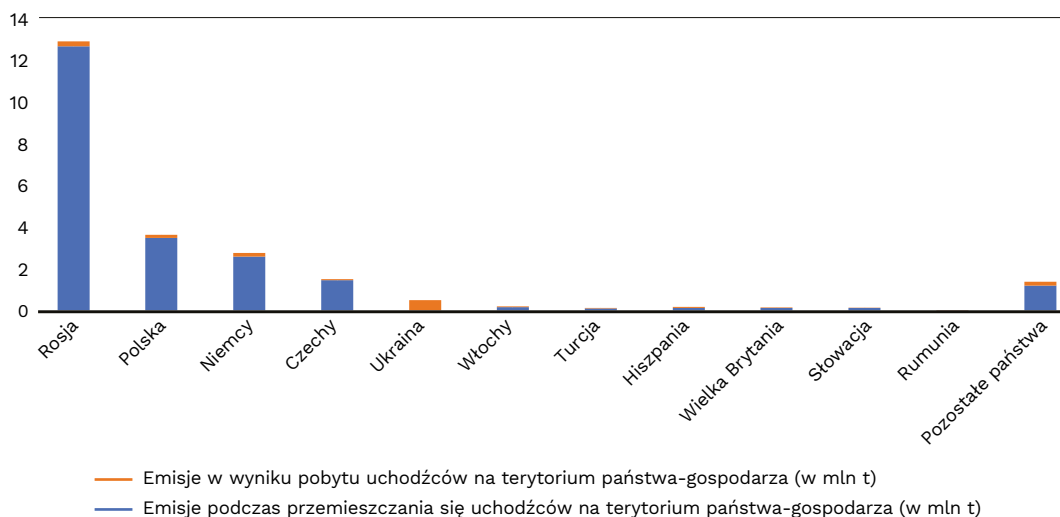
Państwo-gospodarz przyjmujące uchodźców	Liczba uchodźców	Dodatkowa emisja CO₂ w wyniku różnicy konsumpcji względem Ukrainy (3,94 t CO₂/osobę*rok)	Emisja CO₂ związana z pobytem uchodźców przez 8 miesięcy (mln t CO₂)
Rosja	2 414 075	7,86	12,65
Polska	1 353 338	3,84	3,46
Niemcy	971 000	3,98	2,58
Czechy	423 374	5,09	1,44
Włochy	159 968	1,37	0,15
Turcja	145 000	0,82	0,08
Hiszpania	139 116	1,15	0,11
Wielka Brytania	120 600	1,28	0,10
Słowacja	90 612	1,76	0,11
Rumunia	86 178	-0,12	-0,01
Pozostałe	923 852	-	1,18
Łącznie	6 827 113	-	21,84

Uwaga: przyjęto 8-miesięczny pobyt uchodźców w 2022 r. na terytorium państwa-gospodarza.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych UNHCR (www34) oraz World Development Indicators (www41).

Dodatkowe emisje spowodowane pobytem uchodźców za granicą zostały oszacowane na podstawie porównania Ukrainy i państw-gospodarzy w przeliczeniu na obywatela. Dodatkowa emisja jest wynikiem różnicy w emisyjności gospodarki państwa pobytu i Ukrainy, dlatego w przypadku części państw (Rumunia, Gruzja) ma niewielką wartość ujemną. Najistotniejsze znaczenie mają emisje spowodowane pobytem uchodźców na terenie Rosji, Polski i Niemiec, odpowiedzialne za 86 proc. emisji pobytowych (18,7 mln t CO₂). Wartość tych emisji byłaby ponad dwukrotnie większa (dodatkowe 25,4 mln t), gdyby ukraińscy uchodźcy wewnątrzni zdecydowali się wyjechać za granicę.

Wykres 9. Dodatkowe emisje CO₂ spowodowane przez migracje (w mln t)



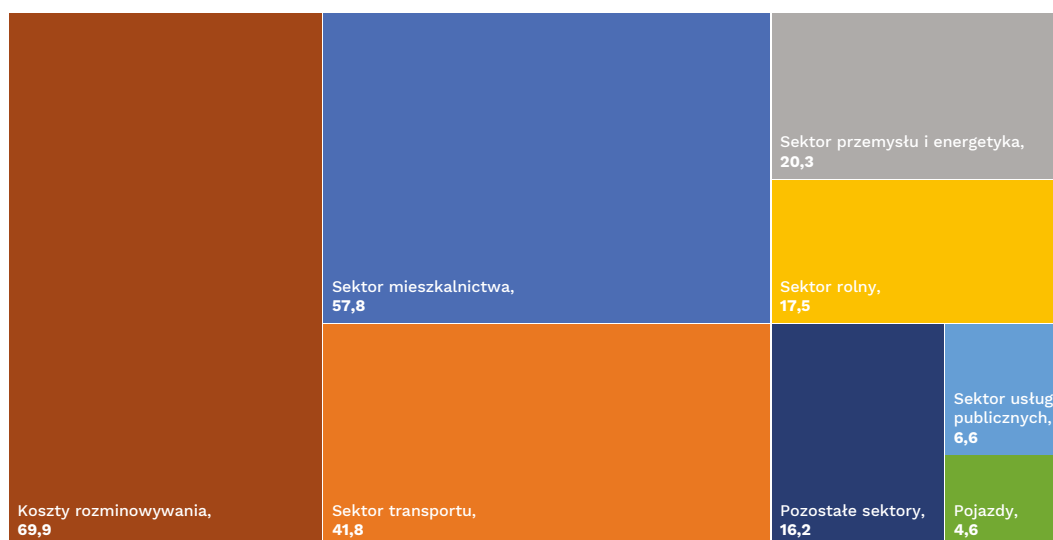
Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych UNHCR oraz WDI.

Łączną ilość dodatkowych emisji wywołanych dotychczasowym przemieszczaniem się i pobytem uchodźców szacujemy na 23,3 mln t CO₂. Ze względu na korzystanie przez wielu uchodźców z niskoemisyjnych form transportu, np. kolej, ich przemieszczanie się ma 15-krotnie mniejsze znaczenie od pobytu na terytorium państwa-gospodarza. Pobyt jest odpowiedzialny za 94 proc. emisji spowodowanych migracjami. Przemieszczanie się 7,1 mln uchodźców wewnętrznych (www34) na terenie Ukrainy wygenerowało emisje na poziomie 0,48 mln t CO₂ (2 proc. całości emisji spowodowanych migracjami wojennymi).

