

Andrzej M. Jagodziński

PROGNOZOWANE PROBLEMY Z UTRZYMANIEM TRWAŁOŚCI LASÓW WOBEC POSTĘPUJĄCYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Las powszechnie uznawany jest za odnawialny zasób przyrody. Jest bardzo złożonym układem ekologicznym, w którym dominuje swoista dla danego regionu biogeograficznego flora i roślinność, ze szczególnie dużym udziałem drzew rosnących w zwarciu. W połączeniu ze światem fauny i bioty grzybów, licznych innych mikroorganizmów, specyficznym klimatem (w tym także lokalnym, który las współtworzy), glebą i stosunkami wodnymi, tworzy układ (sieć) wzajemnych wpływów, powiązań i współzależności. Układ ten funkcjonuje m.in. dzięki krążeniu materii i przepływowi energii, w powiązaniu z innymi ekosystemami. Ekosystem leśny jest układem dynamicznym, nie statycznym, a o jego funkcjonowaniu decydują liczne czynniki, zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne, spośród których część można uznać za czynniki wywołujące stres, na który cały ekosystem (bądź też poszczególne jego części) reaguje. W ekosystemie leśnym działają mechanizmy samoregulacji na różnych poziomach jego organizacji, a ważnym aspektem jego stabilności jest zdolność reagowania na zaburzenia. Wśród niezwykle ważnych czynników wywierających wpływ na ekosystemy leśne i ich funkcjonowanie wymienić należy działalność człowieka, i to nie tylko tą o charakterze bezpośrednim. Definitywne postrzeganie lasu i pełnionych przez las funkcji jest bardzo różnorodne i w pewnym stopniu zależne od celów, jakie przed lasami, jako społeczeństwo, stawiamy (Chazdon et al. 2018).

Najnowsze dane wskazują, iż ekosystemy leśne zajmują około 31% powierzchni lądowej naszej planety, oczywiście nie są przy tym rozmieszczone na Ziemi równomiernie, a przy tym ok. 20% z nich tworzy niewielkie kompleksy (do 1000 ha), co jest m.in. konsekwencją postępującej fragmentacji siedlisk. Obecnie na jednego mieszkańca Ziemi średnio przypada zaledwie 0,5 ha lasu. Ponad połowa powierzchni lasów należy do pięciu krajów (Rosja, Brazylia, Kanada, USA, Chiny), a ok. 2/3 światowych zasobów należy do 10 krajów. W latach 1990–2020 powierzchnia lasów skurczyła się z 32,5% do 30,8% powierzchni lądowej, a w ostatniej dekadzie (2010–2020) w skali globalnej powierzchnia lasów zredukowana została o 1,2%, przy czym redukcję tę najwyraźniej widać w Afryce oraz Ameryce Południowej. Wylesianie oraz degradacja lasów przebiegają wciąż w alarmującym tempie, choć

niewielko wolniej niż w poprzednich dekadach. W licznych opracowaniach podkreśla się, że redukcja powierzchni lasów oraz ich degradacja w skali globalnej prowadzi do utraty różnorodności biologicznej (FAO, UNEP 2020; United Nations... 2021). Na kontynencie europejskim sytuacja jest odwrotna – powierzchnia zajmowana przez lasy, a także ich zasobność, systematycznie wzrastają (Fuchs et al. 2015; Palmero-Iniesta et al. 2021). Dane zestawione w opracowaniu „State of Europe’s Forests” (Forest Europe 2020) wskazują, iż lasy w Europie (z wyłączeniem Rosji) zajmują prawie 35% powierzchni lądowej kontynentu. Około 46% powierzchni lasów w Europie porastają drzewostany z dominującym udziałem gatunków iglastych, 37% – liściastych, a lasy mieszane porastają 17% powierzchni leśnej. Jakkolwiek powierzchnia europejskich lasów wzrasta (0,3% rocznie w latach 1990–2020), to w ostatniej dekadzie obserwujemy zmniejszone tempo wzrostu powierzchni zajmowanej przez lasy. Kondycja lasów europejskich, wyrażona stopniem defoliacji drzew, nie zmieniła się w latach 2010–2018 na 72% powierzchniach paneuropejskiego monitoringu, pogorszyła się na 19% powierzchni, a poprawiła na 9%. Średnio, spośród 100 tys. ocenionych drzew, ok. 26% z nich cechowało się średnią bądź silną defoliacją (Forest Europe 2020). W Polsce, tak jak i w Europie, powierzchnia zajmowana przez lasy zwiększa się: z 20,8% w 1945 r., poprzez 27% w 1970 r., do 29,6% w 2021 r. Dynamika wzrostu powierzchni lasów zmniejszyła się jednak w ostatnich latach m.in. ze względu na brak podaży gruntów do zalesień, np. takich, na których zaniechano działalności rolniczej. W Polsce na jednego mieszkańca przypada zaledwie 0,243 ha lasów. Gatunki drzew iglastych dominują na ok. 68% powierzchni polskich lasów, co związane jest z powszechnym ich wprowadzaniem w przeszłości na siedliska żyzne, gdzie powinny dominować gatunki liściaste, a także z dominującym udziałem siedlisk borowych w strukturze typów siedliskowych lasu. Od ponad 30 lat w Lasach Państwowych realizowana jest przebudowa drzewostanów celem dostosowania składów gatunkowych drzewostanów do warunków siedliskowych. W latach 1945–2020 udział powierzchniowy drzewostanów liściastych w Lasach Państwowych (zarządzających ok. 77% powierzchni lasów) wzrósł z 13% do ok. 24%, głównie w wyniku przebudowy drzewostanów oraz zakładania upraw leśnych o składzie gatunkowym zgodnym z warunkami siedliskowymi (Raport o stanie lasów... 2021; Rocznik Statystyczny... 2021).

Ekosystemy leśne narażone są na szereg zagrożeń wpływających na ich stan, a przy tym prowadzących do redukcji lub wręcz utraty usług ekosystemowych, które one pełnią. Można przyjąć, iż usługi ekosystemowe to wkład ekosystemów w szeroko pojęty dobrobyt człowieka (Costanza et al. 1997; Costanza et al. 2014). Wśród nich najczęściej wymienia się cztery podsta-

