

Jan Kozłowski, Jerzy Szwagrzyk

ROLA LASÓW W OBIEGU WĘGLA W PRZYRODZIE, PERSPEKTYWA GLOBALNA I REGIONALNA NA NAJBLIŻSZE DZIESIĘCIOLECIA

Wstęp

Nie ma już wątpliwości, że klimat się zmienia. Jeśli ktoś nie ma zaufania do oszacowanych średnich temperatur dla świata, co można zrozumieć, bo takie wyliczenia są trudne i na pewno obarczone błędem, wystarczy, że przyjrzy się zdjęciom satelitarnym pokazującym globalne kurczenie się lodowców. Nie ma już też wątpliwości, że największy udział w ocieplaniu klimatu ma człowiek poprzez emisję gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla, a także poprzez zmianę sposobu użytkowania powierzchni Ziemi, zwłaszcza wylesianie i urbanizację.

Ilość emitowanego w skali świata dwutlenku węgla jest ogromna – w przeliczeniu na czysty węgiel jest to już 10,6 miliarda ton (Gt) rocznie. Ponieważ tak ogromną masę trudno sobie uzmysłowić, wyobraźmy sobie, że tyle węgla ładujemy na węglarki i tworzymy z nich pociąg. Opasałby on 41 razy równik, a to przecież tylko roczna emisja. Wulkany produkują w tym czasie średnio 100 razy mniej dwutlenku węgla niż człowiek (Weiner 2020).

Wiara, że przyroda poradzi sobie z tak ogromną emisją nie ma podstaw naukowych. Dwutlenek węgla nie jest wprawdzie trucizną, przeciwnie, można go nawet uznać za „nawóz” zwiększający produkcję roślinną, ale możliwości wchłaniania nadmiarowego dwutlenku węgla są ograniczone. Obecnie największą ilość dwutlenku węgla, rzędu 3 Gt węgla rocznie, pochłaniają oceany, co prowadzi jednak do ich zakwaszenia, z nieprzewidywalnymi do końca katastrofalnymi skutkami w przyszłości. Na drugim miejscu są lasy, pochłaniające 2,4 Gt ton węgla rocznie, jednak wylesianie w skali świata dokłada do obiegu 1,5 Gt ton, niwelując w znacznym stopniu korzystny wpływ lasów. Niestety znaczne ilości niezbilansowanej emisji pozostają w atmosferze, co podniosło poziom dwutlenku węgla do 410 ppm, stężenia nie występującego na Ziemi co najmniej od setek tysięcy lat.

Tak wygląda sytuacja globalnie. Polska jest stosunkowo małym krajem, więc nasz wpływ jest oczywiście ograniczony. Według Krajowego Planu

Rozliczeń dla Leśnictwa, sporządzanego przez Ministerstwo Środowiska (obecnie zajmuje się tym Ministerstwo Klimatu)¹, w przeliczeniu na węgiel emitujemy 139 mln ton (Mt) rocznie. Lasy pochłaniają 38,3 Mt, czyli 27,6% emisji. Według Kojsa i Zabielskiego (2019) jest to tylko 17%, a różnica pochodzi najpewniej z nieuwzględniania przez tych autorów pozyskanego drewna. Przyjmując dane z Krajowego Planu Rozliczeń, niebilansowana emisja wynosi zatem 100,7 Mt/rok. Widać więc wyraźnie, że nie można zneutralizować emisji z pomocą lasów i niezbędna jest transformacja energetyczna, polegająca na odejściu od paliw kopalnych. Pozostaje jeszcze pytanie, jak bardzo można zwiększyć pochłanianie węgla przez lasy; nie jest to panaceum, ale w poprawie bilansu węglowego Polski każdy milion ton się liczy. Temu celowi miały przeciwieństwo służyć Leśne Gospodarstwa Węglowe², o których ostatnio jakby mniej się słyszy. Unia Europejska postawiła sobie ambitny cel osiągnięcia zero-emisyjności do 2050 roku. Najtrudniejsza będzie eliminacja ostatnich 20%. Nie jest to jednak konieczne, gdyż taką ilość emisji, a nawet nieco większą, co z pewnością będzie konieczne w przypadku Polski, da się już pod pewnymi warunkami zneutralizować z pomocą lasów. Działania należy podjąć już dziś.

Możliwości poprawy bilansu węglowego przy pomocy lasów

Akumulacja węgla odbywa się w dużej mierze w lasach zagospodarowanych (Nunes et al. 2020), przynajmniej w ich nadziemnej części, bo to jest obiektem regularnego monitoringu w większości krajów strefy umiarkowanej i borealnej. Składają się na to co najmniej dwa procesy. Pierwszym z nich jest wzrost średniego wieku i zasobności drzewostanów. Zjawisko to zachodzi z różnym nasileniem w praktycznie całej Europie ale także w bogatszych krajach Ameryki czy Azji (FAO and UNEP 2020). Polega ono na tym, że przyrost masy drzew jest w sumie większy niż wielkość pozyskania drewna.

