



UNIwersytet  
Przyrodniczy  
we Wrocławiu

A

# ***Początki rolnictwa, zielona rewolucja i zmiany klimatyczne ?***

Prof. dr hab. Andrzej Kotecki



# Początki rolnictwa

*I rzekł Bóg: Oto dałem wam wszelkie ziele  
rodzące nasienie na ziemi i wszystkie drzewa,  
Które same w sobie mają nasienie rodzaju swego,  
aby wam były na pokarm:*

**Biblia Jakuba Wujka  
Księga Rodzaju 1:1**

,

”

**Okolo 11 500 bp skończyło się ostatnie zlodowacenie i Ziemia weszła w fazę ciepła, która trwa do dzisiaj.**

- w okresie holocenu notowano liczne zmiany temperatury,

- maksimum klimatyczne holocenu przypada na 8000–5000 bp. W Wielkiej Brytanii górna granica lasu sięgała wówczas 180–300 m wyżej niż obecnie,

- ochłodzenie epoki żelaza i nastąpiło 4500–2500 bp, a temperatura była 1–2° niższa niż w holocenijskim maksimum klimatycznym,

- cieplejsze warunki powróciły w początkach panowania cesarstwa rzymskiego, ale już nie było tak ciepło jak w maksimum holocenijskim,

- **kolejne ochłodzenie wystąpiło 1500–1000 bp w okresie historycznym w Europie, zwanym Wieki Ciemne,**
- **ciepłe średniowiecze 1000–700 bp średnia temperatura w Europie była o około 1°C wyższa niż w ostatnim 25-leciu XX wieku,**
- **Mała Epoka Lodowa, miała miejsce w latach 1550–1850. Wśród możliwych przyczyn Małej Epoki Lodowej dwie są najsilniej podejrzewane o jej wywołanie: erupcje wulkaniczne i zmiany aktywności słonecznej, czyli insolacja.**
- **ocieplenie po Małej Epoce Lodowej. Wycofywanie się górnej linii zasięgu drzew od 1860 r. do końca XX w. sugeruje ocieplenie globalne około 0,6–0,7 °C.**
- **dane z Oksfordu w Anglii wskazują, że między 1880 a 1930 r. sezon wegetacyjny wydłużył się o 10%.**

**W ciągu ostatnich 800 000 lat (do rewolucji przemysłowej) koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze wahała się w granicach od 170 ppm (podczas epok lodowcowych) do 300 ppm (podczas interglacjałów).**

**Gospodarka rolnicza powstała niezależnie w wielu różnych regionach świata mniej więcej w tym samym czasie w historii ludzkości. Synchronizacja nowego sposobu gospodarowania na świecie wskazuje, że czynnik globalny mógł regulować przejście od gospodarki łowiecko-zbierackiej do rolniczej produkującej żywność. Czynnikiem globalnym mógł być wzrost zawartości w atmosferze CO<sub>2</sub> z poniżej 200 do 270 ppm, który miał miejsce między 15 000 bp a 12 000 bp.**

- ;

**Zawartość CO<sub>2</sub> w pierwszej połowie Holocenu (11 000 bp do 8 000 bp) ustabilizowała się na poziomie od 260 do 270 ppm i przez następne 7000 lat wzrastała liniowo do 285 ppm, a następnie utrzymywała się na stałym poziomie aż do rewolucji przemysłowej.**

**Od tego czasu, przez następne 250 lat, poziom dwutlenku węgla systematycznie wzrastał, osiągając w 2000 r. 370 ppm, co oznacza średni wzrost zawartości CO<sub>2</sub> o 1 ppm co 3 lata. Natomiast w ciągu ostatnich 20 lat średni wzrost zawartości dwutlenku węgla o 1 ppm następował po 5 miesiącach, uzyskując w 2021 r. zawartość 417 ppm, co oznacza w porównaniu z okresem 1750–2000 7-krotne przyśpieszenie wzrostu o 1 ppm zawartości CO<sub>2</sub>**

**Najstarsze ślady roślin uprawnych w Azji Południowo – Zachodniej.  
Opracowanie własne na podstawie Wasylikowej [2001]**

<b>Lata bp</b>	<b>Gatunek</b>
<b>10 600 – 10 400</b>	<i>Triticum aestivum</i> subsp. <i>vulgare</i>
<b>10 000 – 9300</b>	<i>Hordeum vulgare</i> convar. <i>distichon</i>
<b>9500 – 8500</b>	<i>Triticum monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>
	<i>Triticum turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>
	<i>Hordeum vulgare</i> convar. <i>vulgare</i> nagi (naked)
	<i>Hordeum vulgare</i> convar. <i>vulgare</i> oplewiony (hulled)
	<i>Secale cereale</i> subsp. <i>cereale</i>
	<i>Lens culinaris</i>
	<i>Vicia ervilia</i>
	<i>Cicer orietinum</i>



**Najstarsze ślady roślin uprawnych w Azji Południowo – Zachodniej.  
Opracowanie własne na podstawie Wasylikowej [2001]**

<b>Lata bp</b>	<b>Gatunek</b>
<b>8900 – 8500</b>	<i>Triticum durum</i>
	<i>Hordeum vulgare</i> convar. <i>distichon</i>
<b>8500 – 8000</b>	<i>Pisum sativum</i>
	<i>Linum usitatissimum</i>

**Poziom CO<sub>2</sub> bezpośrednio wpływa na fotosyntezę i produktywność roślin. U roślin klimatu umiarkowanego, które mają fotosyntezę typu C<sub>3</sub>, wydajność tego procesu w optymalnych warunkach światła i temperatury wzrasta ze stężeniem CO<sub>2</sub> do około 1000 ppm.**

**Wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze z 200 do 270 ppm stymuluje fotosyntezę i produktywność biomasy roślin typu C<sub>3</sub> od 25 do 50%.  
Wzrost zawartości CO<sub>2</sub> w atmosferze oddziałuje również na biologiczne wiązanie azotu i zwiększa zdolność roślin do pobierania wody i składników mineralnych.**

**Poprzez wpływ na produktywność ekosystemów rosnąca zawartość w atmosferze CO<sub>2</sub> mogła przyczyniać się do wzrostu populacji tworzenia nowych relacji społecznych, które doprowadziły do udomowienia i uprawy preferowanych gatunków roślin.**

Tabela 2

W zależności od zawartości CO<sub>2</sub> [ ppm] wyliczony na podstawie równań regresji, plon ziarna pszenicy i indeks żniwny [Mayeux i wsp. 1997].

Zawartość CO <sub>2</sub> [ ppm]	Plon ziarna [g·m <sup>-2</sup> ]	% plonu w odniesieniu do 350 ppm	Indeks żniwny
200	84 <sup>*)</sup>	28,6	0,37 <sup>**)</sup>
225	119	40,5	0,38
250	154	52,4	0,40
275	189	64,3	0,41
300	224	76,2	0,42
325	259	88,1	0,43
350	294		0,45

$$*)Y = -196 + 1,4X, r^2 = 0.82$$

$$**)Y = 0,27 + 0,0005X, r^2 = 0.51$$

**Udomowienie roślin oznacza przekształcenie gatunku dzikiego w uprawny. Pełen cykl życiowy gatunku uprawnego nie przebiega bez pomocy człowieka.**

**Czy możliwe jest określenie początków działalności człowieka, którą można by nazwać hodowlą roślin? Za punkt przelomowy podczas zamierzchłego i długotrwałego udomowiania można uznać uświadomienie sobie, że to do siewu, a nie do spożycia należy wybierać najlepsze nasiona.**

Teorie związane z udomowieniem i początkami uprawy roślin.