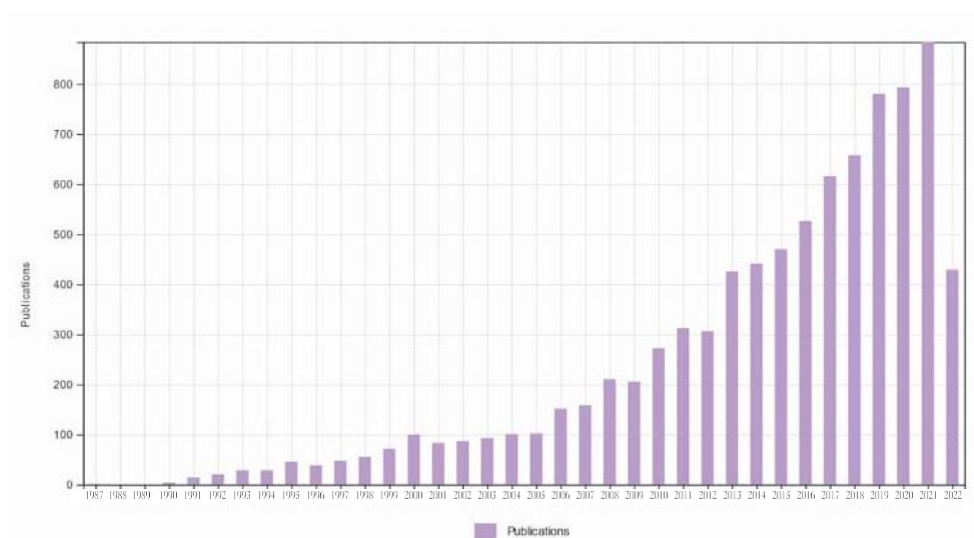
wowe grupy usług ekosystemowych, tj. usługi zaopatrujące (zaopatrzeniowe), regulacyjne oraz kulturowe, a także wspierające. Usługi ekosystemowe świadczone przez lasy obejmują m.in. produkcję drewna, produkcję żywności, oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń, regulowanie obiegu wody oraz zapobieganie powodziom i erozji gleby, pochłanianie CO₂ z atmosfery oraz jego sekwestrację, regulowanie klimatu, inspirujący wpływ na kulturę i sztukę, zapewnienie możliwości turystyki i rekreacji czy też zapewnienie istnienia różnorodności biologicznej. Liczba publikacji dotyczących usług ekosystemowych świadczonych przez ekosystemy leśne systematycznie rośnie (Aznar-Sánchez et al. 2018), co w pewnym stopniu potwierdza rosnące zainteresowanie tą tematyką. Im większą wiedzą dysponujemy w tym zakresie i im lepsze narzędzia wykorzystujemy do wyrażenia wartości usług ekosystemowych świadczonych przez lasy, tym większą mamy pewność, iż ich wartość trudna jest do przecenienia (Grammatikopoulou, Vaèkàová 2021). Niewyczerpalność zasobów przyrodniczych, w tym dóbr otrzymywanych dzięki istnieniu lasów, jest mitem, a zastąpienie świadczonych usług ekosystemowych rozwiązaniami alternatywnymi wymyślonymi przez człowieka – co najmniej wysoce nieprawdopodobne (Ehrlich, Mooney 1983). Stąd też istnienie lasów, ich trwałość (w sensie potocznym), ma szczególne znaczenie zarówno dla przyrody per se, jak i dla człowieka, który jest integralnym elementem biosfery (jakkolwiek w tym drugim przypadku możemy narazić się na krytykę podejścia instrumentalnego do przyrody, w tym lasów, i stawiania przyrody jako „usługującej” ludziom, a zatem na krytykę antropocentrycznego podejścia i postawy względem przyrody).

Trwałość, w sensie potocznym, jest cechą czegoś, co jest przeznaczone do użytku przez dłuższy czas ze względu na swoją wytrzymałość. Może także oznaczać istnienie czegoś (np. procesu) przez dłuższy czas w pewnym miejscu (np. środowisku), odporność na działanie różnych czynników czy wręcz nieuleganie zmianom. W codziennym języku istnieje wiele synonimów i wyrazów bliskoznacznych do słowa trwałość – nieśmiertelność, nieprzemijalność, nieodwracalność, niezmienność, nierozzerwalność, niezniszczalność, solidność, wytrzymałość czy stabilność. W takim właśnie wymiarze pojęcie trwałości lasu najprawdopodobniej funkcjonuje w szeroko rozumianym społeczeństwie. Wśród antonimów, czyli wyrazów przeciwstawnych, wymienić można nietrwałość, zmienność, chwiejność, niestałość czy płynność. Trwałość może być zatem rozpatrywana w kontrze do zmiany.

Patrząc na las z czasowej perspektywy człowieka, determinowanej długością naszego życia, możemy odnieść wrażenie, że wszystkie procesy zachodzące w czasie nie dłuższym niż kilka lat to procesy szybkie, dyna-

miczne, a nawet gwałtowne. Te dostrzegamy na ogół „gołym okiem”. Jeśli z kolei procesy zachodzą w lesie w dłuższej perspektywie, np. okresie życia drzewa, czyli kilkudziesięciu czy kilkuset lat, możemy ich nie dostrzec i przyjąć, że las jest układem niezmiennym, cechującym się pewną stałością, stabilnością czy trwałością (w sensie potocznym). Do opisu takich zmian służy bogaty, naukowo ścisły zestaw pojęć używanych w ekologii, który rozróżnia znaczenie przytoczonych terminów, choć i wśród naukowców nie są one postrzegane w ten sam sposób, jednoznacznie (Uchmański 1983). W podręczniku „Życie i ewolucja biosfery” prof. Januarego Weinerja „stałość” zdefiniowano jako brak zmian w ekosystemie, co może być wynikiem zupełnej izolacji systemu, jego odporności (braku reakcji na czynniki zaburzające) lub działania nań zrównoważonych sił, „stabilność” oznacza zdolność układu do powracania do stanu początkowego po zaburzeniach, natomiast „trwałość” oznacza stałość składu gatunkowego w ekosystemie (biocenozie) (Weiner 2003). Z kolei prof. Charles J. Krebs w podręczniku „Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności” definiuje pojęcie „stabilność” jako zdolność przetrwania zaburzeń bez istotnych skutków, zdolność do zachowania względnej stałości pomimo działania czynników zaburzających lub brak fluktuacji liczebności populacji (Krebs 1997). W kontekście krajobrazowym (Richling, Solon 2002) z kolei przez „stałość” można rozumieć niezmiennność, czyli trwałość systemu w określonym przedziale czasu, choć żaden system przyrodniczy nie jest absolutnie stały, zachodzą w nim bowiem dwa rodzaje zmian: (1) niewielkie (fluktuacyjne), niepowodujące istotnych różnic w strukturze i funkcjonowaniu systemu oraz (2) długookresowe zmiany ewolucyjne. Cytowani autorzy przez „stabilność” systemu rozumieją jego trwałość (niezmiennność wewnętrznych charakterystyk) w warunkach niezmiennego otoczenia, a także zdolność do jego powrotu do oryginalnego stanu po zakończeniu oddziaływania zewnętrznych czynników zakłócających. Ważnym uzupełnieniem poszukiwań precyzyjnej definicji „stabilności” i „trwałości” jest artykuł prof. Janusza Uchmańskiego dotyczący stabilności układów ekologicznych w ujęciu matematycznym, w którym autor stwierdził, iż „stabilność” oznacza zdolność układu do powracania do położenia równowagi po usunięciu czynnika zaburzającego, natomiast „trwałość” oznacza zdolność układu do trwania przez wystarczająco długi okres. Zdaniem cytowanego autora stabilność układu ekologicznego oznacza najczęściej lokalną jego stabilność wokół położenia równowagi (stabilność cząstkowa), podczas gdy do oceny trwałości układu niezbędna jest znajomość jego stabilności globalnej, a także natury, natężenia oraz rozkładu czynników zaburzających. Zatem stabilność globalna (trwałość) jest pojęciem szerszym niż stabilność cząstkowa (Uchmański

1983). Prof. Krystyna Falińska podaje, że przez stabilność zbiorowiska roślinnego należy rozumieć względnie stałą jego strukturę gatunkową i przestrzenną. Stabilność zbiorowisk jest wynikiem osiągnięcia pewnej zgodności pomiędzy zasobami środowiska a wymaganiami gatunków, które tworzą daną kompozycję florystyczną, a która wyraża się we względnie stałych relacjach przestrzennych między sąsiadami. Wyróżnia przy tym cztery aspekty stabilności zbiorowisk, tzn. (1) stałość – rozumianą jako brak istotnych zmian w czasie w strukturze gatunkowej i przestrzennej zbiorowisk, (2) trwanie – oznaczające zdolność do utrzymania się określonej struktury zbiorowisk przez długi czas, (3) bezwładność – definiowaną jako zdolność do opierania się zmianom i utrzymywania się w stanie równowagi oraz (4) elastyczność – traktowaną jako szybkość, z jaką zbiorowisko wraca do stanu równowagi po ustaniu zaburzeń (Falińska 1996). Tematyka zaburzeń w ekosystemach leśnych wywołanych zmianami klimatu jest przedmiotem licznych publikacji naukowych. W bazie Web of Science™ Clarivate jest ponad 8,5 tys. publikacji, w których użyto jednocześnie trzech terminów: las (forest), zaburzenie (disturbance) oraz klimat (climate), a liczba publikowanych corocznie prac systematycznie wzrasta (Ryc. 1).