Wzrost zasobności drzewostanów w Polsce i w innych krajach środkowej Europy skutkuje zwiększeniem akumulacji węgla w biomasie. Ponieważ w ciągu ostatnich 50 lat zasobność lasów w Polsce uległa niemal podwojeniu z około 140 m³/ha w 1960 do ponad 280 m³/ha w roku 2018 (Lasy Państwowe w Liczbach 2018³), przełożyło się to na sekwestrację dużej ilości węgla w lasach. Kontynuacja tego trendu w dłuższym okresie czasu jest jednak

1 <https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/krajowy-plan-rozliczen-dla-lesnictwa/>

2 https://projekty-rozwojowe.lasy.gov.pl/projekty-rozwojowe/asset_publisher/7PcENrBXIBZJ/content/lesne-gospodarstwa-weglowe

3 <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/publikacje/do-poczytania/lasy-panstwowe-w-liczbach-1/lasy-panstwowe-w-liczbach-2018.pdf/view>

wątpliwa. Wzrost zasobności jest skorelowany ze wzrostem średniego wieku drzewostanów, a starsze drzewostany są bardziej podatne na niektóre naturalne zaburzenia (wiatr, gradacje kambiofagicznych owadów). Nawet jeżeli nie zwiększymy intensywności eksploatacji lasów, to średnia zasobność drzewostanów z czasem przestanie rosnać. Trudno jest przewidzieć, kiedy i w jaki sposób to się stanie, ale fakt, że średnia zasobność drzewostanów w obszarze ochrony ścisłej Białowieskiego Parku Narodowego oscyluje od paru dziesięcioleci wokół wartości $450 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Miścicki 2016) sugeruje, że w ciągu kilku dziesięcioleci wzrost zasobności drzewostanów w Polsce może się zatrzymać. Jednak między 280 a $450 \text{ m}^3/\text{ha}$ jest bardzo duża różnica. Dalszy wzrost zasobności drzewostanów może przyczynić się do sekwestracji znacznych ilości węgla w polskich lasach w kluczowym dla poprawy bilansu węglowego okresie.

Następnym ważnym aspektem bilansu węglowego lasów jest dynamika zmian ich składu gatunkowego. Niedawne publikacje wskazywały na to, że gospodarka leśna w XIX i XX wieku w Europie, polegająca w znacznej mierze na zmianie dawnych lasów liściastych i mieszanych na drzewostany zdominowane przez gatunki iglaste (przede wszystkim sosny i świerki), przyczyniła się do wzrostu temperatur ze względu na silniejsze pochłanianie promieniowania cieplnego przez ciemne korony drzew iglastych (Naudts et al. 2016). Lasy o różnym składzie gatunkowym różnią się jednak nie tylko właściwościami optycznymi ich aparatu asymilacyjnego. Różne gatunki mają różne tempo asymilacji i wzrostu, różnią się ilością biomasy akumulowanej na jednostce powierzchni w części nadziemnej i podziemnej ekosystemu leśnego (Wiesmeier et al. 2013). Obserwowana obecnie tendencja do wzrostu udziału gatunków liściastych kosztem drzew iglastych, widoczna w lasach Polski (Lasy Państwowe w Liczbach 2018), będzie miała korzystne konsekwencje dla ich bilansu węglowego. Zamiana z gatunków iglastych na liściaste jest korzystna również z innych powodów. Nie są one tak mocno narażone na zamieranie wskutek zjawisk związanych z ocieplaniem się klimatu, jak dzieje się to w przypadku gatunków iglastych, a zwłaszcza świerka pospolitego. Lasy liściaste są też w większości przypadków mniej podatne na pożary (Ye et al. 2017).

Drugim procesem wpływającym na akumulację są zalesienia gruntów o małej przydatności dla rolnictwa czy wręcz nieużytków. Dzieje się to w wielu krajach świata i do pewnego stopnia przeciwdziała skutkom wylesień zachodzących nadal w wielu krajach tropikalnych i subtropikalnych (FAO and UNEP 2020).

Z perspektywy krajowej warto zwrócić uwagę na jeszcze jedno zjawisko. Przyrost powierzchni lasów zarówno w skali globalnej, jak i w Polsce odby-

wa się w dużej mierze w drodze samoistnej sukcesji wtórnej na gruntach porolnych. Zjawisko to jest jednak znacznie słabiej udokumentowane niż przyrost lasów w wyniku zalesień, niekiedy jest wręcz ignorowane. Stąd pojawiają się niespodzianki typu niezgodności powierzchni lasów w Polsce oszacowanej w wyniku prowadzonych współcześnie badań naukowych (Hościło et al. 2016, Jabłoński et al. 2018) z powierzchnią lasów umieszczonych w rejestrze gruntów i budynków, podawaną we wszelkich oficjalnych statystykach (Lasy w Polsce 2018⁴). Jasno wykazała to też analiza zdjęć satelitarnych, na których powierzchnia zalesiona wynosiła 34% (Ceccherini et al. 2020), o pięć punktów procentowych więcej niż wynika to z oficjalnych statystyk.