**Teoria oaz - Childa.** Udomowienie roślin na Bliskim Wschodzie miało miejsce w okresie osuszenia klimatu, jakie nastąpiło po ostatnim zlodowaceniu. Brak wody zmusił ludzi i zwierzęta do skupiania się w dolinach rzek i oazach charakteryzujących się bujną roślinnością, tam zaś bliski kontakt ze znanymi już poprzednio dzikimi roślinami i zwierzętami skłonił człowieka do ich udomowienia.

**Teoria przeludnienia,** czyli stresu. Niektórzy badacze uważali, że powstanie rolnictwa było wywołane stresem spowodowanym przez nadmierny wzrost populacji ludzkich, który prowadził do ograniczenia zasobów pokarmowych w środowisku łowców-zbieraczy.

**Teoria śmietnisk** zaproponowana została w 1952 r. przez Andersona. Rośliny uprawne i ich dzikie formy macierzyste mają pewne ekologiczne cechy chwastów: są przystosowane do rozwoju na siedliskach otwartych, zaburzonych, często wzbogaconych w związki azotu.

**Teoria determinizmu klimatycznego** w ujęciu Hillmana. Badania paleoekologiczne, prowadzone na Bliskim Wschodzie od lat 60. wykazały, że u schyłku ostatniego zlodowacenia wystąpiły tam, podobnie jak na innych terenach, wyraźne zmiany klimatyczne, które zbiegły się w czasie z pojawieniem się na obszarze Żyznego Półksiężyca licznych osad ludzkich, o czym świadczą powszechnie występujące w tych miejscach szczątki roślin uprawnych.

**Niezależnie od tego, jaką teorię przyjmiemy, najważniejszy jest fakt, że w pewnym momencie obok gospodarki zbieracko-łowieckiej zaczęła się pojawiać spodarka oparta na rolnictwie. Proces ten był płynny i przebiegał w różnym czasie w zależności od regionu świata.**

**Proces przechodzenia od gospodarki zbieracko-łowieckiej do aktywnych form wytwarzania żywności był długotrwały. Nowy typ gospodarki, w której człowiek stał się producentem żywności, był przyczyną całego łańcucha nowych zjawisk, wynalazków i przemian.**

**W wyniku interwencji w mechanizm naturalnego doboru pojawiły się udomowione odmiany gatunków roślin i zwierząt odpowiadające ludzkim potrzebom.**

**Członkowie afrykańskiego nomadycznego ludu Hadza świadomie odrzucali rolnictwo jako sposób pozyskiwania pokarmu na rzecz gospodarki zbieracko-łowieckiej, która była mniej czasochłonna.**

**Stale przebywanie w tych samych pomieszczeniach i w większych skupiskach, w warunkach dalekich od wymogów higieny, sprzyjało szerzeniu się chorób. Praca rolników była cięższa niż wysiłek zbieraczy. Jednak droga, na którą ludzie wtedy wstąpili, doprowadziła ich w VI tysiącleciu do uformowania pierwszych miast, wczesnych organizacji państwowych, powstania pisma, nie była z pewnością łatwa.**



**Według Wiercińskiego [1994] w okresie neolitu nastąpił u człowieka rozwój funkcji umysłowych odpowiedzialnych za pragmatyzm kosztem funkcji intuicyjnych i wyobrazeniowych, ściśle związanych z religią i „transcendencją”. Z punktu widzenia ewolucyjnego mamy do czynienia z regresem. W ramach tej teorii długi okres paleolitu był złotym wiekiem, w urzeczywistnieniu potencjału „człowieczeństwa”. To, co specyficznie ludzkie, zrealizowaliśmy zatem w paleolicie – potem powróciła w nas małpa.**

**Konsekwencją neolitu jest wypracowanie precyzyjnych koncepcji czasu. Uprawa roślin wymaga myślenia z wielomiesięcznym wyprzedzeniem. Jak można przypuszczać, pogłębiona obserwacja rytmu przyrody i ciał niebieskich nie tylko doprecyzowała kalendarz, lecz także spowodowała rozwój myślenia w kategoriach przewidywalnych regularności.**

**Centra różnorodności dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych w oparciu o metodę systematyczno- geograficzną wyznaczył Wawiłow [1926, 1935], który wykazał, że na pewnych obszarach, w obrębie gatunku, występuje szczególnie duże zróżnicowanie morfologiczne. Wawiłow wyodrębnił, pierwotnie, 8 ośrodków pochodzenia roślin uprawnych**

**Dane dotyczące wysokości plonów we wczesnych etapach rozwoju rolnictwa mogą dostarczyć nowych informacji na temat czynników, które przyspieszyły przejście od gospodarki łowiecko-zbierackiej do uprawy roślin.**

**Zainicjowane w Żytnym Półksiężycu technologie uprawy zbóż rozprzestrzeniły się z sukcesem w Starym Świecie.**

**W szacowaniu plonów zbóż pochodzących ze stanowisk archeologicznych należy uwzględnić warunki środowiskowe i genetyczne:**

- **dostępność wody,**
- **zawartość CO<sub>2</sub> w powietrzu,**
- **indeks żniwny**
- **oraz stosunek stabilnych izotopów węgla.**

- Araus i wsp. [2001] szacują plony ziarna pszenicy pochodzącej z okresu 9550–8630 bp na  $1,48 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .
- W Mezopotamii (ok. 4400 bp, w okresie brązu) plony nawadnianej nagoziarnistej pszenicy i jęczmienia obliczono (uwzględniając masę hektolitra 75 kg i 60 kg odpowiednio dla pszenicy i jęczmienia) na około na  $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a dla płaskurki (*Triticum dicoccum* – o masie hektolitra ok. 50 kg) plon wyniósł blisko  $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .
- W Egipcie w okresie (4700–4310 bp) plony pszenicy, po corocznym wylewie Nilu wahały się od 1,2 do  $2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .
- Bakers [2019] oszacował plony pszenicy na początku I wieku Cesarstwa Rzymskiego na terenie dzisiejszych Włoch na 8 – 10 ziaren z każdego wysianego ziarna, co przy wysiewie  $135 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  odpowiada plonom z 1 ha od 1,08 do 1,35 t. W tym samym czasie w podbitym przez rzymian Egipcie średnie plony pszenicy wynosiły  $1,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i dlatego Egipt uważny był za spichlerz Rzymu.