Ryc. 1. Liczba publikacji opublikowanych w latach 1987–2022 w czasopiśmie indeksowanych przez Web of Science™ Clarivate. W zestawieniu ujęto publikacje, w których użyto jednocześnie następujących terminów: forest*, disturbance* oraz climate*.

Utrzymanie trwałości lasu jest jedną z zasad prowadzenia gospodarki leśnej w Polsce, zgodnie z krajowym porządkiem prawnym. W Art. 8. Ustawy o lasach z 28 września 1991 r. (t.j. Dz.U. 2022 Poz. 672) wskazano, iż gospodarkę leśną prowadzi się według czterech zasad, tj. powszechnej ochrony lasów, trwałości utrzymania lasów, ciągłości i zrównoważonego wykorzystania wszystkich funkcji lasów oraz powiększania zasobów leśnych. Zgodnie z Ustawą, w Polsce realizowana jest trwale zrównoważona gospodarka leśna, która oznacza „działalność zmierzającą do ukształtowania struktury lasów i ich wykorzystania w sposób i tempie zapewniającym trwałe zachowanie ich bogactwa biologicznego, wysokiej produktywności oraz potencjału regeneracyjnego, żywotności i zdolności do wypełniania, teraz i w przyszłości, wszystkich ważnych ochronnych, gospodarczych i socjalnych funkcji na poziomie lokalnym, narodowym i globalnym, bez szkody dla innych ekosystemów”. Zagrożenie trwałości oznacza natomiast stan lasu wywołany czynnikami zewnętrznymi bądź też nieprawidłową gospodarką leśną, wymagający zabiegów zwalczających i ochronnych albo jego przebudowy (Ustawa o lasach... 1991). Zgodnie z obowiązującymi w Polsce „Zasadami hodowli lasu” (2012), zachowanie trwałości lasów w zmieniających się warunkach środowiska przyrodniczego jest możliwe dzięki uwzględnianiu w gospodarowaniu zasobami leśnymi naturalnych procesów obserwowanych w przyrodzie.

Problematyka utrzymania trwałości lasu, jako podstawowego warunku zrównoważonego rozwoju gospodarki leśnej, w opracowaniach naukowych z zakresu leśnictwa ma długą historię. Ponad 300 lat temu Hans Carl von Carlowitz (1645–1714) ukształtował w wydanej w Niemczech w 1713 r. rozprawie pt. „*Sylvicultura oeconomica*” ideę trwałego użytkowania obszarów leśnych i w kontekście gospodarki leśnej zastosował pojęcie zrównoważonego rozwoju, pojęcie opisujące model zarządzania lasami w celu zabezpieczenia i zapewnienia równomiernego dochodu oraz długoterminowego utrzymania lasów, a jego istotą było utrzymanie w dobrej kondycji odpowiedniej ilości drzewostanów (Bendix 2014; Marczak 2015). Zdefiniowana przez Carlowitza zasada trwałości lasu tożsama była zatem wówczas z pojęciem trwałości produkcji. Od tego czasu w literaturze naukowej przedstawiono ponad 250 interpretacji tego terminu (Poznański 2014). Przez wiele lat trwałość lasu odnoszono w pracach naukowych do trwałej równomierności dochodów (materiałowych i finansowych) i zwiększania możliwości produkcyjnych (Stępień 1988). Współczesne definicje trwałości lasu inaczej ujmują znaczenie tego terminu, a w polskim piśmiennictwie znaleźć można wiele prac, w których autorzy pochylili się nad tym zagadnieniem. Na przykład prof. Ryszard Poznański definiuje trwałość lasu jako ciągłość jego istnienia (Poznański 1996). Trwałość lasu jest uzależniona

od trzech procesów związanych z rozwojem lasu (a ściślej – zbioru roślin drzewiastych rosnących w zwarciu), tj. odnowienia (reprodukcji), przeżywania (przyrastania) oraz ubywania (użytkowania). Trwałość lasów w przyszłości zależeć będzie od relacji między procesem przeżywania a procesem ubywania zasobów leśnych, a – co należy podkreślić – na relacje pomiędzy tymi dwoma procesami przemożny wpływ wywierać będą przez długi czas, ze względu na to, iż drzewa są gatunkami długowiecznymi, decyzje podjęte przez poprzednie pokolenia, które skutkują takim obrazem lasu, jaki dzisiaj znamy. Cytowany autor wyraża pogląd, iż trwałe utrzymanie lasów o zrębowym i przerębowo-zrębowym sposobie zagospodarowania z wykorzystaniem rębni częściowych zależy od regulacyjnej działalności leśnika, a „brak lub rezygnacja z regulacyjnej działalności leśnika jest równoznaczna z zaniechaniem prowadzenia racjonalnej gospodarki leśnej i prowadzi wprost do utraty trwałości istnienia tych lasów”. Utrzymanie trwałości lasu może być realizowane na dwa podstawowe sposoby: (1) poprzez tworzenie modelowych (docelowych) struktur lasu i dążenie do wzorca stworzonego przez człowieka lub (2) poprzez postrzeganie lasu i zachodzących w nim procesów takimi, jakimi w istocie są, a nie takimi, jakimi przypuszczamy, że powinny być (układ otwarty). Utrzymanie trwałości lasu wymaga zintegrowanego systemu regulacji obejmującego prognozowanie rozwoju zasobów leśnych, programowanie (poprzez wyznaczenie pożądanego kierunku rozwoju zasobów leśnych i regulację użytkowania rębego) oraz planowanie, którego celem jest kształtowanie zasobów leśnych w kierunku uznanym za pożądany (Poznański 1996). Stabilność (i trwałość) mają znaczenie nie tylko w badaniach ekologicznych (badania podstawowe), ale i także w praktyce, stwarzają bowiem perspektywę sformułowania zasad umożliwiających kształtowanie trwałych układów bądź też zdefiniowania warunków zwiększenia ich trwałości (Stępień 1988). Prof. Edward Stępień podkreśla, że współczesne podejście do trwałości lasu musi uwzględniać wiele jego funkcji mających charakter niematerialny, choć możliwy do monetarnego wycenienia (dzisiaj: usługi ekosystemowe). Przytoczone w przywołanym opracowaniu definicje trwałości lasu odnoszą się m.in. do niezakłóconej i ciągłej zdolności lasu do spełniania różnorodnych funkcji, do kształtowania i utrzymania ekosystemów leśnych najlepiej dostosowanych do lokalnych warunków, do stałej zdolności do optymalnego pełnienia funkcji produkcyjnej czy też do wielostronnego oddziaływania na środowisko człowieka (Stępień 1988). Warto podkreślić, iż zasada utrzymania trwałości lasu nie odnosi się do pojedynczych drzew czy drzewostanów, a do lasu porastającego rozległy obszar, na którym występuje wiele drzewostanów w różnym wieku, bądź też zbiór wielu drzew o zróżnicowanej grubości oraz wieku (Dawidziuk, Zajączkow-

ski 2014). Klocek i Rutkowski (1986) definiują trwałość lasu jako ciągłe, nieprzerwane zajmowanie gruntów leśnych przez biologicznie trwałe zbiorowiska roślinne o cechach, które zapewniają odkładanie się corocznie możliwie wysokiego przyrostu na rosnącym w lesie zapasie produkcyjnym, o zróżnicowanej strukturze wiekowej (występowanie drzewostanów wszystkich klas wieku) oraz o odpowiedniej wielkości tego zapasu utrzymywanej na pewnym poziomie, w pewnych granicach.