W oficjalnych statystykach znajdziemy liczby dotyczące powierzchni sztucznych zalesień na gruntach dawniej wykorzystywanych rolniczo (Lasy Państwowe w Liczbach 2018). Natomiast nie znajdziemy tam informacji na temat lasów powstających w toku naturalnej sukcesji na gruntach porolnych. Z punktu widzenia skuteczności działań podejmowanych w celu poprawy bilansu węglowego ignorowanie procesu naturalnej sukcesji i pomijanie w statystykach lasów, które powstały w jej efekcie jest bardzo niekorzystne. Spośród działań mających przyczynić się do wzrostu sekwestracji węgla w lasach są to bowiem procesy szczególnie ważne, zarówno ze względu na powierzchnię, na której się odbywają, jak i ze względu na duże tempo wzrostu akumulacji węgla w toku sukcesji leśnej (Badalamenti et al. 2019).

Wzrost akumulacji węgla w lasach naturalnych

W przypadku lasów nie podlegających eksploatacji tradycyjnie zakładano, że bilans pochłaniania i wydzielania dwutlenku węgla jest w nich zerowy, czyli że procesy rozkładu równoważą proces asymilacji. Takie opinie spotyka się w literaturze nawet współcześnie (Hubert Hasenauer⁵). Jednak empiryczne badania przeprowadzone w lasach nie zagospodarowanych wskazują na przewagę asymilacji dwutlenku węgla nad jego uwalnianiem (Luyssaert et al. 2008)). Mechanizm tego zjawiska nie jest dokładnie wyjaśniony i wciąż prowadzone są badania naukowe dotyczące tego problemu; być może mamy tu do czynienia ze skutkami zjawiska zwiększenia tempa przyrostu drzew z powodu zwiększenia ilości dwutlenku węgla w atmosferze (Bellassen and Luyssaert 2015). Badania nad przyrostem lasów wskazują, że tempo przyrostu drzew znacznie przyspieszyło i produkcja biomasy w przypadku niektórych gatunków jest nawet o 40% większa niż przed stu laty (Pretzsch et

4 <http://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/publikacje/do-poczytania/lasy-w-polsce-1/lasy-w-polsce-2018.pdf>

5 <http://forestindustries.eu/sites/default/files/userfiles/1file/hasenauer-co2-sfm.pdf>

al. 2014). W skali globalnej sekwestracja węgla w lasach o charakterze naturalnym jest większa niż w plantacjach drzew (Lewis and Wheeler 2019), przy czym brany pod uwagę jest zarówno węgiel zgromadzony w biomasie, a więc przede wszystkim żywym i martwym drewnie, jak i w glebie (Erb et al. 2018, Yu et al. 2019). W przypadku lasów strefy umiarkowanej różnica może sięgać nawet 50%, gdy za podstawę przyjmiemy się zapas węgla w lesie użytkowanym. Poza większą ilością żywej biomasy, lasy naturalne zawierają więcej martwego drewna, którego czas rozkładu jest przecież bardzo długi, a ponadto część zawartego w nim węgla będzie rezydować w glebie przez bardzo długi okres, liczony w setkach a nawet tysiącach lat (Balesdent et al. 2018). W celu poprawy bilansu węglowego zaleca się zatem ochronę lasów o charakterze naturalnym oraz ich odtwarzanie tam, gdzie uległy one wyniszczeniu (Chazdon and Uriarte 2016, Ontl et al. 2020).

Pojawiają się opinie, że długotrwała zdolność lasów naturalnych do sekwestracji węgla jest nieznana i że mogą się one z czasem stać neutralne pod względem bilansu węglowego, a w przypadku nasilenia się naturalnych zaburzeń mogą nawet stać się źródłem emisji dwutlenku węgla (Anderegg et al. 2020). Na przykład szczegółowe badania przeprowadzone w lasach Europy wskazują, że lasy nie eksploatowane mają przewagę w akumulacji węgla nad lasami zagospodarowanymi w okresie kilkudziesięciu lat, po czym sytuacja stopniowo się zmienia i lasy zagospodarowane mają z czasem lepszy bilans węglowy. W przypadku lasów Finlandii dzieje się to po 30 latach (Pukkala 2017), a w przypadku lasów w Bawarii po 80 latach (Klein et al. 2013). Trzeba jednak zwrócić uwagę na czasowe ramy działań w celu redukcji emisji. Ze względu na potrzebę uniknięcia tzw. tipping points szczególnie ważne są działania, które mogą dać skutek w ciągu kilku najbliższych dziesięcioleci. To, czy lasy naturalne będą nadal akumulowały węgiel za sto czy tysiąc lat to zupełnie inny problem, a odpowiedź na tak postawione pytanie jest tak naprawdę poza zasięgiem prowadzonych obecnie badań naukowych i bez znaczenia dla działań praktycznych.