Koszty klimatyczne odbudowy

Skutkiem rosyjskiej inwazji było zniszczenie infrastruktury o wartości 95,4 mld EUR. Straty spowodowane utrudnieniami w jej funkcjonowaniu wyniosły dodatkowe 126,7 mld EUR (Instytut Kijowskiej Szkoły Ekonomii, 2022). Infrastruktura zniszczona przez agresora będzie wymagać odtworzenia, związanego z dodatkową emisją CO₂. Odbudowa powojenna jest procesem złożonym i wieloetapowym – dokładne obliczenia powinny obejmować różnorodność pod względem emisji etapu projektowania, budowy i eksploatacji poszczególnych obiektów (Ongpeng i in., 2019). Na potrzeby raportu zrealizowaliśmy wstępne szacunki, które mogą stanowić punkt wyjścia do bardziej dokładnych oszacowań po zakończeniu rosyjskiej inwazji.

Wykres 10. Minimalne koszty odbudowy zniszczonej i uszkodzonej infrastruktury ukraińskiej według IKSE (w mld EUR)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie analiz Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii.

Minimalne koszty odbudowy infrastruktury według IKSE wynoszą 235 mld EUR. Są porównywalne do całkowitego kosztu działań wojennych związanych z nielegalną aneksją Autonomicznej Republiki Krymu oraz tzw. Ługańskiej i Donieckiej Republiki Ludowej w latach 2014-2021, które szacuje się na ok. 280 mld USD (www36). Punktem wyjścia do dalszych analiz może być zestawienie kosztów odbudowy zaproponowane przez ukraińskie i międzynarodowe ośrodki analityczne.

Tabela 9. Szacunkowe koszty odbudowy Ukrainy (w mld EUR)

Institucje szacujące koszty	Szacunkowe koszty (mld EUR)
Minimalne koszty odbudowy zniszczonej i uszkodzonej infrastruktury (IKSE)	235
Minimalne szacunki ONZ (zniszczona infrastruktura 100 mld EUR) oraz minimalne szacunki WTO (koszty gospodarcze 147 mld EUR)	247
Analizy Centre for Economic Policy Research	200-500
Wspólne oszacowanie Banku Światowego, Komisji Europejskiej i rządu Ukrainy (www37)	350
Szacunki CEPR na podstawie danych Banku Światowego	440
Szacunki Instytutu Kijowskiej Szkoły Ekonomii (National Council..., 2022)	565
Szacunki rządu Ukrainy	600
Analizy Ukraine Recovery Conference (National Recovery Council, 2022) oraz raporty Narodowej Rady Powojennej Odbudowy Ukrainy (National Council..., 2022)	750
Założenia Ukraine Invest	1 000

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IKSE, ONZ, WTO, CEPR, KE oraz rządu Ukrainy.

Koszty odbudowy Ukrainy szacuje się na 200-500 mld EUR, a w bardziej pesymistycznych scenariuszach nawet na dwukrotnie więcej. Koszty są wyższe niż wartość odbudowy infrastruktury, ponieważ zawierają konieczność nie tylko technicznej rekonstrukcji, ale także przywrócenia życia społecznego i gospodarczego w obszarach dotkniętych wojną. Ukraińskie instytucje szacują koszty odbudowy na 564-749 mld EUR, ośrodki międzynarodowe na 440-500 mld EUR. Część oszacowań (UkraineInvest) sięga nawet 1000 mld USD (www38).

Do dalszych obliczeń przyjęliśmy koszty odbudowy:

- minimalny – 250 mld EUR,
- umiarkowany – 564 mld EUR,
- maksymalny – 750 mld EUR.

Przyjęliśmy także 3 warianty obliczeń:

- wariant 1 – obejmujący znaczne zaangażowanie w odbudowę Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii i USA,
- wariant 2 – obejmujący wsparcie ze strony Unii Europejskiej,
- wariant 3 – samodzielna odbudowa Ukrainy.

Warianty 1 i 2 zakładają niższą emisję spowodowaną procesami odbudowy, co wynika m.in. z niższej intensywności emisji gospodarek państw UE, USA i Wielkiej Brytanii. Może to stanowić dodatkową zachętę do realizacji zielonego planu odbudowy (www39) czy też zielonego planu Marshalla (www40).

Tabela 10. Koszty klimatyczne odbudowy Ukrainy (w mln t CO₂)

Scenariusze kosztów odbudowy	Wariant 1. Odbudowa realizowana w 35 proc. przez Ukrainę, 30 proc. przez UE, 5 proc. przez Wielką Brytanię i 30 proc. przez USA	Wariant 2. Odbudowa realizowana w 70 proc. przez Ukrainę i 30 proc. przez UE	Wariant 3. Samodzielna odbudowa Ukrainy
Przyjęta emisja procesu odbudowy (w kg CO ₂ /EUR)(www41)	0,21	0,25	0,31
Scenariusz minimalnych kosztów (250 mld EUR) (w mln t CO ₂)	52,5	62,5	77,5
Scenariusz umiarkowanych kosztów (564 mld EUR) (w mln t CO ₂)	118,4	141,0	174,8
Scenariusz maksymalnych kosztów (750 mld EUR) (w mln t CO ₂)	157,5	187,5	232,5

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych Banku Światowego, IKSE, ONZ, WTO, CEPR, KE oraz rządu Ukrainy.

