

Agnieszka Bąbelewska

Akademia im. Jana Długosza, Instytut Chemii i Ochrony Środowiska,
42-200 Częstochowa, Al. Armii Krajowej 13/15, e-mail: a.babelewska@ajd.czyst.pl

Zakwaszenie kory drzew jako metoda bioindykacyjna oceny zanieczyszczenia środowiska

Streszczenie: Kora drzew jest jednym z najlepszych bioindykatorów oceny stopnia obciążenia atmosfery zanieczyszczeniami kwaśnymi, głównie związkami siarki, na danym terenie. Metodyka oceny poziomu zakwaszenia kory drzew należy do najprostszych metod bioindykacyjnych, dających w krótkim czasie wiarygodne wyniki. Najlepsze właściwości bioindykacyjne posiada kora szorstka i splekana o dużej powierzchni akumulacyjnej.

Słowa kluczowe: kora drzew, zakwaszenie, związki siarki

Wstęp

Zakwaszenie środowiska przyrodniczego jest konsekwencją zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, głównie substancjami gazowymi, wśród których największy udział ma dwutlenek siarki (SO_2), a także dwutlenek azotu (NO_2) i tlenek azotu (NO), które w monitoringu funkcjonują pod wspólną nazwą tlenków azotu (NO_x). Powyższe zanieczyszczenia gazowe emitowane są (obok zanieczyszczeń pyłowych), głównie w trakcie procesów spalania zanieczyszczonych paliw, między innymi węgla kamiennego i brunatnego oraz paliw płynnych (olejów, benzyny, ropy). Głównymi źródłami zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem siarki są następujące sektory: energetyczny (63%) – elektrociepłownie; przemysłowy (20%) – huty; gospodarstwa domowe (14%) oraz transport drogowy (3%). W Polsce wciąż najtańszym i najczęściej używanym materiałem opałowym jest najgorszego gatunku węgiel kamienny, zawierający znaczne ilości siarki (0,5–1,5 %). Węgiel brunatny wykorzystywany jest natomiast w mniejszym zakresie, głównie w przemyśle, jednakże zawiera w swoim składzie znacznie większe ilości siarki w porównaniu do węgla kamiennego (ok. 3–4%). Uwolnione do atmosfery bardzo duże ilości siarki w trakcie procesów spalania węgla stanowią jednocześnie największe zagrożenie gazowe dla środowiska przyrodniczego.

Emisja zanieczyszczeń powietrza dwutlenkiem siarki w Polsce należy nadal do najwyższych w Europie, a przyczyną tego stanu rzeczy jest właśnie niekorzystna struktura wytwarzania energii – ponad trzy czwarte pochodzi ze

spalania węgla kamiennego i brunatnego. W ostatnich latach obserwowany jest powolny spadek emisji dwutlenku siarki do powietrza, ale i tak z emisją 2 mln ton SO_2 i ponad miliona ton pyłów Polska zajmuje drugą lokatę wśród największych trucicieli Europy [1]. Obserwowany jest natomiast wzrost emisji tlenków azotu do atmosfery, spowodowany stałym wzrostem liczby pojazdów uczestniczących w ruchu drogowym. Obecnie udział transportu w emisji tlenków azotu do atmosfery wynosi 50%, mniejszy wpływ na emisję tych zanieczyszczeń (35%) ma energetyka, natomiast przemysł stanowi 10%, a gospodarstwa domowe mają swój udział w emisji NO_x w 5%. Najgorsza sytuacja, pod względem obciążenia ładunkami siarki siarczanowej oraz azotynów i azotanów, wniesionymi przez opady atmosferyczne, jest w województwach południowych Polski, a w szczególności województwie śląskim [2].

Wyemitowane wprost ze źródeł emisji gazy do atmosfery (tzw. zanieczyszczenia pierwotne) mogą podlegać w niej procesom łączenia się z innymi składnikami atmosfery (gazami lub cząstkami stałymi), stając się zanieczyszczeniami wtórnymi, często znacznie groźniejszymi od zanieczyszczeń pierwotnych. Powszechnym zjawiskiem jest zdolność łączenia się zanieczyszczeń pierwotnych z rodnikami hydroksylowymi lub tlenem atomowym i tworzenia w tych reakcjach kwasów, np. kwasu siarkowego (VI) (H_2SO_4) czy kwasu azotowego (V) (HNO_3), których katalizatorem jest promieniowanie słoneczne. Kwasy te stają się składnikami kropel chmurowych i powodują znaczne obniżenie pH wody chmurowej, nawet do 2,6 [3], przy normalnej kwasowości opadów o pH 5,6.