Warto wspomnieć, że ilość węgla w glebie i ściółce przekracza kilkakrotnie ilość zmagazynowaną w masie nadziemnej (Weiner 2020). W strefie klimatu umiarkowanego w glebie lasów liściastych zmagazynowane jest średnio 228 t węgla/ha, a w lasach iglastych 204 t (Jobbagy and Jackson 2000). Na wielkość glebowej puli węgla wpływa wiele czynników, w tym klimat, ale znaczącą rolę mogą też odgrywać zabiegi gospodarcze, zwłaszcza pozyskanie drewna oraz przygotowanie gleby pod odnowienia (Ontl et al. 2020). Zwłaszcza intensywne zagospodarowanie lasu, połączone z mechanicznym przygotowaniem gleby na powierzchniach zrębowych pod zalesienia powoduje znaczną emisję dwutlenku węgla i znacząco pogarsza bilans węglowy lasów (Achat et al. 2015).

Rola martwych drzew w bilansie węglowym

Przeciętna ilość martwego drewna w polskich lasach jest bardzo niska, według danych Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasów wynosiła ona $6 \text{ m}^3/\text{ha}$ w r. 2014⁶. W skali kraju martwe drewno magazynuje zaledwie 32 Mt węgla, co stanowi jedynie 23% rocznej emisji w Polsce. Dla niektórych obszarów chronionych ilość martwego drewna może jednak przekraczać nawet $300 \text{ m}^3/\text{ha}$ (np. Bujoczek et al. 2018). Przyjmijmy, że ilość martwego drewna zwiększyłaby się tylko dziesięciokrotnie, co nie jest wielkim wyzwaniem. Martwe drewno byłoby wtedy równoważne ponad dwuletniej obecnej emisji, a w przypadku zmniejszenia jej do 20%, ponad 11 letniej emisji.

Co zatem wpływa na dynamikę martwego drewna w lasach? Tempo zmiany ilości martwego drewna (x) na jednostkę powierzchni (dx/dt) można opisać wzorem:

$$dx/dt = \text{wydzielanie martwego drewna} - \text{ilość usuwana} - \text{ilość rozłożona} \quad (1)$$

lub

$$dx/dt = \text{wydzielanie} - px - kx \quad (2)$$

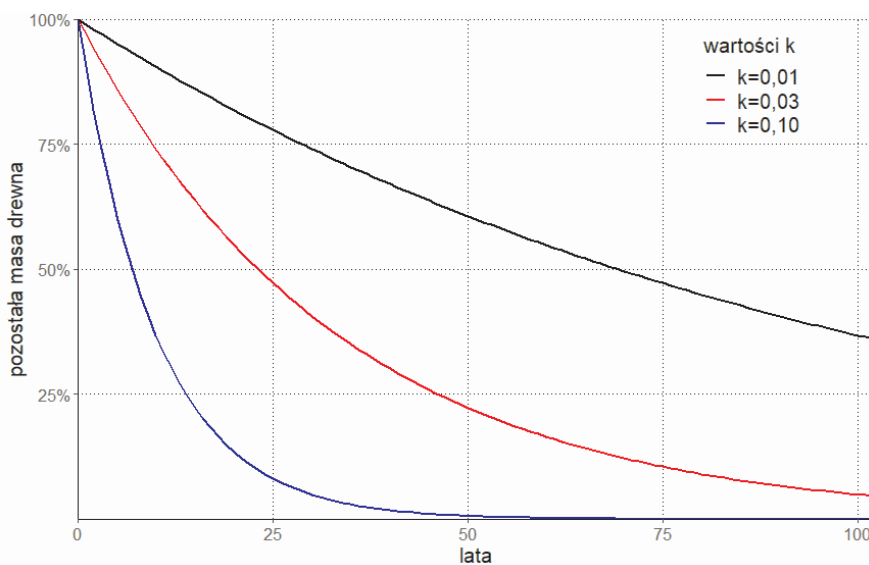
gdzie p jest usuwaną frakcją (jako ułamek, nie procent), a k tempem rozkładu

Rozkład drewna modeluje się zwykle przy pomocy równania wykładniczego:

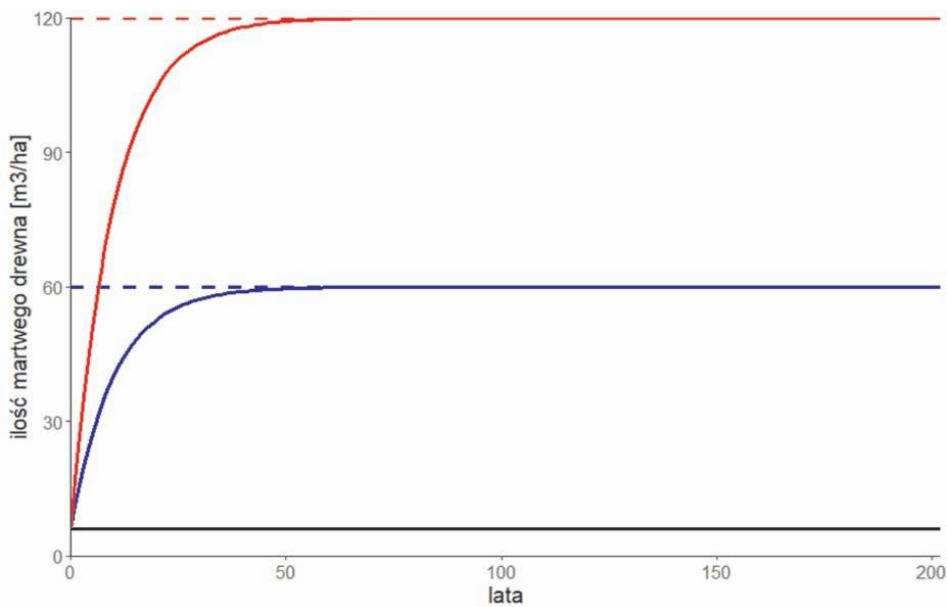
$$x_t = x_0 e^{-kt} \quad (3)$$

w którym x_0 oznacza masę wyjściową, x_t masę po upływie czasu t , a tempo rozkładu k jest zależne od gatunku drzewa, warunków klimatycznych i wielkości fragmentów (np. Harmon et al. 1986). Jest to najprostszy model, w którym całą masę martwego drewna traktuje się łącznie, bez podziału na frakcje o różnym tempie rozkładu. Dynamikę rozkładu dla trzech różnych współczynników k mieszczących się w przedziale pojawiającym się w literaturze (np. Harmon et al. 1986, Krankina and Harmon 1995), obrazuje Rycina 1. Znaczne ilości masy martwego drewna pozostają jeszcze po kilkudziesięciu latach. Z punktu widzenia magazynowania węgla w celu zapobieżenia katastrofie klimatycznej interesuje nas właśnie taki okres.

6 <https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/wisl>



Ryc. 1. Dynamika rozkładu martwego drewna przy różnych współczynnikach tempa rozkładu k .



Ryc. 2. Przewidywana dynamika ilości martwego drewna przy obecnej polityce (czarna linia), przy zaniechaniu usuwania martwego drewna (niebieska linia) i dodatkowo przy dwukrotnym zwiększeniu wydziałania (czerwona linia).

Równanie (2) można rozwiązać, by pokazać, jak zmieni się ilość martwego drewna po zmianie parametrów. Obecny poziom $6 \text{ m}^3/\text{ha}$ jest stanem równowagi dla np. wydzielania w ilości $6 \text{ t}/\text{ha}/\text{rok}$, przy usuwaniu 90% i tempie rozkładu $k=0.1$ (Ryc. 2). Przy braku usuwania ilość ta wzrosłaby w ciągu około 50 lat do poziomu $60 \text{ m}^3/\text{ha}$, a przy zwiększeniu wydzielania do $12 \text{ t}/\text{rok}$ poprzez zaniechanie pielęgnacji i braku usuwania aż do $120 \text{ m}^3/\text{ha}$. Tak więc potencjał sekwestracji węgla w martwym drewnie jest ogromny.

Wpływ spalania drewna w elektrowniach na bilans węgla

Rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w XVIII wieku, początkowo w oparciu o biomasę drzewną. Katastrofalnym skutkiem było wylesienie Wysp Brytyjskich. Gdyby nie przejście do eksploatacji paliw kopalnych, rewolucja przemysłowa zatrzymałaby się po wyeksploatowaniu zasobów drzewnych świata. Wynika to z prostego faktu, iż przyrost biomasy drzewnej jest zbyt powolny w stosunku do energetycznego zapotrzebowania przemysłu. Dziś mamy inny problem, wynikający z ogromnej emisji dwutlenku węgla z paliw kopalnych. Świadomość narastającego niebezpieczeństwa nie jest nowa. Zainteresowanie częściowym zastąpieniem paliw kopalnych biomasą sięga lat 70' ubiegłego wieku. Wprawdzie przy spalaniu biomasy wydziela się dwutlenek węgla, ale węgiel zawarty w biomase pochodzi z dwutlenku węgla stosunkowo niedawno wbudowanego przez rośliny, a nie miliony lat temu jak w przypadku paliw kopalnych. Słowo „stosunkowo” jest tu szczególnie ważne. Gdy myślano o tej technologii, kilkadziesiąt lat cyklu w przypadku spalania drewna nie stanowiło problemu, bo wydawało się, że jako ludzkość mamy dużo czasu na eliminację emisji. Dziś mówimy o konieczności drastycznego ograniczenia emisji w ciągu dwóch dekad, a więc spalanie drewna w elektrowniach nie ma najmniejszego sensu: takie użytkowanie drewna powiększy pulę dwutlenku węgla w atmosferze, bilans wyrówna się dopiero za kilkadziesiąt lat. Sens ma spalanie tzw. biomasy rolniczej, czyli przede wszystkim słomy, wierzby i mискanta olbrzymiego, łupin orzechów itp. Nawet uprawianie topoli energetycznej już straciło sens. Można zastanawiać się nad spalaniem drobnicy, chociaż jej pozostawianie jako martwego drewna byłoby najpewniej skuteczniejszym sposobem ograniczania ilości dwutlenku węgla w atmosferze. Na gruntach porolnych możliwe byłoby zakładanie plantacji drzew dających odrośla, eksploatowanych w cyklach kilkoletnich przy wysokości kilku metrów i niewielkiej pierśnicy umożliwiającej mechaniczny zbiór. W naszych warunkach chyba jedynym gatunkiem, który nadawałby się do tego, jest robinia. Jej przewagą nad wierzbą jest zdolność wiązania azotu. Jest to jednak gatunek silnie inwazyjny. Spalanie dre-

wna ze starszych robinii, rosnących coraz obficie w lasach, nie ograniczyłyby wprawdzie ilości dwutlenku węgla w atmosferze, ale przynajmniej spowolniłyby inwazję tego gatunku.