Czasy, w których żyjemy, pozwalają nam dostrzec to, do jak wielkich zmian doprowadziła działalność człowieka i jego eksploatacyjna względem zasobów naturalnych postawa. Zmiany te zagrażają trwałości ekosystemów leśnych, a stosowane aktualnie metody ochrony lasów, jako narzędzia racjonalnej gospodarki leśnej, okazują się niewystarczające, co będzie wymagało od naukowców i leśników-praktyków opracowania rozwiązań w istotnym stopniu odbiegających od znanych w europejskim leśnictwie wzorców postępowania. Istnieje duża obawa, że ani kierunki zmian, ani ich długofalowe konsekwencje, nie będą możliwe do przewidzenia z takim poziomem pewności, by podejmowane działania okazały się skuteczne w łagodzeniu ich następstw w skali lokalnej czy regionalnej. Naturalne zaburzenia zawsze były obecne w lasach. Jakkolwiek takie zjawiska ekstremalne jak susze, fale upałów, huragany, burze, pożary, gradacje owadów czy powodzie są zaburzeniami o charakterze naturalnym (choć ich wzrastająca częstotliwość ma podłoże antropogeniczne), silnie wpływającymi na strukturę i dynamikę ekosystemów leśnych, to wciąż możemy uważać, że nie w pełni rozumiemy dynamikę tychże naturalnych zaburzeń i jej wpływ na funkcjonowanie ekosystemów, mimo iż w naszej historii obserwowaliśmy niejednokrotnie skutki takich zjawisk. Jest to szczególnie ważne m.in. dlatego, że naturalne zaburzenia i ich skutki były dotąd przedmiotem badań na ogół w lasach rozwijających się spontanicznie lub występujących na obszarach chronionych, natomiast w lasach gospodarczych zdecydowanie rzadziej (Szwagrzyk 2000; Dobrowolska 2010). Nasza wiedza o zaburzeniach w ciągu ostatnich 100 lat znacząco się zwiększyła – w czasach prof. Frederica E. Clementsa (1874–1945), wybitnego amerykańskiego uczonego – ekologa, zaburzenia traktowane były nawet jako wyjątek od reguły, normy, i nie przypisywano im pewnych prawidłowości, stąd też przyjmowano, iż naturalne zaburzenia nie mogą być przedmiotem badań, w których stosuje się naukowe metody poznania (Clements 1916). Dzisiaj naturalne zaburzenia są przedmiotem licznych badań, wyniki których uwzględniane są także w modelach opisujących dynamikę zbiorowisk oraz ekosystemów, w tym także leśnych (Frelich 2002, 2016; Szwagrzyk 2000, 2016, 2018; Dmyterko et al. 2020). Naturalnych zaburzeń (np. takich jak pożary, silne wiatry, gradacje owadów),

nie można przewidzieć, co najwyżej można określić prawdopodobieństwo ich wystąpienia (Seidl et al. 2011). W gospodarce leśnej można jednak podejmować działania, które – do pewnego stopnia – mogą służyć zminimalizowaniu skutków naturalnych, wielkopowierzchniowych zaburzeń, które zawsze mają charakter klęski i niosą wiele strat, nie tylko materialnych.

Empirycznych danych potwierdzających wyraźne zmiany klimatu na Ziemi jest w literaturze naukowej bez liku. Ich tempo jest bardzo duże w każdej skali przestrzennej, tj. punktowej, lokalnej, regionalnej, krajowej, kontynentalnej oraz globalnej (Kundzewicz, Juda-Rezler 2010; Bonan 2008; Kundzewicz 2016). Zmiany klimatu mogą nieść ze sobą zarówno niekorzystne, jak i korzystne skutki, przy czym tak prawdopodobieństwo, jak i dotkliwość niekorzystnych następstw zmian klimatu rosną wraz ze wzrostem szybkości oraz amplitudy zmian (Stern et al. 2006; Bonan 2008). Analiza dotychczasowych raportów Międzyrządowego Panelu ds. Zmiany Klimatu (ang. Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) wskazuje na coraz wyraźniejsze podkreślanie roli człowieka jako przyczyny zachodzących zmian. Na przykład w pierwszym raporcie IPCC, opublikowanym w 1990 r. napisano o „niewielkim świadectwie odróżnialnego wpływu człowieka na klimat”, w drugim raporcie (1996 r.) wskazano już na „odróżnialny wpływ człowieka”, w trzecim (2001 r.) napisano, iż „większość zaobserwowanego ocieplenia w ostatnim 50 leciu jest prawdopodobnie wynikiem wzrostu atmosferycznego stężenia gazów cieplarnianych”, podczas gdy w czwartym (2007 r.) stwierdzono, że „większość zaobserwowanego wzrostu średniej temperatury globalnej od połowy XX wieku jest bardzo prawdopodobnie spowodowana wywołanym przez człowieka wzrostem koncentracji gazów cieplarnianych”. W pierwszej części 6. Raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu przedstawiono wiele informacji charakteryzujących obserwowane zmiany klimatu (IPCC 2021). Autorzy raportu nie mają wątpliwości, że są to skutki działalności człowieka. Wzrost koncentracji gazów cieplarnianych od około 1750 r. jest bezdyskusyjnie spowodowany naszą aktywnością, a aktualna koncentracja CO₂ w atmosferze jest najwyższa w okresie ostatnich 2 mln lat (np. w czerwcu 2022 r. średnia koncentracja CO₂ stwierdzona przez Global Monitoring Laboratory na Mauna Loa wynosiła 420,99 ppm, podczas gdy w czerwcu 1970 r. – 327,30 ppm). Począwszy od połowy XIX wieku, każde z ostatnich czterech dziesięcioleci było kolejno coraz cieplejsze od wszystkich wcześniejszych dekad. W dekadzie 2011–2022 średnia temperatura powierzchni Ziemi była wyższa o 1,09°C niż w latach 1850–1900, przy czym nad lądami zaobserwowano większy wzrost temperatury w porównaniu do jej wzrostu nad oceanami. W ostatnich siedmiu dekadach fale upałów stwierdzano częściej, a przy tym