Wody te spadają na ziemię w postaci „kwaśnych deszczy” (tzw. depozycja mokra zanieczyszczeń) i powodują silne zakwaszenie środowiska, w tym także wielu materiałów biologicznych [4], np. całych organów roślinnych – liści, czy tkanek roślinnych – kory drzew. Długo działający proces zakwaszania środowiska może być przyczyną nieodwracalnych zmian w całych ekosystemach, prowadząc, np. do zamierania dużych obszarów leśnych, tak jak to miało miejsce w Sudetach. Zanieczyszczenia gazowe mogą także docierać do podłoża na drodze bezpośredniego ich osiadania, np. na powierzchniach tkanek roślin (tzw. depozycja sucha) i następnie wnikania do wnętrza tkanek w trakcie przebiegu procesów fizjologicznych, jak np. wymiany gazowej. Oba procesy – depozycja mokra i sucha są źródłem samooczyszczania się atmosfery dokonującej się na różnych odległościach od źródeł emisji. Osiadanie suche zachodzi w bliskim sąsiedztwie emitorów, natomiast depozycja mokra może przebiegać nawet setki kilometrów od źródeł emisji, a główną przyczyną tak dużego zasięgu jest działalność wiatru, który transportuje kwaśne zanieczyszczenia zgodnie z przeważającym kierunkiem jego napływu. Najszybciej zanieczyszczenia są wywiewane przez wiatry o dużej sile,

charakterystyczne dla okresu zimowego. W Polsce w skali całego roku największy udział mają wiatry głównie z kierunku zachodniego.

Tempo rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń silnie zależy także, oprócz działania wiatru, od innych warunków meteorologicznych, jak intensywność opadów, inwersje termiczne, ciśnienie, temperatura oraz od warunków przestrzennych, jak ukształtowanie terenu, wzniesienia, doliny oraz od obecności różnych barier dla napływu zanieczyszczeń, np. ściany lasu lub wysokich zabudowań. Wzrost poziomu stężeń zanieczyszczeń w atmosferze na danym obszarze, zarówno w okresie zimowym, jak i letnim, jest wynikiem braku opadów, wysokiego ciśnienia atmosferycznego oraz spadku prędkości wiatrów [5]. Najwyższe emisje gazów „kwaśnych” (SO_2 , NO_x), a w szczególności dwutlenku siarki, występują w okresie zimowym z uwagi na sezon grzewczy i spalanie zasilanych paliw opałowych.

Kora drzew jako bioindykator zakwaszenia środowiska

Kora drzew jest tkanką powszechnie wykorzystywaną w różnych badaniach bioindykacyjnych środowiska [6-11] z uwagi na jej zdolność do długotrwałej kumulacji (biokumulacji) zanieczyszczeń zarówno pyłowych (głównie metali ciężkich zgromadzonych na powierzchni tych cząstek), jak i gazowych (zarówno pierwotnych, jak i wtórnych). Zakwaszenie materiału biologicznego, w tym również martwej tkanki okrywającej (kory), polega na utracie zdolności do neutralizacji przez korę dopływających substancji o charakterze kwaśnym, co przejawia się wzrostem stężenia jonów wodorowych w badanej tkance [2]. Największe ilości zanieczyszczeń gromadzone są w najbardziej zewnętrznej części kory, do głębokości 3 mm [13].