Tak więc spalanie w elektrowniach drewna pochodzenia leśnego straciło na obecnym etapie swój sens z punktu widzenia zapobiegania katastrofie klimatycznej. Nie ma przy tym znaczenia, skąd to drewno pochodzi, bo mamy do czynienia z procesem globalnym. A właściwie ma znaczenie, bo sprowadzanie biomasy z odległości nawet 7000 km to dodatkowa emisja podczas transportu. Jednak spalanie takie odbywa się obecnie w Polsce na masową skalę. Sprzyjają temu przepisy nie nadążające za zmieniającymi się celami klimatycznymi, a także wynikający w dużej mierze z tych przepisów rachunek ekonomiczny elektrowni. Gdyby zakazać palenia drewnem, firmy energetyczne wystąpiłyby z kolosalnymi roszczeniami odszkodowawczymi za poniesione wydatki inwestycyjne. Nasza cywilizacja zachowała się jak uczeń czarnoksiężnika z utworu Goethego – uruchomiła proces, ale nie jest w stanie go zatrzymać.

Czy produkcja energii elektrycznej z drewna pochodzącego z lasu na zawsze straciła sens? Niekoniecznie. Gdy emisja dwutlenku węgla zostanie już ograniczona o 80%, eliminacja pozostałych 20% będzie szczególnie kosztowna. Biomasa może pomóc, może być nawet użyta do zmniejszenia stężenia dwutlenku węgla w atmosferze, jeśli dwutlenek węgla powstający przy jej spalaniu będzie wychwytywany i trwale magazynowany. Najlepiej, by spalane drewno pochodziło wtedy z plantacji. Ponieważ perspektywa czasowa to 20–30 lat (optymistycznie, zakładając, że cel zostanie osiągnięty i zapobiegniemy katastrofie), trzeba by je zakładać właśnie teraz.

Jest też lepszy sposób na wykorzystywanie biomasy w celach energetycznych niż spalanie – piroliza. Produktem ubocznym jest pewna ilość biowęgla, który może wzbogacić na dziesiątki lat glebę plantacji leśnych lub pól poprzez adsorpcję substancji odżywczych, co z kolei pozwala na zwiększenie plonów na ubogich glebach przy mniejszym nawożeniu. Produkcja nawozów sztucznych jest poważnym źródłem emisji, a więc jest to dodatkowy sposób na ograniczanie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze. Produkcji i wprowadzanie biowęgla do gleby uwięzi węgiel wychwycony przez drzewa na kilkadziesiąt, a może setki lat.

Sekwestracja węgla w produktach drzewnych

W skali globalnej obserwuje się od kilku dziesięcioleci dynamiczny rozwój plantacji drzew nastawionych na szybką produkcję surowca drzewnego, realizowaną zwykle w cyklu od kilku do kilkunastu lat (FAO and UNEP 2020).

Zapotrzebowanie na surowiec do produkcji celulozy jest w coraz większym stopniu zaspokajane przez plantacje drzew szybko rosnących. W Europie tego typu plantacje są rozpowszechnione w krajach południa, zwłaszcza w Portugalii i w Hiszpanii (Nunes et al. 2020). W niektórych krajach środkowej Europy drzewostany złożone z robinii akacjowej służą do intensywnej produkcji drewna w czasie krótszym niż 50 lat. Nawet w południowej Szwecji produkuje się drewno z przeznaczeniem do produkcji celulozy w drzewostanach świerkowych o wieku rębności równym 50 lat. Radykalne skrócenie cyklu produkcyjnego jest ogólnie zalecane w przypadku drzewostanów zagrożonych rozpadem (Ontl et al. 2020).

Plantacje drzew powinny mieć też coraz większy udział w produkcji drewna niezbędnego do budowy konstrukcji drewnianych i w przemyśle meblarskim. Częściowe zastąpienie betonu drewnem przyczyni się do zmniejszenia emisji na dwa sposoby. Po pierwsze, węgiel zawarty w użytym drewnie będzie uwięziony nawet na setki lat. Po drugie, przy produkcji cementu emitowane są ogromne ilości dwutlenku węgla ze względu na sam proces chemiczny, a także bardzo duże ilości niezbędnej energii. Dzięki rozwojowi technologii drewna może ono być dzisiaj używane nie tylko w tradycyjnym budownictwie jednorodzinym, ale także do budowy niezbyt dużych mostów (Crocetti 2014, Veie et al. 2015), hal⁷, a nawet wielopiętrowych hoteli (Kozłowski 2019). Takie możliwości istnieją już dziś. Są też, na razie w fazie badawczej, nowe technologie, które pozwolą nawet na zastępowanie stali. Drewno poddane pewnej obróbce chemicznej i sprasowane nie jest już wprawdzie tak lekkie (gęstość rośnie z 0,43 do 1,3 g/cm³, ciągle 6 razy mniej od stali), ale jego sztywność i odporność na rozciąganie jest aż 11 razy większa od drewna naturalnego i dwukrotnie większa od stali (Fratzl 2018, Song et al. 2018). Jeśli ta technologia się sprawdzi, nowe możliwości konstrukcyjne są wprost niewyobrażalne.