charakteryzowały się one większą intensywnością. Ekstrema ciepła stały się coraz częstsze i intensywniejsze, podczas gdy ekstrema chłodu są rzadsze i mniej dotkliwe. Od lat 50-ych XX w. obserwuje się wzrost częstotliwości i intensywności ulewnych opadów na większości lądów, jednak w wyniku zwiększonej ewapotranspiracji susze nasiliły się. Od początku XX wieku globalny średni poziom morza podnosił się szybciej niż w jakimkolwiek innym stuleciu w ciągu ostatnich trzech tysięcy lat. Ponadto, od 70 lat obserwujemy wzrost możliwości wystąpienia złożonych zjawisk o charakterze ekstremalnym (np. jednoczesne występowanie fal upałów oraz susz, pogody sprzyjającej powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożarów oraz wieloprzyczynowych powodzi). Odnotowano także, iż w ciągu ostatnich 50 lat strefy klimatyczne na obu półkulach przesunęły się w kierunku biegunów, a sezon wegetacyjny na półkuli północnej wydłużył się średnio o dwa dni na dekadę (IPCC 2021). Raport IPCC omawia także przewidywane zmiany klimatu w oparciu o symulacje przeprowadzone z wykorzystaniem modelowania, z uwzględnieniem różnych scenariuszy emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Autorzy wskazują, iż średnia globalna temperatura powierzchni Ziemi w latach 2081–2100 będzie o 1,0–1,8°C wyższa niż w okresie 1850–1900 w scenariuszu zakładającym bardzo niskie emisje gazów cieplarnianych, o 2,1–3,5°C wyższa w scenariuszu pośrednim oraz o 3,3–5,7°C wyższa w scenariuszu zakładającym bardzo wysoki poziom emisji. Wraz ze wzrostem średniej globalnej temperatury (przyrostem globalnego ocieplenia) wzrośnie intensywność i częstotliwość zjawisk ekstremalnych (fale upałów, intensywne opady atmosferyczne oraz susze), które będą niezwykle dotkliwe m.in. dla rolnictwa i leśnictwa. Opublikowana w 2022 r. druga część 6. Raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmiany Klimatu przedstawia konsekwencje globalnej zmiany klimatu, możliwości adaptacyjne (przystosowawcze) ludzi i środowiska przyrodniczego oraz identyfikuje najbardziej narażone ekosystemy i społeczeństwa na jej konsekwencje. Autorzy raportu podkreślają, że niektóre z obecnie obserwowanych skutków globalnej zmiany klimatu są nieodwracalne, a wzorce niezrównoważonego rozwoju prowadzą do wzrostu podatności zarówno ekosystemów, jak i ludzi, na zagrożenia bezpośrednio i pośrednio z niej wynikające. W raporcie tym wskazano cztery kluczowe zagrożenia dla Europy, tj. upały i ich skutki dla ekosystemów i ludzi, niedobory wody, zmniejszenie plonów w uprawach na skutek susz i upałów oraz wzrost poziomu morza i powodzie (IPCC 2022). Globalna zmiana klimatu niesie oczywiście znacznie więcej następstw, niż te wymienione, np. zmniejszenie liczby zimnych dni i nocy, a także dni z przymrozkami, zredukowanie pokrywy lodowej i śnieżnej, wzrost liczby dni upalnych, skrócenie okresu, w którym gleba jest zamrożona, wydłużenie czasu trwania susz,

skurczenie zasobów wód słodkich na łądach, wzrost częstotliwości silnych wiatrów, wzrost udziału opadów nawałnych w sumie opadów atmosferycznych, zanik opadów atmosferycznych w postaci gęsto padających drobnych kropel wody (mżawki), czy wreszcie – wydłużenie okresu wegetacyjnego. Zmiany klimatu w naszej strefie klimatycznej, a szczególnie ich tempo, mogą nie pozostawić wielu gatunkom i tworzeniom przez nie zbiorowiskom wystarczająco dużo czasu na to, by zaadaptowały się do nowych, zmienionych warunków. Można przypuszczać, że w naszych warunkach środowiskowych dominujący wpływ zarówno na gatunki roślin, zwierząt, jak i grzybów będzie wywierała intensyfikacja zjawisk pogodowych obejmujących porywiste wiatry, gwałtowne opady o charakterze nawałnym, powodzie, a także długo trwające okresy braku opadów atmosferycznych, które w połączeniu z wysokimi temperaturami będą prowadziły do długotrwałych i często powtarzających się susz oraz zakłócenia lokalnych i regionalnych bilansów wodnych. Zjawiska te będą prowadziły do osłabienia drzew i pogorszenia stanu zdrowotnego lasu, co będzie wpływało destabilizująco na ekosystemy leśne i ich części składowe, zwiększając prawdopodobieństwo pojawienia się gradacji owadów czy chorób wywołanych przez grzyby patogeniczne. Taki stan zagrażać będzie różnorodności biologicznej i interakcjom międzygatunkowym.

Kluczową negatywną konsekwencją globalnej zmiany klimatu, która może zagrazić trwałości lasów, jest osłabienie kondycji drzew i drzewostanów. Działania leśników, których celem powinno być utrzymanie trwałości ekosystemów leśnych, winny być ukierunkowane na zwiększenie potencjału adaptacyjnego i odporności ekosystemów leśnych na czynniki szkodliwe (z gospodarczego punktu widzenia). Do realizacji tego celu można wykorzystać wiele technik znanych naukom leśnym i współczesnemu leśnictwu.

Analiza wielu źródeł literaturowych wskazuje, iż jednym z najdotkliwszych skutków zmiany klimatu (choć w istocie trudno jest wartościować zjawiska niosące negatywne konsekwencje zachodzących w lasach zmian) wpływającym na kondycję lasów są i będą długotrwałe okresy bezdeszczowe oraz wzrost częstotliwości okresów upalnych, które prowadzić będą do suszy. W związku z tym, iż w kształtowaniu zasobów wodnych w krajobrazie ogromną rolę odgrywają zarówno grubość, jak i czas zalegania pokrywy śnieżnej, zjawisko suszy potęgowane będzie brakiem śniegu (względnie jego mniejszą ilością) i wyraźnie cieplejszymi zimami, które łącznie w istotny sposób redukują retencję wody w glebie. Susza w ekosystemach leśnych prowadzi do zmniejszenia wilgotności gleby oraz ścioly, obniżenia lustra wód, tak powierzchniowych, jak i gruntowych, zredukowania przyrostu drzewostanów, a także zmniejszenia ich vitalności i odporności na szkodniki owadzie

i patogeny grzybowe (Miler 2013; Kędzióra et al. 2014). Na obszarach, gdzie susze były lub są częste, gatunki roślin, zwierząt czy też grzybów, a także ich zbiorowiska, wykształciły wiele przystosowań do niedoboru wody, tam zaś, gdzie wody było i jest pod dostatkiem – takie adaptacje konieczne nie były (Jagodziński et al. 2021). Brak opadów atmosferycznych w okresie upałów prowadzi do suszy, w wyniku której zamierają drzewa i drzewostany, co negatywnie wpływa na funkcjonowanie ekosystemów leśnych oraz możliwość pełnienia przez nie usług ekosystemowych (Allen et al. 2010; Anderegg et al. 2012; Senf et al. 2020). Na poziomie osobniczym susza może upośledzać proces wymiany gazowej (fotosyntezy czy oddychania) u roślin drzewiastych i prowadzić do zakłóceń w obiegu wody w roślinie. Może zatem bezpośrednio powodować pogorszenie kondycji, a nawet śmierć konkretnego osobnika, np. poprzez niedostatek fotoasymilatów niezbędnych do realizowania wszystkich procesów zapewniających prawidłowy wzrost i rozwój. Zakłócenie warunków hydrotermicznych może doprowadzić do osłabienia funkcji życiowych drzew, a to z kolei czyni je podatniejszymi na szkodniki owadzie oraz grzyby patogeniczne, szczególnie w okresach suszy połączonej z wysokimi temperaturami. Na przykład Breshears et al. (2005) wykazali, iż w wyniku suszy, a następnie gradacji *Ips confusus*, która miała miejsce w latach 2002–2003, w ciągu zaledwie kilkunastu miesięcy obumarło ponad 90% drzew *Pinus edulis* na badanych przez nich obszarach południowo-zachodniej Ameryki Północnej. Z literatury znanych jest wiele przykładów zamierania drzewostanów w wyniku suszy (rozpatrywanej jako główny czynnik), np. *Pinus sylvestris* w szwajcarskich Alpach czy w Niemczech (Bigler et al. 2006; Buras et al. 2018), dębów w Polsce (Siwecki, Ufnalski 1998), czy też rozpad drzewostanów w Kalifornii, gdzie w latach 2010–2017 obumarło blisko 129 mln drzew. Zdaniem Kędziory et al. (2014) w warunkach klimatycznych naszego kraju jedynie w wyjątkowych okolicznościach susza może być bezpośrednią przyczyną obumierania drzew i zamierania całych drzewostanów, choć znane są spektakularne w skutkach przykłady klęsk ekologicznych prowadzących do zamierania lasów, gdzie jednym z czynników inicjujących była właśnie susza (np. w Górach Izerskich 40 lat temu, czy też na początku XXI w. w Beskidzie Śląskim). W dalszej kolejności, stres suszy, prowadzący do pogorszenia kondycji drzew, a często także wielkopowierzchniowego zamierania drzewostanów, może zwiększyć rozmiar i intensywność pożarów (Turco et al. 2017). Długotrwałe susze mogą skutkować zmianami zasięgów geograficznych drzew w związku z utratą optimum klimatycznego w miejscu ich dzisiejszego występowania (Dyderski et al. 2018), a także wędrówką gatunków z nimi związanych, np. grzybów (Jagodziński et al. 2020). W konsekwencji prowadzi to do zmiany