Zdolność do długotrwałej kumulacji zanieczyszczeń związana jest bezpośrednio z jej specyficzną budową anatomiczną. Ta martwa tkanka okrywająca, tzw. martwica korkowa (rytidom), powstaje w wyniku działalności wielokrotnie dzielących się komórek miększu łyka. Miazga korkotwórcza (felogen), produkuje na drodze podziałów wzdłużnych nowe warstwy komórek na zewnątrz i do wnętrza. Całość tworzy perydermę. W trakcie przyrostu na grubość drzewa następuje wielokrotny proces tworzenia się nowych peryderm (od środka) i obumieranie peryderm na zewnątrz. Całość funkcjonuje jako martwica korkowa (rytidom), która stanowi skuteczną okrywą mechaniczną, ochronę chemiczną (nagromadzenie substancji chroniących przed patogenami i szkodnikami), ochronę termiczną (korek wypełniony powietrzem) [14]. W tej martwej tkance nie przebiegają żadne procesy fizjologiczne, jak np. wydalanie, dlatego też wszystkie dostające się do jej wnętrza substancje szkodliwe są systematycznie kumulowane, bez możliwości wydalania ich nadmiaru. Kora jest tkanką bezpośredniego kontaktu z atmosferą i wszystkie zawarte w niej

zanieczyszczenia dostają się do niej w sposób bezpośredni (np. osiadając na jej powierzchni), podobnie jak w przypadku porostów epifitycznych, dlatego też wyniki badań kory dają pełny obraz stanu zanieczyszczenia powietrza w danym miejscu. Ilość docierających wraz z powietrzem atmosferycznym zanieczyszczeń jest wyższa w przypadku drzew rosnących w zbiorowiskach o stosunkowo dużym prześwicie (ułatwiona cyrkulacja powietrza), niż w przypadku drzewostanów zwartych. Dlatego też podstawowym kryterium wyboru miejsca do zbioru prób jest obecność drzew rosnących w odległości kilku metrów od siebie.

Odpowiednia grubość tkanki okrywającej (różnej u różnych gatunków drzew) warunkuje jedną z najwyższych wśród bioindykatorów odporność kory na wysokie i długo działające w środowisku stężenia różnych związków chemicznych. Jednakże, tak jak w przypadku każdego bioindykatora, zdolność do kumulacji jest ograniczona do pewnego stopnia i uzależniona także od stanu fizjologicznego rośliny. Istnieje zatem możliwość wykorzystania kory drzew do oceny stopnia zanieczyszczenia miejsc silnie zdegradowanych, np. obszarów wokół uciążliwych zakładów przemysłowych (hut), gdzie zastosowanie innych biowskaźników jest niemożliwe, np. porostów, z uwagi na dużą ich wrażliwość i szybkie tempo zamierania plech pod wpływem zanieczyszczeń.

Długowieczność tej tkanki okrywającej oraz jej stała obecność w ciągu całego życia drzewa umożliwia pobór prób do badań w różnych porach roku i prowadzenie monitoringu ciągłego. U większości pospolicie występujących w naszej szerokości geograficznej gatunków drzew (np. brzozy, dębu, sosny) w wieku powyżej 50 lat, martwica korkowa w dolnej części pnia charakteryzuje się podłużnymi pęknięciami, które są efektem przyrostu na grubość [14]. Pęknięcia w korze zwiększają powierzchnię akumulacyjną zanieczyszczeń, które osiadając na takiej nierównej powierzchni są gromadzone w znacznie większej ilości niż na korze gładkiej. Szorstkość kory jest więc jednym z kryterium wyboru gatunku drzewa do badań kwasowości kory, bowiem taka jej struktura posiada najlepsze właściwości bioindykacyjne [4].

Kora drzew liściastych, która z natury jest mniej kwaśna (pH ok. 4,2), wykazuje większą wrażliwość na chemiczne zmiany w środowisku, niż kora drzew iglastych [4] o niższej fizjologicznie kwasowości (pH) równej 3,3. Gatunki liściaste, sugerowane do wykorzystania w badaniach bioindykacyjnych, to brzoza i dąb. Jednym z podstawowych kryteriów jest wybór gatunków występujących pospolicie na danym terenie i łatwych do rozpoznania pod względem gatunkowym. Zbiór kory z drzew takich jak dąb, brzoza, sosna, jesion nie sprawia problemów z uwagi na pospolitość ich występowania na całym obszarze kraju i łatwość rozpoznania w terenie. Ważnym czynnikiem w metodyce zbioru kory drzew jest poziom wilgotności danego stanowiska, wskazywany przez niektórych badaczy [15] jako istotny czynnik determinujący

poziom kwasowości kory, dlatego też konieczna jest analiza siedliskowa miejsc poboru materiału. W jednakowym wyborze stanowisk pomocne są mapy leśne z określonymi typami siedlisk leśnych (np. bór mieszany świeży), a także z określoną strukturą wiekową drzew w każdym pododdziale. Ponadto istotnym czynnikiem jest także przestrzenne rozmieszczenie drzew w wybranym stanowisku leśnym oraz zbiór materiału z okazów charakteryzujących się dobrą kondycją zdrowotną, bez zewnętrznych objawów uszkodzeń.