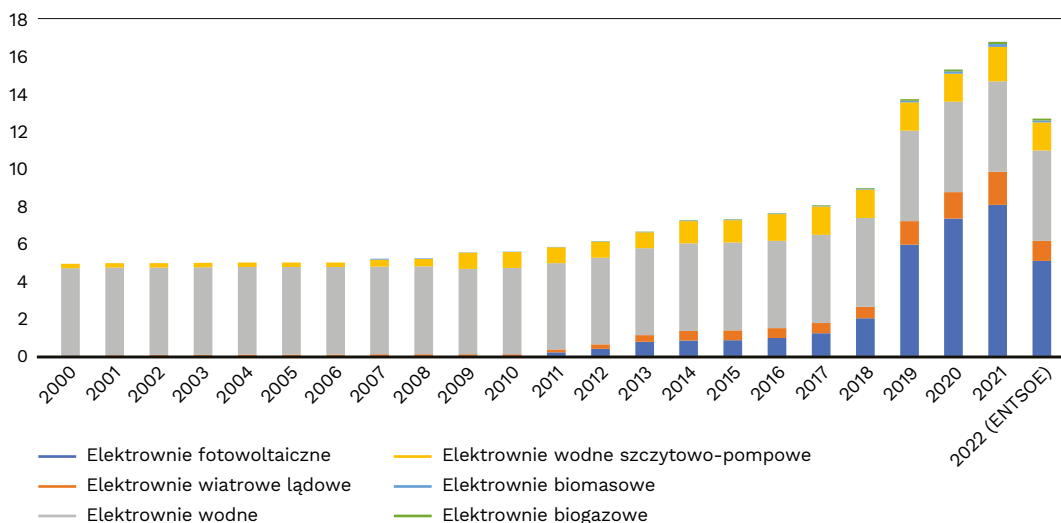
Odbudowa zniszczeń wojennych może przyczynić się do emisji nawet 232,5 mln t CO₂, czyli więcej niż całkowita roczna emisja CO₂ Ukrainy

(www42). Wartość ta może być znacznie większa ze względu na trwający charakter konfliktu i prowadzone działania wojenne. Scenariusz maksymalny jest o ponad 25 proc. niższy od szacunków części analityków związanych z ukraińskim rządem. Kluczowe znaczenie w obniżeniu całkowitej wartości emisji będzie miała współpraca Ukrainy z UE i USA. Ze względu na niższą intensywność emisji gospodarek tych państw, odbudowa mogłaby wygenerować 13 proc. mniej emisji CO₂, jeżeli byłaby finansowana częściowo przez UE i nawet 32 proc. mniej, jeżeli zaangażowane byłyby gospodarki UE, USA i Wielkiej Brytanii. Zaangażowanie transatlantyckiej koalicji w odbudowę Ukrainy mogłoby tym samym zredukować emisję nawet o 75 mln t CO₂, czyli o 28 proc. więcej niż suma redukcji emisji r/r całej UE w latach 2022-2024 (58,5 mln t CO₂). Zielona odbudowa Ukrainy może być także szansą na modernizację sektora energetycznego, mieszkalnego oraz przemysłu Ukrainy, znacząco obniżając emisję tego kraju w powojennej przyszłości (www43).

Koszty zatrzymanej transformacji. Wojna a rozwój ukraińskich OZE

W latach 2017-2021 wielkość ukraińskich mocy zainstalowanych w OZE wzrosła z 8,0 GW do ponad 16,7 GW, a średni roczny wzrost wyniósł ponad 20 proc. (www43). Dane ENTSOE dotyczące ukraińskich mocy zainstalowanych w OZE w 2022 r. są zdecydowanie niższe (wielkość przyłączonych mocy we wrześniu 2022 r. wynosiła 12,7 GW). Może to wskazywać na znaczną skalę zniszczeń wojennych, które nie tylko utrudniły budowę OZE, ale pozbawiły Ukrainę owoców kilku lat zielonej transformacji. Gdyby wzrost z lat 2020-2021 utrzymał się w 2022 r., Ukraina dysponowałaby ponad 18 GW zainstalowanych mocy w OZE. Wstrzymanie, a nawet cofnięcie dynamicznej transformacji gospodarki Ukrainy przez rosyjską inwazję, będzie miało wymierny i wieloletni wpływ na intensywność emisji ukraińskiej gospodarki.

Wykres 11. Moce zainstalowane w odnawialnych źródłach energii na terytorium Ukrainy (w GW)



Uwaga: do obliczeń wykorzystaliśmy tylko moce OZE podłączone do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej.

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IRENA (www44) oraz ENTSOE (www45), dane na wrzesień 2022 r.

Wojna mogła doprowadzić do zniszczenia i uszkodzenia co najmniej 4 GW odnawialnych źródeł energii, czyli 24 proc. mocy OZE zainstalowanych na terytorium Ukrainy i wstrzymała powstawanie nowych OZE (co najmniej 1,6 GW). Zniszczeniu mogło ulec nawet 3 GW zainstalowanej mocy w energetyce wiatrowej i około 700 MW mocy w fotowoltaice. Odbudowa tego potencjału może zająć co najmniej 3 lata i będzie wymagać intensywnych inwestycji w ukraińską energetykę odnawialną.

Tabela 11. Wielkość emisji spowodowanych niszczeniem i opóźnieniem rozwoju ukraińskich OZE w wyniku inwazji

Scenariusze odbudowy ukraińskich OZE	Moce OZE zainstalowane we wrześniu 2022 r. (w GW)	Moce OZE zainstalowane w 2025 r. (prognoza, w GW)	Szacowana wielkość emisji ukraińskiego sektora energii elektrycznej w latach 2022-2025 (w mln t CO ₂)	Dodatkowe emisje spowodowane wojną w latach 2022-2025 (w mln t CO ₂)
Scenariusz referencyjny (brak inwazji)	18,0	24,0	200,5	-
Scenariusz 1. Brak funduszy na zieloną transformację	12,7	14,0	234,1	33,6
Scenariusz 2. Wstrzymanie rozwoju OZE	12,7	22,6	215,2	14,7
Scenariusz 3. Zielona odbudowa Ukrainy	12,7	32,0	194,6	-5,9

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IPCC i IRENA.

Koszt klimatyczny inwazji zależy od skali zniszczeń i tempa odbudowy OZE i może wynieść 14,7-33,6 mln t CO₂. Roczne całkowite emisje gazów cieplarnianych ukraińskiego sektora energetycznego były szacowane przez Międzynarodową Agencję Energetyczną w 2019 r. na około 80 mln t CO₂ (www46). Wyższe emisje są związane z koniecznością zwiększenia wykorzystania mocy zainstalowanych w elektrowniach węglowych i gazowych.