**Na ziemiach Polski około 4000 bp uprawiano żyto, jęczmień, owies, Pierwsze ślady uprawy pszenicy pochodzą sprzed 3000 bp.**

**Informacje o plonach zbóż w Europie w czasach historycznych są fragmentaryczne i słabo udokumentowane. W latach 1350–1399 w Anglii plony ziarna liczone w stosunku do liczby zasianych ziaren były następujące:**

- pszenica – 4,3,**
- jęczmień – 4,0,**
- owies – 2,9.**

**Szacunkowe średnie plony ziarna zbóż wynosiły Anglii, w latach 1250 – 1450 od 0,47 do 1 t·ha<sup>-1</sup>.**

**Plony pszenicy w Niemczech na początku XIV wieku wynosiły 0,5 t·ha<sup>-1</sup>. i do końca XIX wieku wzrosły do 1,9 t·ha<sup>-1</sup>.**

**W połowie XIX wieku średni plon ziarna w Rosji był na poziomie 0,6 t·ha<sup>-1</sup>.**

**W latach 1822–1827 przeciętne plony 4 zbóż w Królestwie Polskim [GUS 2006] wynosiły średnio w t·ha<sup>-1</sup>: pszenicy – 0,83, żyta – 0,57, jęczmienia 0,71 i owsa – 0,64.**

**Pod koniec XIX wieku plony zbóż w Wielkopolsce i Anglii wynosiły około 1,9 t·ha<sup>-1</sup>.**

**Z powyższych danych wynika, że plony ziarna zbliżone do średnich w epoce brązu w Mezopotamii i w starożytnym Egipcie uzyskano, w większości krajów Europy, dopiero na początku XX wieku.**

**Po 10 000 latach udomowiania różnych gatunków pszenic w XXI w. znaczenie gospodarcze mają dwa gatunki: pszenica zwyczajna i pszenica twarda, a bardzo ograniczone w malejącej kolejności pszenica płaskurka, pszenica orkisz i pszenica samopsza.**



# Zielona Rewolucja

*„nowoczesne odmiany najbardziej przyczyniły się do tego, że światowa produkcja żywności powiększała się szybciej niż liczba ludności”*

**Norman E. Borlaug**



**Norman Borlaug w latach czterdziestych XX wieku zaczął prowadzić badania w Meksyku nad wyhodowaniem wysoko wydajnych, karłowych, odpornych na choroby odmian pszenicy, u których indeks żniwny (HI) wynosił około 50%.**

**Nowe odmiany zostały kojarzone z nowoczesnymi technologiami uprawy, co spowodowało, że ciągu kilku lat Meksyk produkował więcej pszenicy, niż wynikało to z jego potrzeb, co doprowadziło do tego, że w latach sześćdziesiątych stał się eksporterem pszenicy, a przed wprowadzeniem nowych odmian importował prawie połowę podaży pszenicy. Dzięki sukcesowi Zielonej Rewolucji w Meksyku nowe odmiany wraz z technologiami uprawy rozprzestrzeniły się, w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku, na całym świecie.**

**W latach czterdziestych XX wieku Stany Zjednoczone pokrywały zapotrzebowanie na pszenicę w 50%, a po zastosowaniu technologii Zielonej Rewolucji stały się samowystarczalne w latach pięćdziesiątych, a od lat sześćdziesiątych stały się eksporterem.**

**W 1953 roku Borlaug uzyskał krzyżówkę japońskiej odmiany karłowej Norin 10 z amerykańską odmianą Brevor14. Linia Norin 10/Brevor 14 była półkarłem o źdźble skróconym od 30 do 50% w stosunku do normalnych form, silnie się krzewiła. Dalsze badania wykazały, że krzyżówka gromadziła w ziarnie więcej asymilatów niż formy wyjściowe dając wyższe plony.**

**Na grunt Indii Zieloną Rewolucję przeniósł M.S. Swaminathan (Ojciec Ekologii Ekonomicznej), dzięki czemu kraj ten stał się samowystarczalny w produkcji żywności [Gardner, 2010]. W 1966 roku Indie zakupiły nasiona odmian półkarłowych pszenicy w Meksyku, a już w 1968 roku zebrano 17 milionów ton ziarna w porównaniu z 12 milionami w 1964 roku. Brakowało magazynów na przechowywanie ziarna i na obszarach wiejskich pszenicę gromadzono w szkolnych klasach. Dlatego w tym roku w Indiach wydrukowano znaczek pocztowy z pszenicą i napisem pszeniczna rewolucja.**

**W uznaniu wybitnej roli Borlauga w zwiększeniu globalnej produkcji żywności został on nagrodzony Pokojową Nagrodą Nobla w 1970 roku. Dzień 10 grudnia 1970 roku, gdy N.E. Borlaug odbierał Pokojową Nagrodę Nobla w Oslo w Norwegii był w pewnym sensie symboliczny: życie zatoczyło wielki krąg - potomek norweskich emigrantów, którzy opuścili ojczyznę z powodu głodu i nędzy powraca do niej, aby otrzymać jedną z najwyższych na świecie nagród za rolę, jaką odegrał w zwalczaniu głodu. Dr Borlaug jest do dziś jedynym naukowcem związanym z rolnictwem nagrodzonym nagrodą Nobla.**

Podczas wykładu noblowskiego z okazji przyznania Nagrody Nobla Borlaug powiedział, że „**Zielona Rewolucja wygrała wojnę człowieka z głodem**”. Ponadto w swoim przemówieniu laureat ostrzegał, że osiągnięcia wiedzy rolniczej, które pozwoliły na zwiększenie produkcji żywności zwane zieloną rewolucją, uhonorowane Pokojową Nagrodą Nobla jest tylko otwarciem małego okienka, chwilą oddechu w ciągłej walce o sprostanie zapotrzebowaniu na wyżywienie coraz liczniejszej ludzkości.

**W celu zapewnienia ludzkości dostatku żywności , ... niezbędna jest nieustanna Zielona Rewolucja” [Borlaug 2000a, b] . W celu zwiększenia światowej produkcji żywności twórca Zielonej Rewolucji wymienia przede wszystkim:**

**1. Wykorzystanie rezerwowych obszarów uprawy istniejących np. w państwach byłego ZSRR lub Brazylii. Są to setki milionów hektarów gleb o niekorzystnej zawartości niektórych składników (np. regionie Cerrado w Brazylii, zajmującym obszar około 200 mln ha, występują przede wszystkim gleby o niskim pH, małej zawartości substancji organicznej i dużej żelaza i glinu) lub gleby wyjątkowo żyzne lecz nieumiejętnie użytkowane (np. Ukraina).**

**2. Kontynuowanie Zielonej Rewolucji w Afryce.**

**3. Hodowlę nowych odmian, w tym mieszańcowych, o zmienionej architekturze i przystosowanych do skrajnie niekorzystnych warunków środowiska, przy lepszym wykorzystaniu zasobów genowych i zastosowaniu**

**biotechnologii**

**. W latach 60. XX wieku liczba ludności na Ziemi przekraczała 3 mld i od tego czasu do chwili obecnej zwiększała się średnio co 12 lat o 1 miliard. Oznacza to, uwzględniając śmiertelność na Ziemi na poziomie 56 mln, że każdego roku przybywa około 140 mln istnień, co w przeliczeniu na 1 minutę wynosi 266 osób.**

**Wszystkie scenariusze demograficzne przewidują, w porównaniu z drugą połową XX w., zmniejszenie tempa przyrostu liczby ludności na Ziemi. Czas potrzebny na wzrost populacji o 1 miliard wydłuży się z 12 do 20–37 lat. Według badań Vollseta i wsp. [2020] analiza prognostyczna scenariuszy dotyczących płodności, śmiertelności, migracji i populacji dla 195 krajów i terytoriów od 2017 do 2100 r. przewiduje między innymi, że:**