Uwięzienie węgla w wyrobach meblarskich nie jest już tak jednoznaczne. Gdyby powrócić na bardziej masową skalę do trwałych drewnianych mebli służących przez pokolenia, byłoby skuteczne. Natomiast meble z płyt wiórowych zwykle dość dosyć szybko trafiają na śmietniki; ich średni cykl życia jest zatem krótszy niż 20 lat kluczowe dla ratowania klimatu. Jednak wyprodukowane z nich paliwo alternatywne zmniejszy emisję poprzez zmniejszenie zużycia paliw kopalnych.

Z całą pewnością wykorzystanie drewna jest lepsze dla ratowania klimatu niż spalanie go w elektrowniach. Ponieważ ciągle najwyższy potencjał ograniczania ilości dwutlenku węgla w atmosferze tkwi w przekształcaniu

7 <https://www.atlasobscura.com/places/superior-dome>

części lasów w lasy naturalne, zwiększanie pozyskania drewna będzie korzystne jedynie poprzez zakładanie nowych plantacji leśnych. Co ważne, drewno na nich produkowane może być lepiej dostosowane do potrzeb rynku.

Wnioski

1. Radykalne zwiększenie magazynowania węgla przez lasy jest możliwe poprzez:
 - (a) pozostawianie martwego drewna w lesie;
 - (b) zminimalizowanie cięć w znacznej części lasów;
 - (c) rozwój plantacji leśnych, które wypełniłyby lukę w podaży drewna spowodowaną punktem b, a równocześnie przyczyniły się do sekwestracji węgla w konstrukcjach i wyrobach drewnianych.
2. Należy radykalnie zredukować stosowanie drewna pochodzącego z lasów jako paliwa w elektrowniach.
3. Proponowane rozwiązanie zmienia dotychczasowy paradygmat lasu wielofunkcyjnego, ma jednak pewne dodatkowe zalety:
 - (a) ochrona bioróżnorodności;
 - (b) naturalna przebudowa lasów w kierunku nadążającym za zmianami klimatu;
 - (c) zmniejszenie podatności lasów na pożary i huragany.
4. Odchodzenie od paradygmatu lasu wielofunkcyjnego na rzecz przestrzennego rozdzielania poszczególnych funkcji powinno mieć charakter ewolucyjny, a nie rewolucyjny.

Literatura

1. Achat, D. L., M. Fortin, G. Landmann, B. Ringeval, and L. Augusto. 2015. Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. *Scientific Report* 5:15991.
2. Anderegg, W. R. L., A. T. Trugman, G. Badgley, C. M. Anderson, A. Bartuska, P. Ciais, D. Cullenward, C. B. Field, J. Freeman, S. J. Goetz, J. A. Hicke, D. Huntzinger, R. B. Jackson, J. Nickerson, S. Pacala, and J. T. Randerson. 2020. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science* 368.
3. Badalamenti, E., G. Battipaglia, L. Gristina, A. Novara, J. Ruhl, G. Sala, L. Sapienza, R. Valentini, and T. La Mantia. 2019. Carbon stock increases up to old growth forest along a secondary succession in Mediterranean island ecosystems. *PLoS One* 14:e0220194.
4. Balesdent, J., I. Basile-Doelsch, J. Chadoeuf, S. Cornu, D. Derrien, Z. Fekiacova, and C. Hatte. 2018. Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 559:599–602.