Aktywne zaangażowanie UE w rozwój OZE po zakończeniu inwazji może zredukować emisje ukraińskiej energetyki o 5,9 mln t CO₂ względem scenariusza referencyjnego (bez rosyjskiej inwazji). W przypadku braku wsparcia dla Ukrainy, związany ze zniszczonymi i niewybudowanymi OZE będzie wynosił co najmniej 33,6 mln t CO₂. Częściowe wsparcie Ukrainy w procesie odbudowy pozwoli zredukować ten dodatkowy koszt klimatyczny ponad dwukrotnie – do 14,7 mln t CO₂.

Tabela 12. Dodatkowe moce zainstalowane w Ukrainie, potrzebna wielkość wsparcia i koszt dodatkowych inwestycji w zieloną energię

Przyjęty scenariusz procesu odbudowy	Elektrownie fotowoltaiczne (w MW)	Elektrownie wiatrowe (w MW)	Biopaliwa (w MW)	Elektrownie biogazowe (w MW)	Całkowita wielkość wsparcia (w mld EUR)	Całkowita wielkość wsparcia (w mld EUR)
Scenariusz 2. Wstrzymanie rozwoju OZE	6 866 (7,9 mld EUR)	1 500 (2,0 mld EUR)	129 (0,2 mld EUR)	105 (0,1 mld EUR)	9,1	18,9
Scenariusz 3. Zielona odbudowa	14 371 (16,5 mld EUR)	3 139 (4,0 mld EUR)	271 (0,3 mld EUR)	219 (0,3 mld EUR)	21,2	39,5

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych IPCC i IRENA.

Aktywne zaangażowanie państw członkowskich UE w zieloną odbudowę i rozwój Ukrainy wymagałoby wsparcia przy budowie 14,4 GW elektrowni fotowoltaicznych i 3,1 GW elektrowni wiatrowych. Koszt klimatyczny takiej inwestycji wyniesie 21,2 mld EUR – pozwoli jednak ograniczyć Ukrainy co najmniej o 39,5 mln t CO₂. Dynamiczne wsparcie rozwoju ukraińskich OZE (21,2 mld EUR za redukcję 39,5 mln t CO₂) jest ponad 12-krotnie wydajniejsze z punktu widzenia ochrony klimatu od mniej sprecyzowanego, ogólnego zaangażowania państw UE w proces odbudowy Ukrainy (232 mld EUR za redukcję emisji 33,8 mln t CO₂).

Rosyjskie „ekobójstwo” podczas inwazji na Ukrainę

Inwazja na Ukrainę niesie za sobą nie tylko koszty klimatyczne, związane ze zwiększoną emisją gazów cieplarnianych do atmosfery. To także istotne koszty środowiskowe, związane z celowym i mimowolnym niszczeniem środowiska, zanieczyszczaniem wód, powietrza i gleby oraz wynikającym z nich spadkiem bioróżnorodności. Przez lata funkcjonowanie ekosystemu będzie utrudnione, a warunki życia ludzi, zwierząt i roślin się pogorszą.

„Ekobójstwo” to celowe niszczenie środowiska, zazwyczaj związane z chęcią pokonania drugiej strony konfliktu w trakcie działań wojennych. Autorem terminu był amerykański biolog Arthur W. Galston, który zwrócił uwagę na środowiskowy aspekt wojny wietnamskiej, związany z wykorzystaniem napalmu przez armię USA (Galston, 2001). Zamierzony atak ze świadomością jego długotrwałych i poważnych szkód w środowisku jest zbrodnią wojenną zgodnie ze Statutem Rzymskim Międzynarodowego Trybunału Karnego (Rzymski Statut..., 1998), wypowiedzianego przez Rosję w 2016 r. Stosowanie w konfliktach wojennych działań i środków, które mogą spowodować długookresowe, poważne i powszechne szkody dla środowiska zabrania także protokół dodatkowy z 1977 r. do konwencji genewskich, wypowiedziany przez Rosję w 2019 r. (Protokół dodatkowy..., 1977). „Ekobójstwo” pozostaje zbrodnią zarówno w myśl przepisów prawa ukraińskiego (8-15 lat pozbawienia wolności) (Kodeks Karny Federacji Rosyjskiej, 2022, 441 ККУ України), jak i rosyjskiego (12-20 lat pozbawienia wolności) (Kodeks Karny Federacji Rosyjskiej, 2022, ст. 358 УК РФ).

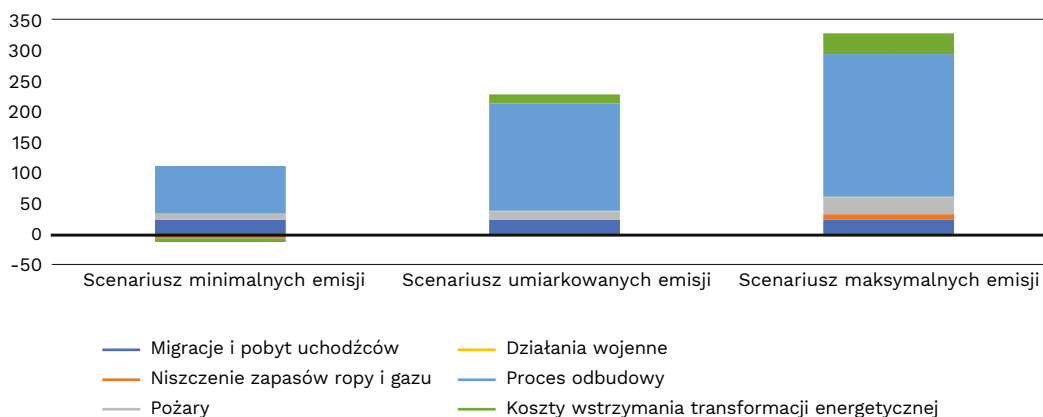
Ukraińska organizacja pozarządowa Centrum Inicjatyw Ekologicznych Ekodija od początku rosyjskiej inwazji zidentyfikowała ponad 514 przypadków celowego niszczenia środowiska (www47). Głównymi obszarami aktywności oddziałów rosyjskich są niszczenie terenów przemysłowych (ponad 280 przypadków), niszczenie lądowych i morskich ekosystemów (ponad 90 przypadków) i infrastruktury energetycznej (ponad 90 przypadków). Monitoring szkód związanych z działalnością wojsk rosyjskich prowadzi na bieżąco Ministerstwo Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy. Otrzymało ono ponad 730 raportów, dokumentujących rosyjskie działania antyśrodowiskowe (www5). We wrześniu 2022 r. Ministerstwo szacowało minimalne koszty środowiskowe spowodowane rosyjską inwazją na 224,9 mld UAH (6,1 mld EUR).