składu gatunkowego i struktury biocenoz leśnych (w tym drzewostanów). Warto także wspomnieć, iż dla zachowania trwałości lasów, a także ich ciągłości oraz możliwości korzystania przez społeczeństwo z pełnionych przez nie funkcji (świadczonych usług ekosystemowych), konieczne są działania zmierzające do zwiększenia retencji wody w lasach nizinnych oraz przeciwdziałanie erozji wodnej w górach. W kontekście suszy i jej następstw pojawia się pytanie, czy takie wielkopowierzchniowe zjawisko, skutkujące śmiercią wielu drzew, zmianą fizjonomii lasu, oznacza utratę trwałości lasu, czy jeszcze nie? W rozumieniu trwałości lasu jako ciągłości jego istnienia można spojrzeć na tę kwestię w dwojnasób: dla leśnika, który w takim lesie prowadzi gospodarkę leśną, będzie to utrata trwałości lasu (utrata produkcji), a dla ekologa niekoniecznie. Jeśli taki „zniszczony” las pozostawi się procesowi sukcesji, to w przyszłości będzie tutaj również rósł las, ale na efekt trzeba będzie poczekać dłużej, aniżeli w sytuacji zastosowania technik i procedur znanych gospodarce leśnej.

Konsekwencją braku lub niedoboru wody w ekosystemach leśnych, a także wysokich temperatur, jest osłabienie drzew, co w następstwie zwiększa ich wrażliwość na ataki organizmów, które im zagrażają, czyli głównie owadów i grzybów patogenicznych. Masowe występowanie szkodliwych owadów (gradacja) czy też grzybów patogenicznych (epifitoza) może w swoich skutkach mieć znamiona katastrofy (dla leśnika, nie dla lasu). Owady, jako organizmy ektotermiczne, są w istotnym stopniu zależne od warunków termicznych środowiska. Zmiany klimatu wpływają zatem bezpośrednio na nie, ale i także na roślinę-gospodarza. Pod wpływem zmiany klimatu owady mogą m.in. zmieniać swój zasięg geograficzny, aktywność, długość rozwoju, liczbę generacji rozwijających się w ciągu roku czy też przeżywalność w krytycznym okresie zimy, a także – fenologię (Battisti 2008; Jaworski, Hilszczański 2013). W związku z tym mogą stać się jeszcze groźniejszymi szkodnikami i stwarzać większe zagrożenie dla drzew niż dotychczas. Pamiętać należy, że gradacje owadów, a także masowy pojaw grzybów patogenicznych, to zjawiska na wskroś naturalne, powiązane ze spontaniczną dynamiką lasów borealnych oraz lasów klimatu umiarkowanego, choć w ostatnich 100 latach częstość ich pojawiania się na półkuli północnej jest większa. W związku z prognozowanymi zmianami zasięgów geograficznych drzew w Europie i na świecie (utrata optimum klimatycznego) i wynikami badań, które wskazują na to, że gatunki o wąskich zakresach tolerancji ekologicznej będą na ogół traciły swoje stanowiska i kurczyły swoje zasięgi geograficzne, można spodziewać się, że będzie to skutkowało zmianami składów gatunkowych drzewostanów. Liczni badacze wskazują, że granice zasięgów wielu gatunków roślin, zwierząt i grzybów będą przesuwają się w kierunku północnym lub też

w kierunku południowym (rzadziej), a w warunkach górskich – do wyższych położeń. Zmiany te mogą wiązać się z kolei ze zmianami zasięgów patogenów oraz szkodliwych owadów, i to nie tylko gatunków obcych, ale i rodzimych (Frankel 2008; Sturrock et al. 2011; Linnakoski et al. 2017). Niektóre wyniki badań potwierdzają przypuszczenia, że zmiany klimatu skutkują wzmocnieniem szkodliwego oddziaływania owadów, które do tej pory nie były uważane za mające znaczenie gospodarcze (np. *Thaumetopoea pityocampa* w Hiszpanii czy *Neodiprion sertifer* w Finlandii), a stosunkowo łagodne zimy skutkują wzrostem porażenia dębów przez patogeny grzybowe z rodzaju *Erysiphe* (Virtanen et al. 1996; Marçais, Desprez-Loustau 2014; Gazol et al. 2019). I znowu pojawia się pytanie o trwałość lasu. I odpowiedzi będą też dwie.

Lasy rozwijały się od zarania dziejów, doświadczając w swej historii licznych zaburzeń. Po zaburzeniu las się zmieniał, ale wciąż nim pozostawał. Trwał. Współcześnie, gdy w większości z nich prowadzi się gospodarkę leśną, oczekiwania przed takimi lasami stawiane są zupełnie inne. Każdy z nich ma zdefiniowane funkcje do realizacji, w tym produkcyjną (a dla trwałości lasu produkcja ma znaczenie *per definitionem*). W przypadku szkód wyrządzanych przez silne wiatry, które współcześnie bywają bardzo dotkliwe, w jak najkrótszym czasie staramy się przywrócić drzewa i drzewostany na takich powierzchniach. Zakładamy uprawy leśne, poprzedzone na ogół uprzątnięciem powierzchni pokłeskowej z połamanych drzew. Mimo że wielkopowierzchniowe wiatrolomy i wiatrowały są dla człowieka katastrofą w rozumieniu codziennym, to dla lasu jest to pewien etap przejściowy. Las trwa, istnieje. Pożary, wiatrolomy, gradacje czy powodzie – wielkoskalowe zaburzenia, które w ostatnich latach występują częściej – powodują zniszczenie drzew i drzewostanów, jednak tylko czasowo pogarszają funkcje, jakie pełni ekosystem leśny. Jest to strata, przyrodnicza i ekonomiczna. Mimo iż istnieje wiele sposobów na to, by złagodzić potencjalne skutki takich katastrof, poprzez np. wzrost „odporności” drzewostanów kształtowanych ręką człowieka, to jednak praktycznie nie można zapobiec takim zdarzeniom. Ważną kwestią jest jednak to, w jaki sposób zareagujemy na taką katastrofę przyrodniczą.

Przed nauką i praktyką stoi jednak nie lada wyzwanie – opracowanie naukowych podstaw strategii, której nadrzędnym celem będzie wdrożenie metod i technik do praktyki leśnej, a które będą skutkowały zwiększeniem potencjału adaptacyjnego lasów wobec dotkliwych w skutkach zmian klimatu, nie zapominając jednocześnie o poszanowaniu postaw i oczekiwań społeczeństwa. Nie można przy tym zapominać, że istnieje wiele sposobów na to, by destrukcyjny wpływ człowieka na klimat był jak najmniejszy – *primum non nocere, secundum cavere, tertium sanare*. Ekosystem leśny jest

układem niezwykle złożonym, dlatego też trudno jest zaplanować takie działania w ramach narzędzi, jakimi dysponuje gospodarka leśna, by zminimalizować potencjalne negatywne skutki globalnej zmiany klimatu w tym sektorze gospodarki narodowej. Jednym z nurtów jest strategia adaptacyjna lasów do zmian klimatycznych, która opiera się na sześciu podstawowych zasadach, tj. zasadzie:

1. zwiększania różnorodności gatunkowej drzewostanów,
2. zwiększania różnorodności strukturalnej drzewostanów,
3. zachowania i zwiększania wewnątrzgatunkowej zmienności genetycznej,
4. zwiększania odporności poszczególnych osobników na stropy o charakterze biotycznym i abiotycznym,
5. przebudowy drzewostanów odznaczających się wysokim poziomem ryzyka powstania różnego rodzaju szkód,
6. niedopuszczania do nadmiernego wzrostu zasobności drzewostanów (Brang et al. 2014).