- **maksymalna liczba ludności na Ziemi w 2064 r. wyniesie 9,7 mld, a w 2100 roku zmniejszy się do 8,8 mld,**
- **w 2100 roku kraje o największej liczbie ludności na świecie to (mln): Indie – 1090, Nigeria – 791, Chiny – 732, USA – 336 i Pakistan – 248.**

**W wyniku Zielonej Rewolucji w latach 1961–2019 średnie plony zbóż z 1 ha wzrosły z 1,35 do 4,11 t (204 %), globalna produkcja z 877 do 2976 mln t ( 239 %), a produkcja na 1 mieszkańca o 36%. Należy dodać, że uzyskane wyżej wskaźniki otrzymano przy wzroście powierzchni uprawy zbóż o 12% .**



**Podstawowym problemem świata w 2100 roku nie będzie widmo przeludnienia, lecz starzejący się świat i problemy związane z opieką nad starzejącą się populacją. Należy zaznaczyć, że dzięki poprawie opieki zdrowotnej i higieny oraz lepszemu odżywianiu wydłuży się średnia długość życia.**

**W zależności od przyjętego na lata 2050–2100 scenariusza rozwoju demograficznego, przy średniorocznym wzroście plonów 48-56 kg i areale uprawy zbóż 700 mln ha, roczna produkcja ziarna na 1 mieszkańca w latach 2030–2100 waha się od 387 do 688 kg.**

W kolejnym kroku analizy założono, że potrzeby pokarmowe człowieka zabezpiecza roczna produkcja na osobę 400 kg ziarna. Przy zapotrzebowaniu na powierzchnię uprawy zbóż uwzględniającej poziom rocznej produkcji na 1 mieszkańca 400 kg oraz przy założonych wskaźnikach średniorocznego przyrostu plonów i przyjętego na lata 2050–2100 scenariusza rozwoju demograficznego obliczono, że **w 2100 roku powierzchnia uprawy zbóż, w porównaniu z 2030 rokiem może zmniejszyć się o ponad 40%.**

Postęp biologiczny, który dokonał się w latach 1961–2019 w zakresie hodowli zbóż, ilustrują tabele 3 i 4. W omawianym okresie średnioroczny przyrost plonów pszenicy wynosił  $42,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a powierzchnia uprawy pszenicy zwiększyła się o 5,7%, plony i globalna produkcja wzrosła o ponad 240%, a produkcja ziarna w ciągu roku przypadająca na 1 osobę o 37% (tab. 4). **Gdyby plony utrzymały się na poziomie 1961 roku, a produkcja ziarna pszenicy byłaby taka jak w 2019 r. należałoby zwiększyć areal uprawy pszenicy do 743 mln ha, co oznacza, że powierzchnia uprawy pszenicy byłaby o 2,7% większa od arealu uprawy na świecie wszystkich gatunków zbóż.**

**W latach 1961–2019 największy wzrost powierzchni uprawy wystąpił u kukurydzy, a następnie kolejno w mniejszym stopniu u ryżu i pszenicy, natomiast największe obniżki wystąpiły u owsa, żyta i prosa), a średnioroczny przyrost plonów dla trzech najważniejszych gatunków zbóż (kukurydza, ryż i pszenica) wynosił  $52,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .**

**Początki uprawy roślin i ich udomowienie doprowadziły po 10 000 latach do Zielonej Rewolucji. Pozornie to dwa przeciwstawne światy lub bieguny, które łączą prawa Mendla i tajemnica podwójnej spirali DNA. W niestabilnym klimatycznie świecie jawi się pytanie, jaka będzie przyszłość rolnictwa i czy zaspokoi ono potrzeby żywieniowe wzrastającej liczby ludności.**

Tabela 3

## Produkcja zbóż w świecie w latach 1961–2019 i prognoza na 2023 rok

Lata	Liczba ludności świata [mld]	Powierzchnia uprawy [mln ha]	Plon [ $t \cdot ha^{-1}$ ]	Zbiór [mln t]	Produkcja na 1 osobę [kg]
1961	3,08	648	1,35	877	285
1971	3,76	687	1,89	1300	345
1981	4,52	727	2,25	1632	361
1991	5,38	704	2,69	1890	351
2001	6,20	673	3,14	2110	340
2011	6,97	707	3,66	2589	371
2014	7,22	721	3,91	2819	390
2018	7,55	728	4,07	2963	392

## Produkcja zbóż w świecie w latach 1961–2019 i prognoza na 2023 rok

Lata	Liczba ludności świata [mld]	Powierzchnia uprawy [mln ha]	Plon [ $t \cdot ha^{-1}$ ]	Zbiór [mln t]	Produkcja na 1 osobę [kg]
2019	7,66	724	4,11	2976	389
2023	8,00	720	4,33	3118	390
(2019/1961)*100 [%]	149	12	204	239	36

Tabela 4

## Produkcja pszenicy w latach 1961–2019

Wyszczególnienie	Liczba ludności świata [mld]	Powierzchnia uprawy [mln ha]	Plon [ $t \cdot ha^{-1}$ ]	Zbiór [mln t]	Produkcja na 1 osobę	
					[ $kg \cdot rok^{-1}$ ]	[ $g \cdot dzień^{-1}$ ]
1961	3,08	204,2	1,09	224,4	72,9	200
2019	7,66	215,9	3,50	765,8	100,0	274
(2019/1961)*100 [%]	148,7	5,7	243,7	241,3	37,2	



# zmiany klimatyczne



*Ile razy spojrzęła w okno swej izdebki, tyle razy  
widzieć go mogła, jak z ogromnego komina fabryki walił  
sinym słupem.*

**Dym – M. Konopnicka**

*Zmiana klimatu jest bez wątpienia jednym z poważniejszych,  
jeśli nie najpoważniejszym, wyzwaniem cywilizacyjnym, z  
jakim ludzkość mierzy się na początku XXI wieku.*