Podsumowanie. Całkowity koszt klimatyczny inwazji i próba wyceny

Koszty klimatyczne inwazji na Ukrainę wyniosą 98-327 mln t CO₂e. Może to oznaczać większą szkodę dla klimatu niż przedpandemiczna roczna bezpośrednia emisja CO₂ Ukrainy (170,4 mln t CO₂) (www46), Polski (267,6 mln t CO₂) (www48) czy Włoch (280,4 mln t CO₂) (www49). Kilkukrotne różnice między scenariuszami wynikają przede wszystkim ze znacznych rozbieżności w źródłach informujących o skali zniszczeń, kosztach odbudowy i powierzchni spalonych obszarów leśnych. Trwająca od 2014 r. rosyjska okupacja Ukrainy, której ostatnią odstoną jest trwająca od 24.02.2022 r. masowa agresja wojsk rosyjskich, uniemożliwiają ekspertom i instytucjom międzynarodowym uzyskanie jednoznacznych informacji o stanie ukraińskich terenów leśnych i infrastruktury energetycznej. Obliczona wartość, oszacowana we wrześniu 2022 r., będzie się dalej zwiększać, jeżeli Federacja Rosyjska utrzyma działania zmierzające do dalszej eskalacji konfliktu.

Najistotniejsze znaczenie będą mieć emisje związane z koniecznością odbudowy zniszczeń wojennych, masowym przemieszczaniem uchodźców wojennych, wstrzymanie rozwoju ukraińskich OZE oraz pożary lasów. Działania wojenne, takie jak przemieszczenia wojsk, emisja ze zniszczonego sprzętu wojskowego, a także niszczenie zapasów ropy i gazu, mają znacznie mniejszy wpływ na klimat, odpowiadając w każdym ze scenariuszy za mniej niż 3 proc. całkowitej emisji.

Wykres 12. Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji na Ukrainę (w mln t CO₂e)

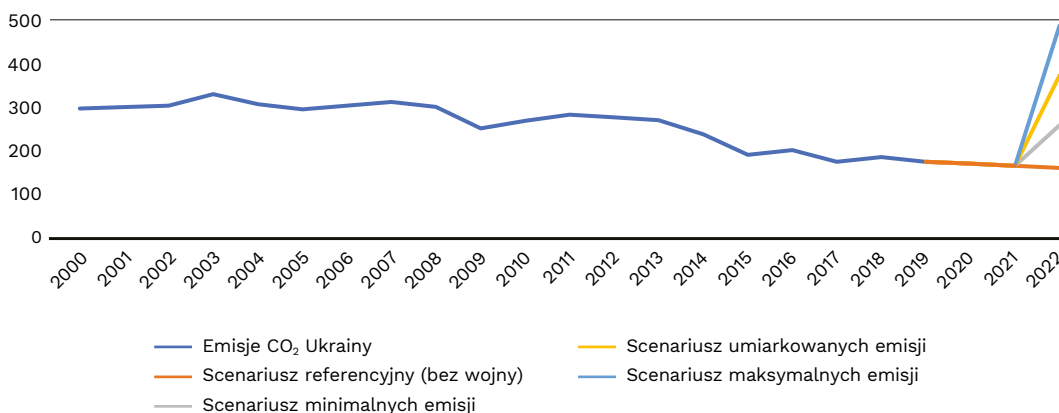


Źródło: opracowanie własne PIE.

W scenariuszu maksymalnym emisje wywołane rosyjską inwazją są równe 9,4 proc. prognozowanej emisji CO₂ całej Unii Europejskiej w 2022 r.

(www49). To więcej niż wartość całkowitej zakładanej redukcji emisji gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej (r/r) w latach 2023-2030 (szacowanej przez Europejską Agencję Środowiska na ok. 326,7 mln t). W tym scenariuszu Ukraina nie otrzymuje wsparcia UE i USA w procesie odbudowy, co prowadzi do wieloletniego opóźnienia zielonej transformacji całego regionu i generuje dodatkowe 266,1 mln t CO₂e. To jednoznacznie negatywny scenariusz, którego skutki będzie odczuwać nie tylko Ukraina, ale cała Europa i pozostałe państwa, dotknięte skutkami katastrofy klimatycznej.

Wykres 13. Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji na Ukrainę (w mln t CO₂) zestawione historycznymi emisjami Ukrainy



Uwaga: emisje Ukrainy na podstawie danych Banku Światowego 2000-2019 (www50).

Źródło: opracowanie własne PIE.

Ze względu na znaczną skalę potencjalnych kosztów klimatycznych, podjęliśmy próbę oszacowania kosztów finansowych, związanych z wojenną emisją gazów cieplarnianych. Punktem wyjścia były średnie ceny certyfikatów ETS na 2022 r. i oraz średnie ceny futures EU ETS na lata 2023-2024.

Tabela 13. Próba wyceny kosztów klimatycznych inwazji na Ukrainę

Przyjęty scenariusz obliczeń	Koszt klimatyczny rosyjskiej inwazji (w mln t CO ₂)	Oszacowanie 1. Średnia roczna cena ETS w 2022 r. (styczeń-wrzesień, w mld EUR)	Oszacowanie 2. Futures EU ETS na lata 2023-2024 (wrzesień 2022 r., w mld EUR)
		65,9 EUR/t CO ₂	78 EUR/t CO ₂
Scenariusz minimalnych emisji	98,1	6,5	7,6
Scenariusz umiarkowanych emisji	212,7	14,0	16,6
Scenariusz maksymalnych emisji	326,9	21,5	25,5

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ICE (www51) i Ember (Sandbag Climate Campaign CIC) (www52).