Metodyka oceny stopnia kwasowości (pH) kory drzew

Metodyka określania kwasowości (pH) kory drzew należy do najprostszych metod bioindykacyjnych stosowanych na szeroką skalę i dających w krótkim czasie wyniki. Prezentowana poniżej metodyka została ustalona po raz pierwszy przez Skye [16] (1968) i Staxäng [17] (1969) w badaniach kwasowości kory z terenów leśnych Norwegii, natomiast w Polsce została ona zmodyfikowana i zastosowana w badaniach przez Grodzińską [6, 4]. Zbiór materiału może odbywać się w ciągu całego roku, jednakże największe zróżnicowanie kwasowości notowane jest na początku okresu wiosennego, po sezonie zimowym (okresie grzewczym). Stanowiska zbioru kory w terenie należy wybrać według wskazówek opisanych powyżej. Przed przystąpieniem do zbioru kory należy oczyścić powierzchnię z glonów lub porostów za pomocą ostrej szczotki. Następnie cienkie paski kory (o grubości ok. 3 mm) należy zdjąć ostrym nożem od strony przeważającego napływu wiatru (np. od strony zachodniej), z wysokości ok. 1,3 m, tak aby wykluczyć możliwość kontaktu z podłożem. Materiał do badań powinien być zebrany w takiej ilości, aby po wysuszeniu w suszarce w temperaturze ok. 105°C przez 24 h, a następnie rozdrobnieniu na proszek, uzyskać 2–gramowe naważki. Sproszkowane naważki kory należy zalać 8 ml wody dejonizowanej, a po upływie 24 i 48 godzin wykonać pomiary ich kwasowości pH-metrem w trzykrotnym powtórzeniu. Dla każdej próby określa się następnie średnią kwasowość.

Podsumowanie

Badania bioindykacyjne z użyciem tej metodyki mogą być prowadzone zarówno na małą skalę, np. w odniesieniu do punktowych źródeł emisji – oddziaływania zakładu przemysłowego, np. huty na środowisko; liniowych źródeł emisji – np. wpływu szlaku komunikacyjnego na ekosystemy leśne, czy oddziaływania na szeroką skalę np. dużej aglomeracji miejskiej na ekosystemy leśne w danym województwie. Uzyskane wyniki mogą być następnie przedstawione graficznie w postaci map depozycji kwaśnych zanieczyszczeń na

danym terenie, np. parku, leśnictwie czy województwie, przy wykorzystaniu programów graficznych, jak Surfer czy Corel.

Badania kwasowości kory drzew były prowadzone w Polsce przez wielu badaczy, między innymi za pomocą tej metody możliwa była ocena skutków oddziaływania na środowisko pojedynczych emitorów, np: Huty Aluminium i Elektrowni „Skawina” [8], czy ocena stopnia skażenia całych okręgów przemysłowych, np. Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego [18]. Wiele badaczy koncentrowało także swoją uwagę na ocenie zakwaszenia obszarów objętych prawną ochroną, np. parków narodowych: Ojcowskiego Parku Narodowego [9]; puszczy: Niepołomickiej [4], Białowieskiej [15]), czy parków krajobrazowych: „Orle Gniazda” koło Częstochowy [19].

Ocena stopnia zakwaszenia środowiska należy do najprostszych i najtańszych metod biologicznych, które można powszechnie wykorzystywać na każdym terenie gdzie występują drzewa. Nieskomplikowana metodyka pozwala na uzyskanie w krótkim czasie wiarygodnych wyników – głównie stopnia zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki, co potwierdzają wyniki statystycznych opracowań ww. autorów badań oraz mogą być powtarzane w następnych sezonach, dając możliwość prowadzenia monitoringu ciągłego.