**IPCC [2018]**



**Philipp J. de Loutherbourg: huta Coalbrookdale w nocy**

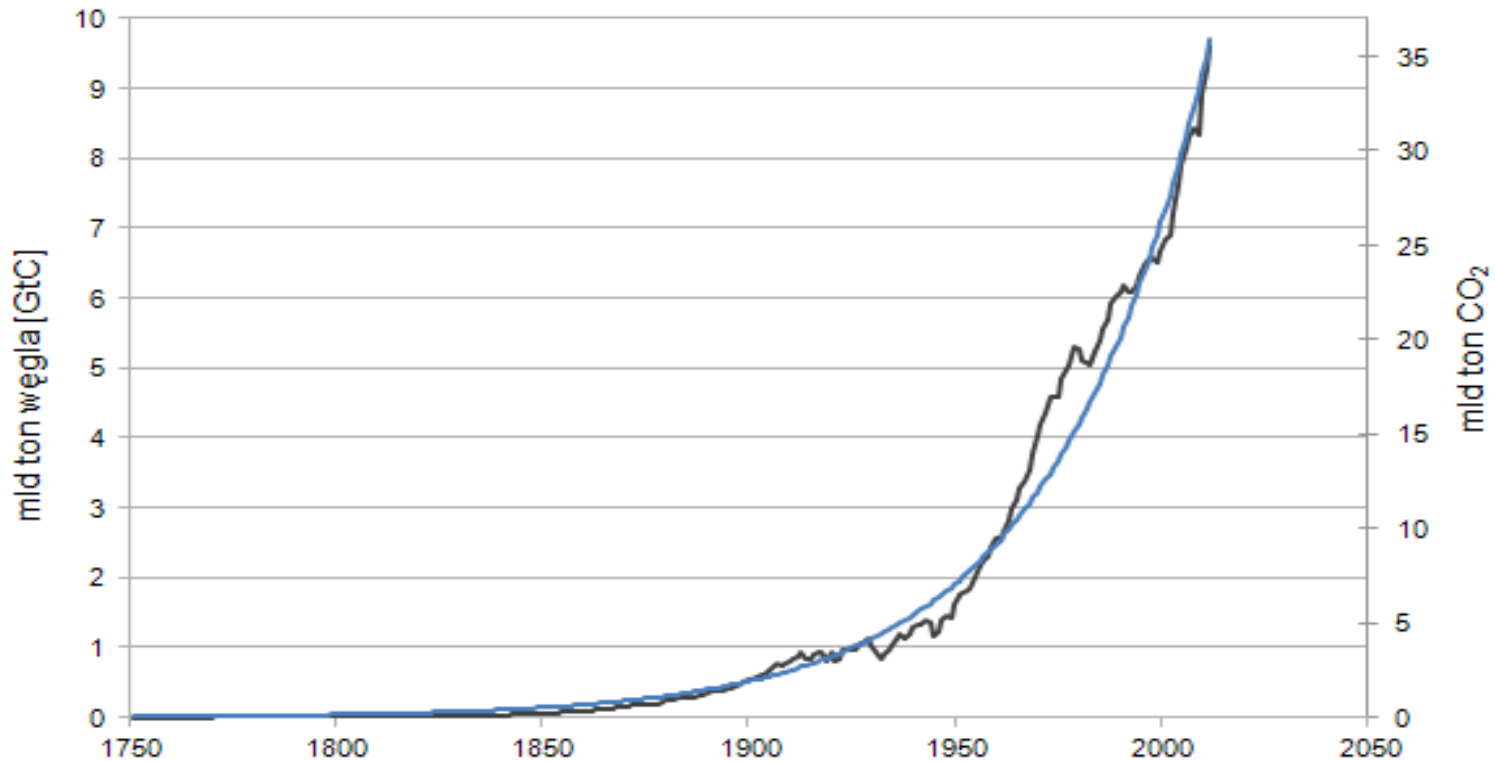
**Nikt nie zna przyszłości, lecz można się starać ją przewidzieć.  
Przyszłość rolnictwa będzie zależała od tempa zmian klimatycznych.**

Trwające od 1751 roku emisje dwutlenku węgla, związane z Rewolucją Przemysłową, można opisać za pomocą funkcji wykładniczej, w której emisje rosną o stałą wartość 2,8% rocznie, co skutkuje ich podwojeniem co 25 lat. Wzrost zawartości w atmosferze CO<sub>2</sub> spowodowany emisjami dwutlenku węgla powstałymi na skutek spalania paliw kopalnych ilustruje rysunek 2.

**W 1750 roku wydobycie paliw kopalnych w przeliczeniu na węgiel wynosiło 3 mln ton, a w 20220 roku 32,3 Gt co oznacza blisko 11 000 krotny wzrost.**

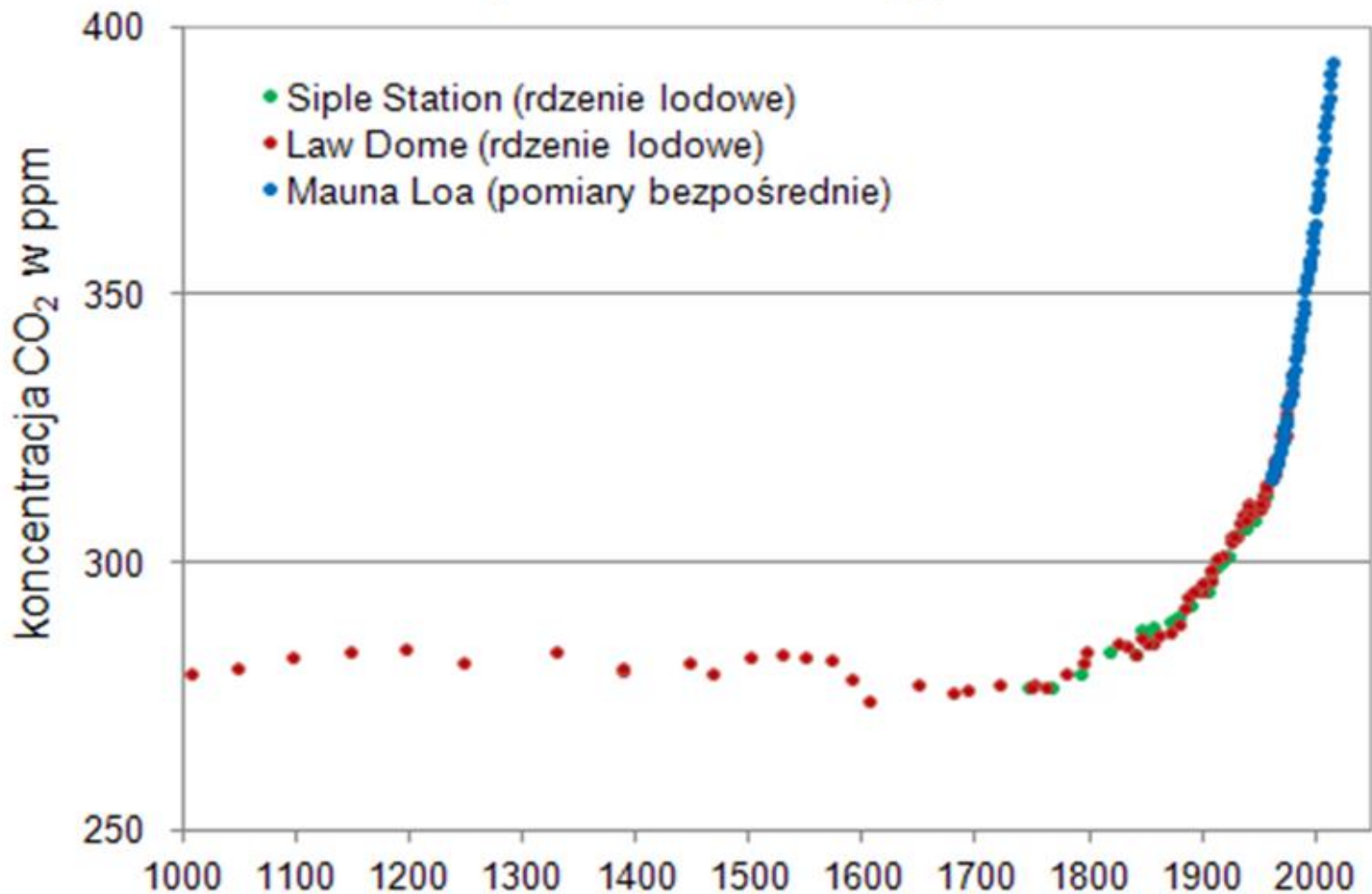
**W 2020 roku w skali świata największy [%] udział w emisji CO<sub>2</sub> mają: Chiny – 29, USA – 14, UE – 10, w tym Niemcy – 2, Indie – 7, Federacja Rosyjska – 4, Japonia – 3, reszta świata – 33.**