Nawet scenariusz minimalnych emisji pozwala oszacować koszty klimatyczne wojny na co najmniej 6,5 mld EUR, czyli ponad 4 proc. PKB Ukrainy przed pandemią COVID-19 (www50). Bardziej umiarkowane oszacowania to 10-12 proc. PKB Ukrainy, podczas gdy scenariusz maksymalnych emisji wskazuje na koszty na poziomie 16-19 proc. ukraińskiego PKB. To istotne szkody dla klimatu, wyrządzone za pośrednictwem militarnej agresji nie tylko Ukrainie, ale całej społeczności międzynarodowej. Koszty usuwania tych szkód powinna ponieść Federacja Rosyjska.

Zielona odbudowa Ukrainy z udziałem UE, Wielkiej Brytanii i USA pozwoli uniknąć nawet 115 mln t emisji CO₂ i ograniczyć koszty klimatyczne wojny o 8,9 mld EUR. Wspólnota międzynarodowa będzie mogła znacząco ograniczyć całkowite klimatyczne koszty inwazji (w zależności od scenariusza o 43-58 proc.). Kluczowe znaczenie w każdym scenariuszu będzie miało zaangażowanie państw członkowskich UE, Wielkiej Brytanii i USA w proces ekologicznej odbudowy ukraińskiej infrastruktury i ponownego ożywienia gospodarki ukraińskiej. Szczególnie istotne w tym procesie będzie wsparcie rozwoju ukraińskich OZE, w tym elektrowni fotowoltaicznych i wiatrowych. Polska, aktywnie wspierająca Ukrainę podczas rosyjskiej inwazji i goszcząca ponad 1,3 mln ukraińskich uchodźców w pierwszych miesiącach konfliktu, ma szansę odegrać w tym procesie istotną rolę, przyczyniając się do ograniczenia klimatycznych skutków rosyjskiej inwazji.

Bibliografia

- Bartowitz, K., Walsh, E., Stenzel, J., Kolden, C., Hudiburg, T. (2022), *Forest Carbon Emission Sources Are Not Equal: Putting Fire, Harvest, and Fossil Fuel Emissions in Context*, "Frontiers in Forests and Global Change", No. 5(867112), doi.org/10.3389/ffgc.2022.867112.
- Clark, B., Jorgenson, A. (2012), *The Treadmill of Destruction and the Environmental Impacts of Militaries*, "Sociology Compass", No. 6/7, doi.org/10.1111/j.1751-9020.2012.00474.x.
- Duszczuk, M., Kaczmarczyk, P. (2022), *The War in Ukraine and Migration to Poland: Outlook and Challenges*, "Intereconomics", No. 57, <https://doi.org/10.1007/s10272-022-1053-6>.
- Erickson, E. (1978), *The Strategic-Military Importance of Oil*, "Current History", No. 438(75), <https://www.jstor.org/stable/45314585> [dostęp: 14.09.2022].
- Galston, A. (2001), *Falling Leaves and Ethical Dilemmas: Agent Orange in Vietnam*, (w:) Galston, A., Shurr, E., *New Dimensions in Bioethics*, Springer, Boston, MA, doi.org/10.1007/978-1-4615-1591-3_7.
- Institut Kijowskiej Szkoły Ekonomii (2022), *Assessment of damages, losses and reconstruction needs in Ukraine due to russia's military aggression*, https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/07/Eng_NRC_Final_Losses-and-Needs-Report_July-1-2022.pdf [dostęp: 15.09.2022].
- Hobbs, P., Radke, L. (1992), *Airborne Studies of the Smoke from the Kuwait Oil Fires*, "Science", No. 256(5059), doi.org/10.1126/science.256.5059.9.
- Hooks, G., Smith, C. (2004), *The Treadmill of Destruction: National Sacrifice Areas and Native Americans*, "American Sociological Review", No. 69(4), doi.org/10.1177/000312240406900405.
- Hooks, G., Smith, C. (2005), *Treadmills of Production and Destruction*, "Organization & Environment", No. 18(1), doi.org/10.1177/1086026604270453.
- KOBIZE (2020), *Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2018 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2021*, https://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/monitorowanie_raportowanie_weryfikacja_emisji_w_eu_ets/WO_i_WE_do_monitorowania-ETS-2021.pdf [dostęp: 10.08.2022].
- Kodeks karny Federacji Rosyjskiej (2022), <https://base.garant.ru/10108000/4275ad84ee8598259d62489e6f3ece9b/> [dostęp: 20.09.2022].