Wnioski

- Utrata lasów oraz redukcja ich złożoności i funkcji, jakie one pełnią, w wyniku zdarzeń o charakterze wielkopowierzchniowych zaburzeń wywołanych zmianami klimatu, doprowadzi do konieczności poszukiwania zastępczych rozwiązań, jednakże w wielu przypadkach ich znalezienie będzie niemożliwe, a w wielu przypadkach – niezwykle kosztowne i to nie tylko w wymiarze monetarnym.
- Utrzymanie trwałości lasów powinno być kluczowym zadaniem w krajowych politykach związanych z lasami, a także w tworzeniu systemu przewidywania i zapobiegania ryzyku. Do głównych wyzwań należy konieczność stawienia czoła rosnącemu ryzyku szkód spowodowanych przez szkodliwe z punktu widzenia gospodarczego organizmy oraz ekstremalne zjawiska pogodowe, obejmujących masowe obumieranie drzew, całych drzewostanów oraz zamieranie lasów.
- Aby dzisiejsza trwale zrównoważona gospodarka leśna mogła zachować bogactwo gatunkowe ekosystemów leśnych oraz skutecznie ochronić złożoność zachodzących w nich procesów ekologicznych, to stosowane metody zarządzania zasobami leśnymi powinny w większym niż dzisiaj zakresie wykorzystywać metody hodowli lasu, które czerpać będą z wiedzy zdobytej podczas badań przeprowadzonych w obiektach przyrodniczych, w których doszło do wielkoskalowych zaburzeń.
- W gospodarce leśnej i ochronie przyrody należy wypracować system metod i zasad, zastosowanie których umożliwi w pewnym chociaż sto-

pnium przeciwdziałanie z wyprzedzeniem potencjalnym skutkom zmiany klimatu, a jednocześnie metod i zasad dających szansę adaptacji ekosystemów leśnych do zmiany klimatu.

- W celu zachowania trwałości lasów i możliwości swobodnego korzystania z nich, zgodnie z oczekiwaniami społeczeństwa, priorytetem powinno być ograniczenie negatywnych skutków niedoboru wody poprzez wzrost retencyjnych właściwości ekosystemów leśnych, przeciwdziałanie erozji wodnej, a także maksymalne wydłużenie czasu, w jakim woda w nim jest zatrzymana (w ujęciu krajobrazowym).

Literatura

1. Allen C.A., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H. (Ted), Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660–684.
2. Anderegg W.R.L., Kane J.M., Anderegg L.D.L. 2012. Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change* 3: 30–36.
3. Aznar-Sánchez J.A., Belmonte-Ureña L.J., López-Serrano M., Velasco-Muñoz J.F. 2018. Forest ecosystem services: an analysis of worldwide research. *Forests* 9: 453.
4. Battisti A. 2008. Forests and climate change – lessons from insects. *iForest – Biogeosciences and Forestry* 1: 1–5.
5. Bendix B. 2014. Hans Carl von Carlowitz. *Sylvicultura Oeconomica. Studia i Materiały Ośrodka Kultury Leśnej* 13: 29–40.
6. Bigler C., Bräker O.U., Bugmann H., Dobbertin M., Rigling A. 2006. Drought as an Inciting Mortality Factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
7. Bonan G.B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedback, and climate benefits of forests. *Science* 320(5882): 1444–1449.
8. Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Boncáková A., Chauvin C., Drössler L., García-Güemes C. Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason B., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M. 2014. Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 87: 492–503.
9. Breshears D.D., Cobb N.S., Rich P.M., Price K.P., Allen C.D., Balice R.G., Romme W.H., Kastens J.H., Floyd M.L., Belnap J., Anderson J.J., Myers O.B.,

- Meyer C.W. 2005. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 15144–15148.
10. Buras A., Schunk C., Zeiträg C., Herrmann C., Kaiser L., Lemme H.
 11. Straub C., Taeger S., Gößwein S., Klemmt H.-J., Menzel A. 2018. Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environmental Research Letters* 13, 025001.
 12. Carnicer J., Coll M., Ninyerola M., Pons X., Sánchez G., Peñuelas J. 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108: 1474–1478.
 13. Charney N.D., Babst F., Poulter B., Record S., Trouet V.M., Frank D., Enquist B.J., Evans M.E.K. 2016. Observed forest sensitivity to climate implies large changes in 21st century North American forest growth. *Ecology Letters* 19: 1119–1128.
 14. Chazdon R.L., Brancalion P.H.S., Laestadius L., Bennet-Curry A., Buckingham K., Kumar C., Moll-Rocek J., Vieira I.C.G., Wilson S.J. 2016. When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio* 45: 538–550.
 15. Clements F.E. 1916. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Institution of Washington. Washington, D.C., USA.
 16. Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
 17. Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R.K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26: 152–158.
 18. Dawidziuk J., Zajączkowski S. 2014. Problemy stabilności oraz trwałości lasu w praktyce urzędniowej. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 16(39): 88–97.
 19. Dmyterko E., Bruchwald, Mionskowski M., Brzeziecki B. 2020. Model składu gatunkowego drzewostanu dla lasów w Sudetach z uwzględnieniem zmian klimatycznych. *Sylwan* 164: 454–466.
 20. Dobrowolska D. 2010. Rola zaburzeń w regeneracji lasu. *Leśne Prace Badawcze* 71: 391–405.
 21. Dyderski M.K., Paź S., Frelich L.E., Jagodziński A.M. 2018. How much does climate change threaten European forest tree species distributions? *Global Change Biology* 24: 1150–1163.
 22. Ehrlich P.R., Mooney H.A. 1986. Extinction, substitution, and ecosystem services. *BioScience* 33: 248–254.

23. Falińska K. 1996. Ekologia roślin. Podstawy teoretyczne, populacja, zbiorowisko, procesy. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
24. FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome.
25. Forest Europe. 2020. State of Europe's Forests 2020. www.foresteurope.org
26. Frankel S.J. 2008. Forest plant diseases and climate change. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center.
27. Frelich L.E. 2002. Forest Dynamics and Disturbance Regimes. Cambridge University Press, Cambridge.
28. Frelich L.E. 2016. Seven ways a warming climate can kill the boreal forest. W: Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.). Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku. Konferencja naukowa. Kórnik-Poznań, 17–19 października 2016. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. Ss. 38–48.
29. Fuchs R., Herold M., Verburg P.H., Clevers J.G.P.W., Eberle J. 2015. Gross changes in reconstructions of historic land cover/use for Europe between 1900 and 2010. *Global Change Biology* 21: 299–313.
30. Gazol A., Hernández-Alonso R., Camarero J.J. 2019. Patterns and drivers of pine processionary moth defoliation in Mediterranean mountain forests. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7: 458.
31. Grammatikopoulou I., Vaekásová D. 2021. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting. *Ecosystem Services* 48: 101262.
32. IPCC. 2021. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Pp. 3–32.
33. IPCC. 2022. Summary for Policymakers [Pörtner H.-O., Roberts D.C., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Tignor M., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A. (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., Okem A., Rama B. (eds.)]. Cambridge University Press.
34. Iverson L.R., McKenzie D. 2013. Tree-species range shifts in a changing climate: Detecting, modeling, assisting. *Landscape Ecology* 28: 879–889.
35. Jagodziński A.M., Pietras M., Dyderski M.K. 2020. Migracje drzew i grzybów