## Zmiany emisji dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych w latach 1751-2012



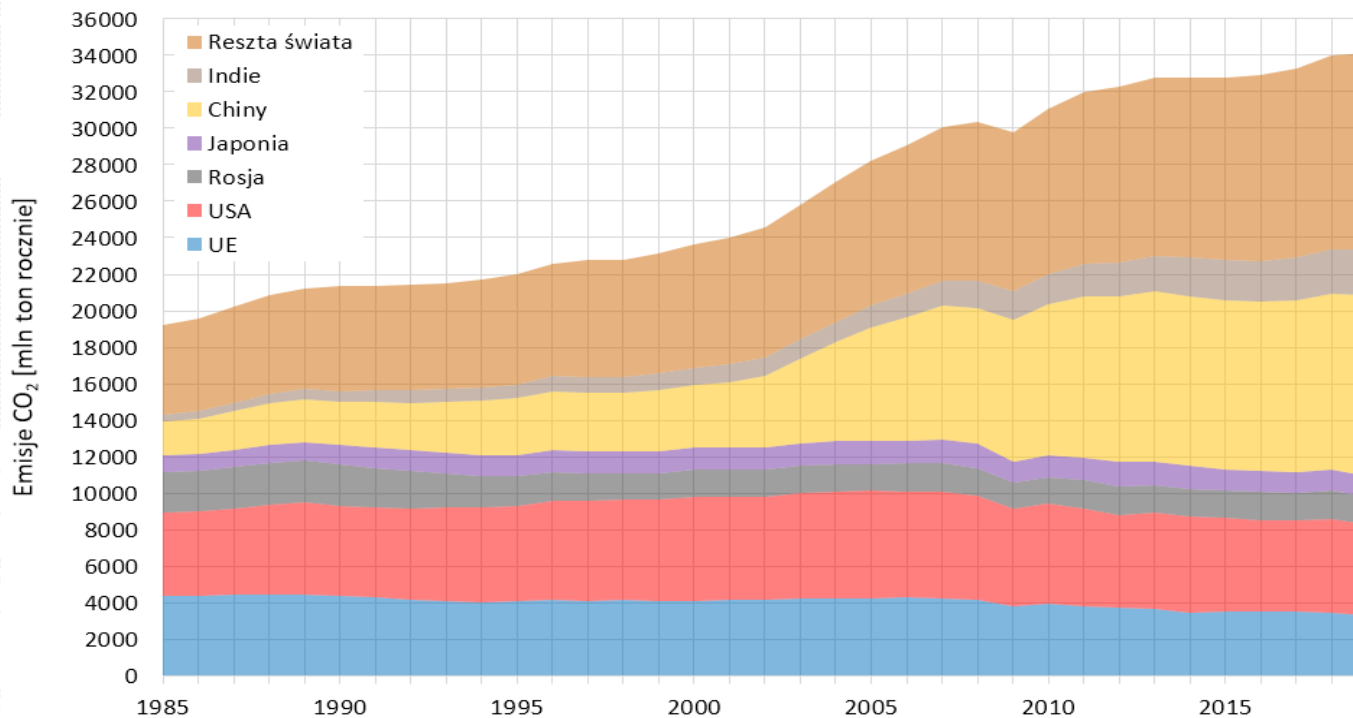
Rys. 1. Zmiany emisji dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych (czarna linia)  
źródło: [CDIAC](#)

## Koncentracja dwutlenku węgla w atmosferze



Rys. 2. Zmiany zawartości w atmosferze CO<sub>2</sub> w ppm w ciągu ostatnich 1100 lat.  
Źródła: [Siple Station Ice Core, CDIAC](#); [Law Dome, CDIAC](#); [Mauna Loa, NOAA Earth System Research Laboratory](#)

### Emisje CO<sub>2</sub> ze spalania paliw kopalnych



Rys. 3. Światowe emisje dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych według [BP Statistical Review of World Energy 2020](#)

Emisje CO<sub>2</sub> w UE powoli spadają. Węgiel jest w głębokim odwrocie i zastępują go odnawialne źródła energii oraz gaz ziemny, który uważany jest przez Komisję Europejską obok energii atomowej za zieloną energię. W porównaniu z gazem ziemnym produkcja 1 GJ energii uzyskanej z węgla brunatnego wiąże się ze zwiększoną o 89% emisją CO<sub>2</sub>. **UE przyjęła cel neutralności klimatycznej (obniżenia wypadkowych emisji gazów cieplarnianych do zera) do 2050 roku. Średnioterminowym celem na 2030 rok jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 40% względem poziomu z 1990 roku. Nie wystarczy to jednak do realizacji założeń Porozumienia Paryskiego i dlatego. Komisja Europejska proponuje ograniczenie emisji do 50–55%.**

**W latach 1986–2012 wyemitowano do atmosfery więcej CO<sub>2</sub> niż w okresie 1751–1985. Kontynuacja tego scenariusza oznaczałaby, że w latach 2010–2050 emisje CO<sub>2</sub> wzrosną trzykrotnie, do poziomu 100 Gt rocznie.**



**Model emisji gazów cieplarnianych RCP 8.5 oznacza utrzymanie aktualnego tempa wzrostu emisji gazów cieplarnianych, w formule biznes jak zawsze i osiągnięcie w 2100 r. stężenia CO<sub>2</sub> na poziomie 1370 ppm oraz wymuszenia radiacyjnego 8.5 W·m<sup>-2</sup>. Średnia temperatura Ziemi wzrośnie o 4.5°C względem epoki przedindustrialnej. Scenariusz ten z 95% prawdopodobieństwem oznacza nieodwracalną destabilizację klimatu Ziemi.**

**Jeśli chcemy zmniejszyć do końca tego stulecia wzrost średniej temperatury poniżej 2°C, to należy ograniczyć sumaryczne emisje w okresie 2020–2100 do około 1000 Gt C.**

**Zarówno symulacje numeryczne modelami klimatu, jak i badania paleoklimatyczne oraz pomiary bezpośrednie pokazują, że podwojenie w atmosferze ilości CO<sub>2</sub> z 280 ppm (okres przedprzemysłowy) do 560 ppm odpowiada wymuszaniu radiacyjnemu 3,7 W·m<sup>-2</sup> i wzrostowi średniej temperatury powierzchni Ziemi, względem epoki przedindustrialnej, najprawdopodobniej o około 3°C. Aby temperatura wzrosła o kolejne 3°C, potrzebny będzie dalszy wzrost stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze z 560 ppm do 1120 ppm.**

**Wyniki obliczeń dotyczące wpływu skumulowanych emisji C na wzrost temperatury zawarte w tabeli 11 oparto na następujących założeniach:**

- w atmosferze – zostaje jedynie około 45% wszystkich emisji CO<sub>2</sub>,
- aby atmosferyczne stężenie CO<sub>2</sub> wzrosło o 1 pom, w atmosferze musi przybyć 2,12 Gt C,
- zależność pomiędzy stężeniem CO<sub>2</sub> w atmosferze a powodowanym przez niego wzrostem wymuszania radiacyjnego ma charakter logarytmiczny  $RF = 5,35 \cdot \ln(C/C_0)$ , gdzie: RF to wymuszanie radiacyjne wyrażone w W·m<sup>-2</sup>, C – koncentracja CO<sub>2</sub> wyrażona w ppm, C<sub>0</sub> – referencyjna koncentracja CO<sub>2</sub> przed Rewolucją Przemysłową – 280 ppm.