- Kodeks karny Ukrainy (2022), <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text> [dostęp: 20.09.2022].
- Michaelowa, A., Koch, T., Charro, D., Gameros, C. (2022), *Military and Conflict- Related Emissions: Kyoto To Glasgow And Beyond*, Perspectives Climate Group, https://www.perspectives.cc/public/fileadmin/user_upload/military-emissions_final.pdf [dostęp: 05.07.2022].
- National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War (2022), *Draft Ukraine Recovery Plan. Materials of the "audit of war damage" working group*, https://uploads-ssl.webflow.com/621f88db25fbf24758792dd8/62c48b51bd97677a3c4d7b1c_Audit%20of%20war%20damage.pdf [dostęp: 05.07.2022].
- National Recovery Council (2022), *Ukraine's National Recovery Plan*, https://uploads-ssl.webflow.com/621f88db25fbf24758792dd8/62c166751fcf41105380a733_NRC%20Ukraine%27s%20Recovery%20Plan%20blueprint_ENG.pdf [dostęp: 05.07.2022].
- Liang, S., Yang, X., Qi, J., Wang, Y., Xie, W., Muttarak, R., Guan, D. (2020), *CO₂ Emissions Embodied in International Migration from 1995 to 2015*, "Environmental Science & Technology", No. 54(19), doi.org/10.1021/acs.est.0c04600.
- Linden, O., Jerneloef, A., Egerup, J. (2004), *The Environmental Impacts of the Gulf War 1991*, "IIASA Interim Report", IR-04-019, IIASA, Luxemburg.
- Maj, M., Miniszewski, M., Rabiega, W. (2022), *Wpływ „Fit For 55” na scenariusze rozwoju transportu pasażerskiego w Polsce*, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.
- Ongpeng, J., Dungca, J., Aviso, K., Tan, R. (2019), *Minimizing the carbon footprint of urban reconstruction projects*, "Journal of Cleaner Production", No. 240, doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118222.
- Ostroukhov, A., Klimina, E., Kuptsova, V., Daisuke, N. (2022), *Estimating Long-Term Average Carbon Emissions from Fires in Non-Forest Ecosystems in the Temperate Belt*, "Remote Sensing", No. 14, Vol. 5(1197), doi.org/10.3390/rs14051197.
- Owen B., Toon, A., Turco, R. (2008), *Environmental consequences of nuclear war*, "Physics Today", Vol. 61, Iss. 12, doi.org/10.1063/1.3047679.
- Protokół dodatkowy do konwencji genewskich z dnia 12 sierpnia 1949 r. dotyczący ochrony ofiar międzynarodowych konfliktów zbrojnych (protokół I) z dnia 8 czerwca 1977 r., <https://ihl-databases.icrc.org/ihl/WebART/470-750044> [dostęp: 12.10.2022].
- Rzymski Statut Międzynarodowego Trybunału Karnego sporządzony w Rzymie dnia 17 lipca 1998 r. (Dz.U. 2003 nr 78 poz. 708).
- Toon, O.B., Turco, R.P., Robock, A., Bardeen, C., Oman, L., Stenchikov, G.L. (2007), *Atmospheric effects and societal consequences of regional scale nuclear conflicts and acts of individual nuclear terrorism*, "Atmospheric Chemistry Physics", No. 7, doi.org/10.5194/acp-7-1973-2007. (www1) <https://www.theguardian.com/world/2021/dec/17/russia-ukraine-crisis-putin-troops-visual-guide-explainer> [dostęp: 10.08.2022].

- (www2) <https://www.stripes.com/theaters/europe/2022-03-03/ukraine-russian-invasion-war-pentagon-kherson-5213281.html> [dostęp: 10.08.2022].
- (www3) <http://kt-energy.com.ua/en/projects/ghg-emissions-of-russian-military-preparations-across-borders-of-ukraine/> [dostęp: 10.08.2022].
- (www4) <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/02/massive-russian-navy-armada-moves-into-place-off-ukraine/> [dostęp: 10.08.2022].
- (www5) <https://ecozagroza.gov.ua/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www6) <https://edition.cnn.com/2022/04/20/politics/ukraine-aircraft-spare-parts/index.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www7) <https://www.oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www8) <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2022/08/22/7364267/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www9) <https://www.mil.gov.ua/en/news/2022/09/13/the-total-combat-losses-of-the-enemy-from-24-02-to-13-09/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www10) https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12428905@egNews [dostęp: 15.09.2022].
- (www11) <https://tass.com/world/1467843> [dostęp: 15.09.2022].
- (www12) <https://www.rbc.ru/politics/17/06/2022/62accf829a7947e287f556ea> [dostęp: 10.08.2022].
- (www13) <https://www.oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-ukrainian.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www14) https://www.globalfirepower.com/country-military-strength-detail.php?country_id=ukraine [dostęp: 15.09.2022].
- (www15) https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12435361@egNews [dostęp: 15.09.2022].
- (www16) <https://uncg.org.ua/en/4-months-of-war-100000-ha-of-ukraine-burnt-up/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www17) <https://wwfcee.org/news/assessing-the-environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine> [dostęp: 15.09.2022].
- (www18) <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www19) <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/seasonaltrend> [dostęp: 20.09.2022].
- (www20) <https://reukraine.shtab.net/> [dostęp: 10.08.2022].
- (www21) <https://damaged.in.ua/> [dostęp: 10.08.2022].
- (www22) <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/040322-ukrainian-oil-refining-and-fuel-storage-infrastructure-hit-by-russian-attacks> [dostęp: 10.08.2022].
- (www23) <https://www.bbc.com/news/world-europe-60952125> [dostęp: 15.09.2022].
- (www24) <https://www.euronews.com/2022/03/15/ukraine-crisis-natgas-shelling> [dostęp: 15.09.2022].
- (www25) <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/040322-ukrainian-oil-refining-and-fuel-storage-infrastructure-hit-by-russian-attacks> [dostęp: 10.09.2022].
- (www26) <https://agsi.gie.eu/> [dostęp: 10.09.2022].

- (www27) <https://kse.ua/russia-will-pay/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www28) <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile/energy-security> [dostęp: 16.09.2022].
- (www29) <https://www.upstreamonline.com/production/dramatic-video-fire-ravages-ukraine-gas-facility-after-targeted-russian-attack/2-1-1184186> [dostęp: 16.09.2022].
- (www30) <https://www.reuters.com/world/europe/ukraine-halt-some-russian-gas-flows-claims-battlefield-gains-2022-05-11/> [dostęp: 11.08.2022].
- (www31) <https://tsoua.com/en/news/gas-tso-of-ukraine-has-ensured-natural-gas-transportation-to-barvinkove-in-the-kharkiv-region/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www32) <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#methane> [dostęp: 15.09.2022].
- (www33) <https://utg.ua/en/utg/media/news/2022/gas-storage-interest-in-ukraine-picks-up-despite-war-risk-ukrtransgaz-ceo.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www34) <https://data.unhcr.org/en/situations/ukraine> [dostęp: 15.09.2022].
- (www35) https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/procedures-guidelines-tenders/information-contractors-and-beneficiaries/calculate-unit-costs-eligible-travel-costs_en [dostęp: 15.09.2022].
- (www36) <https://cebr.com/reports/cost-to-ukraine-of-conflict-with-russia/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www37) https://neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/news/joint-press-release-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-estimated-349-billion-eu349-billion-2022-09-09_en [dostęp: 15.09.2022].
- (www38) <https://www.investmentmonitor.ai/special-focus/ukraine-crisis/ukraine-reconstruction-cost-rebuilding> [dostęp: 15.09.2022].
- (www39) <https://www.energymonitor.ai/finance/green-infrastructure/ukraine-sets-plans-for-ambitious-green-reconstruction> [dostęp: 15.09.2022].
- (www40) <https://www.project-syndicate.org/commentary/shaping-marshall-plan-for-ukraine-by-barry-eichengreen-2022-05> [dostęp: 15.09.2022].
- (www41) https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&start_year=1990 [dostęp: 15.09.2022].
- (www42) https://www.climatewatchdata.org/countries/UKR?end_year=2019&start_year=1990#ghg-emissions [dostęp: 15.09.2022].
- (www43) <https://en.ecoaction.org.ua/requirements-green-reconstruction.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www44) https://pxweb.irena.org/pxweb/en/IRENASTAT/IRENASTAT__Power%20Capacity%20and%20Generation/ELECCAP_2022_cycle2.px/ [dostęp: 15.09.2022].
- (www45) <http://transparency.entsoe.eu> [dostęp: 15.09.2022].
- (www46) <https://www.iea.org/countries/ukraine> [dostęp: 15.09.2022].
- (www47) <https://en.ecoaction.org.ua/warmap.html> [dostęp: 15.09.2022].
- (www48) <https://www.iea.org/countries/poland> [dostęp: 15.09.2022].