Analiza stopnia zakwaszenia kory drzew może stanowić metodę wstępnej i szybkiej analizy skutków oddziaływania zanieczyszczonej atmosfery na organizmy żywe w ekosystemach, wskazując te obszary, gdzie konieczne są szczegółowe (drogie i długo trwające) analizy chemiczne. Metody biologiczne, pomimo znacznie mniejszej dokładności rejestracji skutków zanieczyszczenia atmosfery niż metody fizyko-chemiczne, mają nad nimi tę przewagę, że są kompleksową odpowiedzią biologiczną żywych organizmów (indywidualną w przypadku każdego gatunku) na zmiany zachodzące w środowisku.

Literatura

1. L. Kraskowski, Dym rozwiewa się powoli, Rzeczpospolita, 2000, 212, 5.
2. Inspekcja Ochrony Środowiska, Raport o stanie środowiska w Polsce w latach 1996–2001, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2003.
3. M. Mannion, Zmiany środowiska Ziemi, PWN, Warszawa 2001.
4. K. Grodzińska, Zakwaszenie korowiny drzew Puszczy Niepołomickiej, Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej, 1981, 9: 303–312.
5. WIOŚ, Stan środowiska w województwie śląskim w 2002 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice 2003.
6. K. Grodzińska, Acidification of Tree Bark as a Measure of Air Pollution in Southern Poland. Bulletin de L' Academie Polonaise des Sciences. Serie des sciences biologiques, 1971 Cl. II, 19, 3: 189–195.

7. M. Świeboda, A. Kalembe, The bark of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) as a biological indicator of atmospheric air pollution, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1979, 48, 4: 539–549.
8. M. Świeboda, A. Kalembe, Zastosowanie wybranych testów biologicznych do oceny poziomu skażenia powietrza atmosferycznego związkami fluoru i dwutlenkiem siarki, *Bioindykacja Skażeń Przemysłowych i Rolniczych*, Wrocław 1983.
9. A. Medwecka – Kornaś, H. Kozłowska, S. Gawroński, E. Matysiak, Właściwości wyciągów z kory sosny (*Pinus silvestris* L.) jako wskaźniki zanieczyszczenia atmosfery w Ojcowskim Parku Narodowym, *Fragmenta Floristica et Geobotanica*, 1989, 34, 3-4: 425–444.
10. R. Ciepał, Przenikanie S, Pb, Cd, Zn, Cu i Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego (na przykładzie wschodniej części województwa katowickiego), *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice 1992, 74–76.
11. C.M. van Herk, Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time, *Lichenologist*, 2001, 33, 5: 419–441.
12. K. Grodzińska. 1976. Acidity of bark as a bioindicator of forest pollution in southern Poland. First International Symposium on Acid precipitation and forest ecosystem USDA. Forest Service General Technical Report NE – 23, p: 905–911.
13. Z. Hejnowicz, *Anatomia i histogeneza roślin naczyniowych*, PWN, Warszawa 2002.
14. E. Malzahn, U. Niedzielska, Zakwaszenie kory sosny zwyczajnej w Puszczy Białowieskiej jako wskaźnik zanieczyszczenia środowiska leśnego, *Parki Narodowe i Rezerваты Przyrody*, 1986, 7, 1: 77–84.
15. E. Skye, Lichens and air pollution, *Acta Phytogeographica Suecica*, 1968, 52: 1-124.
16. B. Staxäng, Acidification of bark of some deciduous trees, *Oikos*, 1969, 20: 224-230.
17. B. Skalska, M. Gieryska, Zakwaszenie kory sosny zwyczajnej *Pinus silvestris* L. na terenie Parku Krajobrazowego „Orle Gniazda” i jego otuliny, *Ziemia Częstochowska*, 1992, 18: 159–170.

Agnieszka Bąbelewska

Tree bark acidification as a biologically indicative method of environmental pollution evaluation

Abstract: Tree bark is one of the best biological indicators of the degree of atmospheric contamination with acidic pollutants, mainly sulfuric compounds, at a given area. The methodology of evaluation of tree bark acidification degree is one of the simplest biologically indicative methods, which provides reliable results within a short period of time. The best biologically indicative properties are offered by rough, fractured bark with high accumulation area.

Keywords: acidification, sulfur compounds, tree bark