**Dekarbonizacja gospodarki lansowana przez Komisję Europejską odstaje od światowych trendów ekonomicznych i geopolitycznych, gdzie paliwa kopalne dominują. W porównaniu z 2010 rokiem w 2020 roku, pomimo pandemii, która zmniejszyła produkcję energii na świecie w stosunku do 2019 r. o 5,1%, nastąpił blisko 8% wzrost udziału paliw kopalnych w pozyskiwaniu energii (tab. 5. W 2020 roku w strukturze energii pochodzącej z paliw kopalnych dominowała ropa naftowa – 36,6%, a następnie kolejno mniejszy był udział węgla – 33,9 i gazu ziemnego – 29,5%.**

## Produkcja paliw kopalnych na świecie i energii w latach 2010–2020

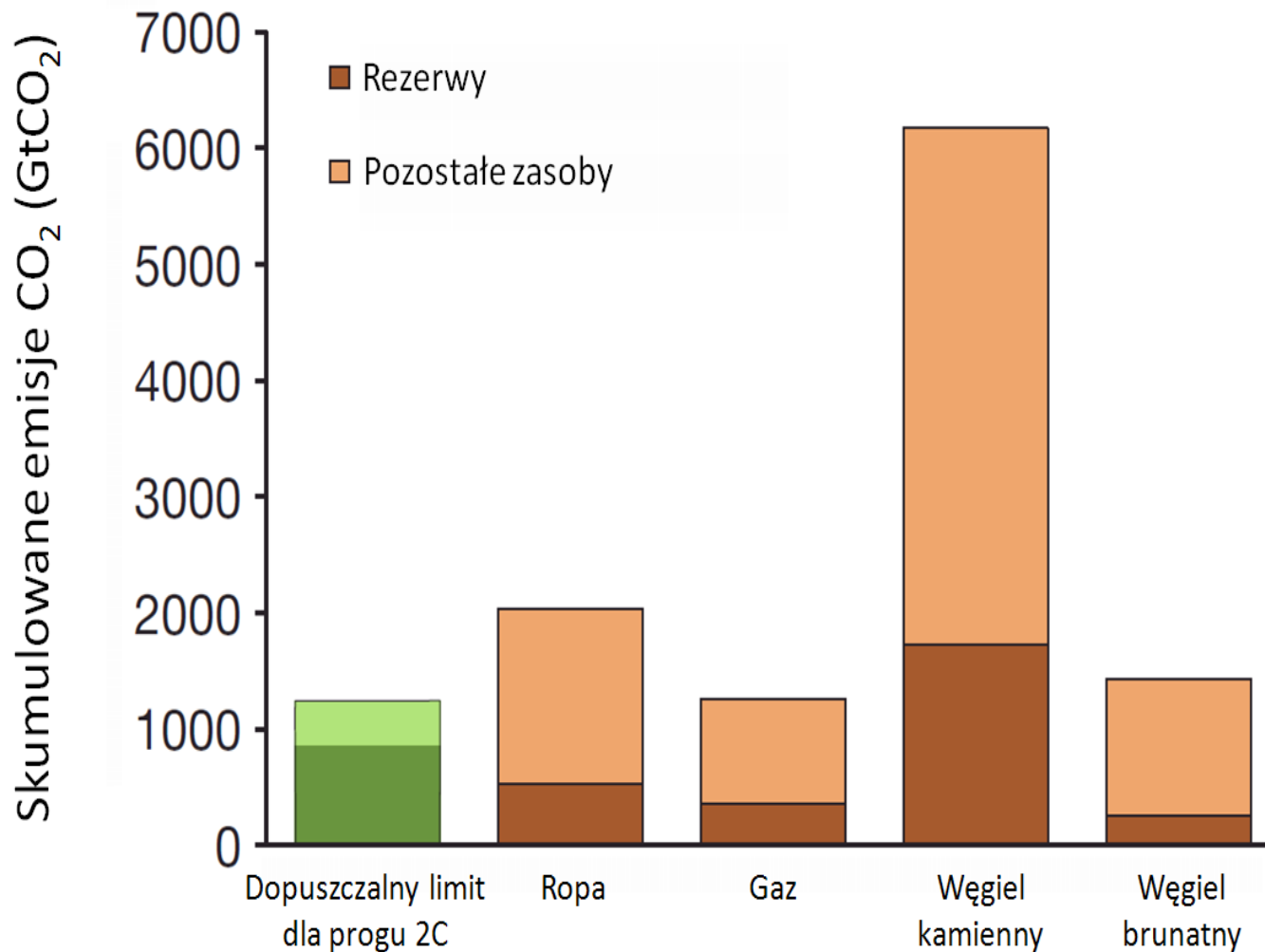
Wyszczególnienie		Lata		Zmiana 2020/2010* 100 [%]
		2010	2020	
Ropa	Gt	3,99	4,16 4,48**	12,3**
	*EJ	172,5	172,4 191,9**	11,3**
Gaz ziemny	mld m <sup>3</sup>	3151	3854	22,3
	*EJ	113,4	138,7	22,3
Węgiel	Gt	8,97	10,94	22
	*EJ	150,8	159,6	5,8

\*EJ =  $10^{18}$  J; \*\* dane z 2019 roku

# Produkcja paliw kopalnych na świecie i energii w latach 2010–2020

Wyszczególnienie		Lata		Zmiana 2020/2010*
		2010	2020	100 [%]
Energia z paliw kopalnych razem	*EJ	436,7	470,7	7,8
Łączna produkcja energii w świecie		505,4	551,8	9,2
Udział paliw kopalnych w produkcji energii	%	86,4	85,3	–

\*EJ =  $10^{18}$  J



**Dopuszczalny limit emisji dla progów wzrostu temperatury o 2°C oraz skumulowane emisje ze spalania różnych paliw kopalnych. [Mc Glade i Ekins 2015].**

Przy aktualnym stanie atmosfery i poziomemu emisji CO<sub>2</sub> docelowy wzrost temperatury zależy od sumarycznych emisji. **Dlatego zasadne jest pytanie, ile dwutlenku węgla można jeszcze wyemitować, żeby nie przekroczyć progu ocieplenia o 2°C?**

**Zmiany klimatu wpływają na produkcję rolną na co najmniej sześć sposobów [Olesen i wsp. 2011]. Można wyróżnić trzy efekty bezpośrednie spowodowane wpływem:**

- rosnącego stężenia CO<sub>2</sub> na produktywność upraw i efektywność wykorzystania wody i składników pokarmowych,
- zmian temperatury, opadu, promieniowania słonecznego i wilgotności itd. na rozwój roślin i na wysokość plonu,
- zmiany strat spowodowanych szkodliwymi zjawiskami pogodowymi (np. fale upałów, mrozy i przymrozki, susze, opady intensywne i powodzie),



## **oraz trzy efekty pośrednie dotyczące zmiany:**

- **przydatności różnych gatunków i odmian roślin uprawnych na danym obszarze (w szczególności zmiana zasięgu roślin ciepłolubnych w kierunku północnym),**
- **odżywiania roślin, występowania chwastów, szkodników i chorób,**
- **w środowisku glebowym: wymywanie składników pokarmowych lub erozja gleb.**