- mykoryzowych w wyniku przesuwania się stref klimatycznych. W: Burchard-Dziubińska M., Prandecki K. (red.). Zmiana klimatu – skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki. Komitet Prognoz "Polska 2000 Plus" PAN, Warszawa. Ss. 75–96.
36. Jagodziński A.M., Pietras M., Iszkuło G., Chmura D.J., Ratajczak E. 2021. W czasie suszy szosa sucha. A co się dzieje w lesie? Forum Akademickie 5: 35–39.
 37. Jaworski T., Hilszczański J. 2013. Wpływ zmian temperatury i wilgotności na cykle rozwojowe i znaczenie owadów w ekosystemach leśnych w związku z prawdopodobnymi zmianami klimatycznymi. Leśne Prace Badawcze 74: 345–355.
 38. Kędziora A., Kępińska-Kasprzak M., Kowalczak P., Kundzewicz Z.W., Miler A.T., Pierzgański E., Tokarczyk T. 2014. Zagrożenia związane z niedoborem wody. Nauka 1: 149–172.
 39. Klocek A., Rutkowski B. 1986. Optymalizacja regulacji użytkowania rębnego drzewostanów. PWRiL. Warszawa.
 40. Krebs C.J. 1997. Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
 41. Kundzewicz Z., Juda-Rezler K. 2010. Zagrożenia związane ze zmianami klimatu. Nauka 4: 69–76.
 42. Kundzewicz Z.W. 2016. Zmiany klimatu i ich skutki – obserwacje, prognozy i adaptacja. W: Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.). Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku. Konferencja naukowa. Kórnik-Poznań, 17–19 października 2016. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. Ss. 77–91.
 43. Linnakoski R., Forbes K.M., Wingfield M.J., Pulkkinen P., Asiegbu F.O. 2017. Testing projected climate change conditions on the *Endoconidiophora polonica* / *Norway spruce* pathosystem shows fungal strain specific effects. Frontiers in Plant Science 8: 883.
 44. Marçais B., Desprez-Loustau M.-L. 2014. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. Annals of Forest Science 71: 633–642.
 45. Marczak Ł. 2015. Problem wieloznaczności pojęcia "zrównoważony rozwój". Studia Gdańskie 36: 167–180.
 46. Meier M., Vitasse Y., Bugmann H., Bigler C. 2021. Phenological shifts induced by climate change amplify drought for broad-leaved trees at low elevations in Switzerland. Agricultural and Forest Meteorology 304: 108485.
 47. Menzel A., Sparks T.H., Estrella N., Roy D.B. 2006. Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. Global Ecology and Biogeography 15: 498–504.
 48. Miler A.T. 2013. Kompleksowa metodyka oceny stosunków wodnych w lasach. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

49. Osuri A.M., Gopal A., Raman T.S., DeFries R., Cook-Patton S.C., Naeem S. 2019. Greater stability of carbon capture in species-rich natural forests compared to species-poor plantations. *Environmental Research Letters* 15: 034011.
50. Palmero-Iniesta M., Pino J., Pesquer L., Espelta J.M. 2021. Recent forest area increase in Europe: expanding and regenerating forests differ in their regional patterns, drivers and productivity trends. *European Journal of Forest Research* 140: 793–805.
51. Poznański R. 1996. Problematyka trwałości lasu oraz metody jej utrzymania. *Sylvan* 140(8): 19–31.
52. Poznański R. 2014. Trwałość lasu i regulacja a ochrona przyrody w lasach. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 16(39): 55–58.
53. Raport o stanie lasów w Polsce 2020. 2021. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.
54. Richling A., Solon J. 2002. *Ekologia krajobrazu*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
55. *Rocznik Statystyczny Leśnictwa*. 2021. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
56. Seidl R., Schelhaas M.-J., Lexer M.J. 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17: 2842–2852.
57. Senf C., Buras A., Zang C.S., Ramming A., Seidl R. 2020. Excess forest mortality is inconsistently linked to drought across Europe. *Nature Communication* 11: 6200.
58. Siwecki R., Ufnalski K. 1998. Review of oak stand decline with special reference to the role of drought in Poland. *European Journal of Forest Pathology* 28: 99–112.
59. Stern N., Peters S., Bakhshi V., Bowen A., Cameron C., Catovsky S., Crane D., Cruickshank S., Dietz S., Edmonson N., Garbett S.-L., Hamid L., Hoffman G., Ingram D., Jones B., Patmore N., Radcliffe H., Sathiyarajah R., Stock M., Taylor C., Vernon T., Wanjie H., Zenghelis D. 2006. *Stern review: the economics of climate change*. HM Treasury. London.
60. Stępień E. 1988. Ocena stanu zasobów drzewnych w świetle współczesnej interpretacji zasady trwałości lasu. Wydawnictwo SGGW-AR. Warszawa.
61. Sturrock R.N., Frankel S.J., Brown A.V., Hennon P.E., Kliejunas J.T., Lewis K.J., Worrall J.J., Woods A.J. 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology* 60: 133–149.
62. Szwagrzyk J. 2000. Rozległe naturalne zaburzenia w ekosystemach leśnych: ich zasięg, charakter i znaczenie dla dynamiki lasu. *Wiadomości Ekologiczne* 46: 3–19.
63. Szwagrzyk J. 2016. Naturalne zaburzenia w dynamice ekosystemów leśnych – konsekwencje dla przyrody i dla leśnictwa. W: Tomaszewski D., Jagodziński A.M. (red.). *Drzewa i lasy w zmieniającym się środowisku*. Konferencja

- naukowa. Kórnik-Poznań, 17–19 października 2016. Materiały konferencyjne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań. Ss. 117–126.
64. Szwagrzyk J. 2018. Rola naturalnych zaburzeń w lasach; zmiana paradygmatu? *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 20(54): 7–12.
 65. Thompson I., Mackey B., McNulty S., Mosseler A. 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 pages.
 66. Turco M., von Hardenberg j., AghaKouchak A., Llasat M.C., Provenzale A., Trigo R.M. 2017. On the key role of droughts in the dynamics of summer fires in Mediterranean Europe. *Scientific Reports* 7: 81.
 67. Uchmański J. 1983. Stabilność układów ekologicznych. *Wiadomości Ekologiczne* 29: 231–269.
 68. United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2021. The Global Forest Goals Report 2021. United Nations Forum on Forest Secretariat. United Nations Publication.
 69. Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach. Dz.U. 2022 Poz. 672 (tekst jednolity).
 70. Virtanen T., Neuvonen S., Nikula A., Varama M., Niemelä P. 1996. Climate change and the risks of *Neodiprion sertifer* outbreaks on Scots pine. *Silva Fennica* 30(2–3): 169–177.
 71. Weiner J. 2003. Życie i ewolucja biosfery. Podręcznik ekologii ogólnej. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
 72. Zasady hodowli lasu. 2012. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych. Warszawa.

Prof. dr hab. Andrzej M. Jagodziński
Instytut Dendrologii Polskiej Akademii Nauk
ul. Parkowa 5, 62–035 Kórnik
amj@man.poznan.pl

Referat z sesji naukowej pt.: "Leśnictwo przyszłości" z okazji 121 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Leśnego w Starych Jabłonkach, 07-10.09.2022.