5. Bellassen, V. and S. Luyssaert. 2015. Managing forests in uncertain times. *Nature* 506:153–155.
6. Bujoczek, L., J. Szewczyk, and M. Bujoczek. 2018. Deadwood volume in strictly protected, natural, and primeval forests in Poland. *European Journal of Forest Research* 137:401–418.
7. Ceccherini, G., G. Duveiller, G. Grassi, G. Lemoine, V. Avitabile, R. Pilli, and A. Cescatti. 2020. Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015. *Nature* 583:72–77.
8. Chazdon, R. L. and M. Uriarte. 2016. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. *Biotropica* 48:709–715.
9. Crocetti, R. 2014. Timber bridges: general issues, with particular emphasis on Swedish typologies. *Internationales Holzbau-Forum IHF 20*:http://www.forum-holzbau.com/pdf/61_IHF_2014_Crocetti.pdf.
10. Erb, K. H., T. Kastner, C. Plutzer, A. L. S. Bais, N. Carvalhais, T. Fetzel, S. Gingrich, H. Haberl, C. Lauk, M. Niedertscheider, J. Pongratz, M. Thurner, and S. Luyssaert. 2018. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553:73–76.
11. FAO and UNEP. 2020. *The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and People*. Rome.
12. Fratzl, P. 2018. Wood made denser and stronger. *Nature* 554:172–173.
13. Harmon, M. E., J. F. Franklin, F. J. Swanson, P. Sollins, S. V. Gregory, J. D. Lattin, N. H. Anderson, S. P. Cline, N. G. Aumen, J. R. Sedell, G. W. Lienkaemper, K. j. Cromack, and K. W. Cummins. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperature ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15:133–302.
14. Hościło, A., A. Mironczuk, and A. Lewandowska. 2016. Określenie rzeczywistej powierzchni lasów w Polsce na podstawie dostępnych danych przestrzennych. *Sylwan* 160:627–634.
15. Jabłoński, M., M. Miosnkowski, and P. Budniak. 2018. Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasu źródłem informacji o powierzchni lasów w Polsce. *Sylwan* 162:365–372.
16. Jobbagy, E. G. and R. B. Jackson. 2000. The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. *Ecological Applications* 10:423.
17. Klein, D., S. Höllerl, M. Blaschke, and C. Schulz. 2013. The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation-A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria. *Forests* 4:43–69.
18. Kojs, P. and R. Zabielski. 2019. Dlaczego drzewa nie uratują klimatu? *Academia* 2019:12–17.
19. Kozłowski, J. 2019. Jak najlepiej wykorzystać lasy do sekwestracji dwutlenku węgla? *Nauka* 4/2019:47–56.

20. Krankina, O. N. and M. E. Harmon. 1995. Dynamics of the dead wood carbon pool in northeastern Russian boreal forest. *Water, Air and Soil Pollution* 82:227–238.
21. Lewis, S. L. and C. E. Wheeler. 2019. Regenerate natural forests to store carbon. *Nature* 568:25–28.
22. Luysaert, S., E. D. Schulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmöller, B. E. Law, P. Ciais, and J. Grace. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455:213–215.
23. Miścicki, S. 2016. Changes in the stands of the Białowieża National Park from 2000 to 2015. *Forest Research Papers* 77:371–379.
24. Naudts, K., Y. Chen, M. J. McGrath, J. Ryder, A. Valade, J. Otto, and S. Luysaert. 2016. Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science* 351:597–599.
25. Nunes, L. J. R., C. I. R. Meireles, C. J. Pinto Gomes, and N. M. C. Almeida Ribeiro. 2020. Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate* 8:21.
26. Ontl, T. A., M. K. Janowiak, C. W. Swanston, J. Daley, S. Handler, M. Cornett, S. Hagenbuch, C. Handrick, L. McCarthy, and N. Patch. 2020. Forest Management for Carbon Sequestration and Climate Adaptation. *Journal of Forestry* 118:86–101.
27. Pretzsch, H., P. Biber, G. Schutze, E. Uhl, and T. Rotzer. 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat Commun* 5:4967.
28. Pukkala, T. 2017. Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 90:125–135.
29. Song, J., C. Chen, S. Zhu, M. Zhu, J. Dai, U. Ray, Y. Li, Y. Kuang, Y. Li, N. Quispe, Y. Yao, A. Gong, U. H. Leiste, H. A. Bruck, J. Y. Zhu, A. Vellore, H. Li, M. L. Minus, Z. Jia, A. Martini, T. Li, and L. Hu. 2018. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554:224–228.
30. Veie, J., T. A. Stensby, and M. A. Bjertnaes. 2015. New dimensions in bridge construction in Norway. *Internationales Holzbau-Forum IHF* 21: http://www.forum-holzbau.com/pdf/65_IHF_2015_Bjertnaes.pdf.
31. Weiner, J. 2020. *Życie i ewolucja biosfery, wyd. III*. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa.
32. Wiesmeier, M., J. Prietzel, F. Barthold, P. Spörlein, U. Geuß, E. Hangen, A. Reischl, B. Schilling, M. von Lützow, and I. Kögel-Knabner. 2013. Storage and drivers of organic carbon in forest soils of southeast Germany (Bavaria) – Implications for carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 295:162–172.
33. Ye, T., Y. Wang, Z. Guo, and Y. Li. 2017. Factor contribution to fire occurrence, size, and burn probability in a subtropical coniferous forest in East China. *PLoS One* 12:e0172110.

34. Yu, Z., S. Liu, J. Wang, X. Wei, J. Schuler, P. Sun, R. Harper, and N. Zegre. 2019. Natural forests exhibit higher carbon sequestration and lower water consumption than planted forests in China. *Glob Chang Biol* 25:68–77.

Prof. dr hab. Jan Kozłowski
Instytut Nauk o Środowisku UJ
Państwowa Wyższa Szkoła zawodowa w Tarnowie

Prof. dr hab. Jerzy Szwagrzyk
Katedra Bioróżnorodności Leśnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Referat z sesji naukowej nt.: "Sylwan- dwa wieki historii leśnego czasopisma naukowego" oraz "Wyzwania dla gospodarki leśnej w warunkach globalnych zmian w środowisku" z okazji 120 Zjazdu Delegatów Polskiego Towarzystwa Leśnego w Katowicach, 08-11.09.2021 r.