- (www49) <https://www.iea.org/countries/italy> [dostęp: 15.09.2022].
- (www50) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/eea-greenhouse-gas-projections-data-viewer> [dostęp: 15.09.2022].
- (www51) <https://databank.worldbank.org/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www52) <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/> [dostęp: 15.09.2022].
- (www53) <https://www.theice.com/products/197/EUA-Futures/data?marketId=5474736&span=2> [dostęp: 15.09.2022].



Spis map, tabel i wykresów

SPIS MAP

Mapa 1. Anomalie termiczne na terenie Ukrainy w marcu w latach 2021-2022	17
---	----

SPIS TABEL

Tabela 1. Porównanie emisji CO ₂ ze zniszczonego sprzętu wojskowego Federacji Rosyjskiej (w t)	12
Tabela 2. Porównanie emisji CO ₂ ze zniszczonego sprzętu wojskowego Ukrainy (w t)	14
Tabela 3. Metodyka 1. Emisja CO ₂ w wyniku pożarów szacowana na podstawie przyjętych współczynników emisji	16
Tabela 4. Metodyka 2. Emisja CO ₂ w wyniku pożarów szacowana na podstawie przyjętych współczynników emisji	19
Tabela 5. Przyjęte współczynniki emisji CO ₂ ze spalania paliw	21
Tabela 6. Wartość ekwiwalentu emisji CO ₂ e związanych z uszkodzeniem infrastruktury ropy i gazu (w mln t CO ₂ e)	23
Tabela 7. Emisje w wyniku wymuszonego wojną przemieszczania się uchodźców z Ukrainy do państw-gospodarzy podczas inwazji rosyjskiej	26
Tabela 8. Emisje uchodźców wynikające z przymusowego pobytu na terytorium państw-gospodarzy w 2022 r.	27
Tabela 9. Szacunkowe koszty odbudowy Ukrainy (w mld EUR).	30
Tabela 10. Koszty klimatyczne odbudowy Ukrainy (w mln t CO ₂)	31
Tabela 11. Wielkość emisji spowodowanych niszczeniem i opóźnieniem rozwoju ukraińskich OZE w wyniku inwazji	33
Tabela 12. Dodatkowe moce zainstalowane w Ukrainie, potrzebna wielkość wsparcia i koszt dodatkowych inwestycji w zieloną energię	34
Tabela 13. Próba wyceny kosztów klimatycznych inwazji na Ukrainę	38

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Emisje CO ₂ wywołane koncentracją i przemieszczeniami wojsk rosyjskich i ukraińskich w okresie 12.2021-06.2022 (w t).	10
Wykres 2. Zniszczony rosyjski sprzęt wojskowy na dzień 16.09.2022 r. (liczba obiektów).	11
Wykres 3. Zniszczony ukraiński sprzęt wojskowy na dzień 16.09.2022 r. (liczba obiektów).	13

Wykres 4. Łączna emisja CO ₂ z działań wojennych (w tys. t)	15
Wykres 5. Skumulowana liczba hektarów spalonych lasów na terenie Ukrainy w okresie styczeń-lipiec 2022 r. jako część skumulowanej liczby hektarów spalonych lasów w Europie w okresie styczeń-lipiec latach 2006-2022	18
Wykres 6. Emisje CO ₂ spowodowane pożarami lasów i terenów zabudowanych (w mln t).	20
Wykres 7. Skumulowana wielkość gwałtownych spadków (>10 proc. d/d) dobowego przesyłu gazu z kierunków Sudża i Sokhranowka przez terytorium Ukrainy (w TWh)	23
Wykres 8. Liczba uchodźców i przymusowych migrantów z Ukrainy na dzień 30.08.2022 przebywających na stałe za granicą, zarejestrowanych w poszczególnych państwach.	25
Wykres 9. Dodatkowe emisje CO ₂ spowodowane przez migracje (w mln t)	28
Wykres 10. Minimalne koszty odbudowy zniszczonej i uszkodzonej infrastruktury ukraińskiej według IKSE (w mld EUR)	29
Wykres 11. Moce zainstalowane w odnawialnych źródłach energii na terytorium Ukrainy (w GW).	32
Wykres 12. Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji na Ukrainę (w mln t CO ₂ e)	37
Wykres 13. Koszty klimatyczne rosyjskiej inwazji na Ukrainę (w mln t CO ₂) zestawione historycznymi emisjami Ukrainy.	37

Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* ekonomiczny z historią sięgającą 1928 roku. Jego obszary badawcze to przede wszystkim makroekonomia, energetyka i klimat, handel zagraniczny, foresight gospodarczy, gospodarka cyfrowa i ekonomia behawioralna. Instytut przygotowuje raporty, analizy i rekomendacje dotyczące kluczowych obszarów gospodarki oraz życia społecznego w Polsce, z uwzględnieniem sytuacji międzynarodowej.