**Efekt korzystnego działania zwiększonej zawartości dwutlenku węgla w atmosferze na plonowanie, udowodniony w badaniach laboratoryjnych i uwzględniany w dotychczasowych symulacjach plonowania w warunkach zmiany klimatu, okazał się przeszacowany w stosunku do wyników z badań polowych. Miał on zmniejszać niekorzystne skutki niedoborów wody. Stwierdzono, że plony pszenicy ozimej w okresie 1981–2002 zwiększyły się z powodu wzrastającej zawartości dwutlenku węgla w atmosferze tylko o 0,5%, choć wcześniej sądzono, że powinny globalnie wzrosnąć o 3,5%. Przyczyną tak małego wzrostu plonów mogą być okresowe susze i wysokie temperatury powietrza występujące coraz częściej ze względu na zmiany klimatu. Nakazem chwili jest szybkie rozpoznawanie zagrożeń wynikających ze zmian klimatu i adaptacja roślin poprzez hodowlę nowych odmian i stosowanie zmian w agrotechnice.**

Istotnym zagadnieniem dla współczesnej hodowli, wobec przesunięcia się na północ upraw roślin „krótkiego dnia” (soja, kukurydza, słonecznik), jest poznanie genetycznych uwarunkowań sterujących sukcesją faz rozwojowych. Wielkie firmy biotechnologiczne w ciągu ostatnich lat zgłosiły do opatentowania wiele konstrukcji genowych, których wprowadzenie do genomu roślinnego warunkuje odporność na patogeny, suszę, zasolenie, zatapianie i inne czynniki środowiska, a ich wpływ na plonowanie będzie coraz większy w miarę postępującego ocieplania się klimatu. **Nowe metody tworzenia zmienności genetycznej i jej wykorzystania w hodowli twórczej są aktualnie największym wyzwaniem dla całego przemysłu nasiennego [Arseniuk i Anioł 2009].**

**•W okresie globalnego ocieplenia produkcja roślinna powinna bazować na:**

**•zrównoważonym rozwoju,**

**•niskoemisyjnych technologiach uprawy i genotypach dostosowanych do ciągle zmieniających się warunków pogodowych.**

**Termiczny zegar zwany globalnym ociepleniem przyśpiesza i oby nie zabrakło nam czasu na jego wyhamowanie i zatrzymanie.**

# Podsumowanie

Gospodarka rolnicza powstała niezależnie w wielu różnych regionach świata mniej więcej w tym samym czasie w historii ludzkości. Synchronizacja nowego sposobu gospodarowania na świecie wskazuje, że czynnik globalny mógł regulować przejście od gospodarki łowiecko-zbierackiej do rolniczej produkującej żywność.

Czynnikiem globalnym mógł być wzrost zawartości w atmosferze CO<sub>2</sub> z poniżej 200 do 270 ppm, który miał miejsce między 15 000 bp a 12 000 bp.

**Za punkt przelomowy podczas zamierzonego i długotrwałego udomowiania roślin można uznać uświadomienie sobie, że to do siewu, a nie do spożycia należy wybierać najlepsze nasiona.**

**Po 10 000 latach udomowiania różnych gatunków pszenic w XXI w. znaczenie gospodarcze mają dwa gatunki: pszenica zwyczajna i pszenica twarda, a bardzo ograniczone w malejącej kolejności pszenica płaskurka, pszenica orkisz i pszenica samopsza.**

**W wyniku Zielonej Rewolucji w latach 1961–2019 średnie plony zbóż z 1 ha wzrosły o 204, globalna produkcja o 239, a produkcja na 1 mieszkańca o 36%, przy wzroście liczby ludności świata o 148%. Należy dodać, że uzyskane wyżej wskaźniki otrzymano przy zwiększeniu powierzchni uprawy zbóż o 12%.**

**Według Borlauga transformacje roślin – wobec ograniczeń klasycznych metod hodowli mogą odegrać znaczącą rolę w dalszym zwiększaniu światowej produkcji żywności, gdyby umożliwiły:**

- przeniesienie odporności na rdzę z ryżu do innych zbóż,**
- zwiększenie tolerancji na stresy abiotyczne (szczególnie dla obszarów nawadnianych),**
- lepsze wykorzystanie nawozów (np. pszenica ze zwiększoną zawartością,**
- dehydrogenazy Glu plonuje wyżej o 29%),**
- uzyskanie odmian ziemniaka i ryżu odpornych na wirusy,**
- ulepszenie jakości ziarna, np. zwiększenie zawartości witaminy A i żelaza u ryżu miałyby duże znaczenie dla milionów ludzi ze ślepotą i anemią.**

**Początki uprawy roślin i ich udomowienie doprowadziły po 10 000 lat do Zielonej Rewolucji. Pozornie to dwa przeciwstawne światy lub bieguny łączą prawa Mendla i tajemnica podwójnej spirali DNA. W niestabilnym klimatycznie świecie jawi się pytanie, jaka będzie przyszłość rolnictwa i czy zaspokoi ono potrzeby żywieniowe wzrastającej liczby ludności.**

**W porównaniu z 2010 rokiem w 2020 roku, pomimo pandemii, która zmniejszyła produkcję energii w stosunku do 2019 r. o 5,1%, nastąpił blisko 8% wzrost udziału paliw kopalnych w pozyskiwaniu energii. W 2020 roku w strukturze spożycia energii pochodzącej z paliw kopalnych dominowała ropa naftowa – 36,6%, a następnie kolejno mniejszy był udział węgla – 33,9 i gazu ziemnego – 29,5%.**



**W latach 1986–2012 wyemitowano do atmosfery więcej CO<sub>2</sub> niż w okresie 1751–1985. Kontynuacja tego scenariusza oznaczałaby, że w latach 2010–2050 emisje CO<sub>2</sub> wzrosną trzykrotnie, do poziomu 100 Gt ton rocznie.**

**Zarówno symulacje numeryczne modelami klimatu, jak i badania paleoklimatyczne oraz pomiary bezpośrednie pokazują, że podwojenie w atmosferze ilości CO<sub>2</sub> z 280 ppm (okres przedprzemysłowy) do 560 ppm odpowiada wymuszaniu radiacyjnemu 3,7 W.m<sup>-2</sup> i wzrostowi średniej temperatury powierzchni Ziemi, względem epoki przedindustrialnej, najprawdopodobniej o około 3°C**

**Efekt korzystnego działania zwiększonej zawartości dwutlenku węgla w atmosferze na plonowanie, udowodniony w badaniach laboratoryjnych i uwzględniany w dotychczasowych symulacjach plonowania w warunkach zmiany klimatu, okazał się przeszacowany w stosunku do wyników z badań polowych.**

**Nakazem chwili jest szybkie rozpoznawanie zagrożeń wynikających ze zmian klimatu i adaptacja roślin poprzez hodowlę nowych odmian i stosowanie zmian w agrotechnice.**

**W okresie globalnego ocieplenia produkcja roślinna powinna bazować na:**

- zrównoważonym rozwoju;**
- niskoemisyjnych technologiach uprawy i**
- genotypach dostosowanych do ciągle zmieniających się warunków pogodowych.**



Dziękuję za uwagę