

Anna BŁOCKA<sup>1</sup>, Tomasz STASZEWSKI<sup>2</sup>

**ASYMETRIA FLUKTUACYJNA IGLIWIA  
– NIESPECYFICZNY WSKAŹNIK STRESU  
SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

FLUCTUATING ASYMMETRY OF NEEDLES  
AS A NON-SPECIFIC STRESS INDICATOR  
OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

**Abstract.** *The paper presents a review of studies on fluctuating asymmetry (FA) as a non-specific stress indicator, which is used, among others, to evaluate the response of pine trees to environmental pollution. This indicator describes developmental instability in bilateral structures. FA is calculated as the ratio between the difference in length of two needles of the same pair and their average length.*

*FA increased along with the decrease in distance from polluters. FA proved to be a useful tool to assess the effects of reclamation activities in polluted pine stands, pathogens attack, and the impact of habitat on the vitality of pine trees.*

*FA may be considered as an amending indicator for evaluation of health status of pine trees determined by traditional methods.*

**Key words:** *Fluctuating asymmetry, developmental stability, environmental stress, pine needle length.*

---

<sup>1</sup> Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie, Katowice, Plac Gwarków 1,

<sup>2</sup> Instytut Ekologii i Terenów Uprzemysłowionych, Katowice, ul. Kossutha 6;  
e-mail: stasz@ietu.katowice.pl

## 1. WSTĘP

Asymetria fluktuacyjna – FA (*Fluctuating asymmetry*) definiowana jest jako małe odstępstwo od dwustronnej symetrii (Polak i Triners 1994); odzwierciedla ona stabilność rozwoju organizmu i zwiększa się wraz ze stresem środowiskowym (Parson 1999). Zjawisko to badano u ptaków (Hansen i in. 1999), ssaków (Wauters i in. 1996), ryb (Allenbach i in. 1999), owadów (Blanckenhorn i in. 1998) i ludzi (Rikowski, Grammer 1999). Wykazano wzrost wartości FA u wielu gatunków drzew – klonu, brzozy, wierzby, topoli, grochodrzewu, jarząba, na skutek skażenia środowiska (Freeman i in. 1993, Kozlov i in. 1996, Kryazheva i in. 1996, Møller 1998), działania szkodników (Zvereva i in. 1997) i konkurencji w środowisku (Rettig i in. 1997). Pomiar FA wykorzystywano również do wykazania heterozygotyczności (Saule 1979), oceny efektów hybrydyzacji (Feeman i in. 1995) i badań doboru płciowego (Møller, Pomianowski 1993). FA jest niespecyficznym indykatorem stresu, który używany jest w ocenie reakcji sosny na zanieczyszczenia środowiskowe. Wartość FA oblicza się jako stosunek różnicy długości dwóch igieł w parze do ich średniej długości (Kozlov, Niemelä 1999). Procedura pomiaru wielkości FA polega na zamontowaniu pary igieł na sztywnym kartonie, w taki sposób, aby dwie igły z pary były dociskane do siebie. Różnice w długości dwóch igieł w parze mierzy się pod mikroskopem stereoskopowym z dokładnością do 0,025 mm, natomiast długość igieł w parze mierzy się linijką z dokładnością do 1 mm.

Obserwuje się znaczący wzrost zainteresowania tą problematyką. Według Kozlov'a (2003) w latach 1991–1992 ukazało się 19 publikacji, a w okresie 1998–1999 już 80 prac dotyczących asymetrii fluktuacyjnej.

## 2. FA JAKO WSKAŹNIK STRESU ABIOTYCZNEGO

W badaniach przeprowadzonych w północnej-zachodniej Rosji, w okolicach Monczegorska na Półwyspie Kola w strefie oddziaływania emisji przemysłowych (siarka i metale ciężkie) emitowanych z huty Seweronikiel (największego tego typu emitora w strefie borealnej) oraz w południowo-wschodniej Finlandii z istniejącymi tam hutami niklu i miedzi oraz w rejonie otaczającym hutę miedzi w Harjavalta w południowo – zachodniej Finlandii wykazano (Kozlov i in. 2002) przydatność FA jako obiektywnego wskaźnika stresu środowiskowego u sosny zwyczajnej wywołanego przez duże zanieczyszczenia przemysłowe. We wszystkich przeprowadzonych badaniach stwierdzono wzrost wartości FA wraz ze zmniejszaniem się odległości od hut, np. 15 km od huty niklowo-cynkowej w Monczegorsku, wartość wskaźnika FA była dwa razy większa niż w lokalizacjach traktowanych jako kontrolne (średnia różnica długości igieł w parze wynosiła 0,6 mm).

Wskaźnik FA igieł sosny może być stosowany do kwantyfikowania różnic nie tylko na obszarach o dużych uszkodzeniach drzew, ale także w lasach o małych lub niewidocznych symptomach oddziaływania zanieczyszczeń. W odległości 4 km od huty niklowo – cynkowej w Harjavalta, wartość FA wzrosła o 20 – 30% w porównaniu z kontrolą, chociaż większość skażonych powierzchni w tym eksperymencie było poddanych oddziaływaniu zanieczyszczeń 10 – 50 razy mniejszych niż powierzchnie badawcze w pobliżu Monzegorska (Kozlov i in. 1993, 1995, 2002a).

Stwierdzono również, że wzrost wskaźnika FA wraz ze wzrostem zanieczyszczenia środowiska korelował ze zmianami ultrastruktury igieł sosny (Lumme i in. 1997), uważanymi za symptom „niewidocznych” uszkodzeń drzewostanów. Nie stwierdzono natomiast takiej zależności od wielkości mokrego depozytu azotu (Kozlov i in. 2002) co wiązano z pozytywnym wpływem depozycji azotu na lasy rosnące na glebach ubogich (Spiecker i in. 1996). Dla odmiany SO<sub>2</sub>, kwaśny deszcz i metale ciężkie były związane ze wzrostem FA na Półwyspie Kola i w południowo-zachodniej Finlandii. Jednakże nie zdołano wykazać głównego czynnika odpowiedzialnego za wzrost wielkości FA (Kozlov, Niemelä 1999, Kozlov i in. 2002).

Wartość wskaźnika FA wykorzystano również do oceny skuteczności zabiegów rekultywacyjnych w ekosystemach lasów sosnowych, gdzie metale ciężkie emitowane z huty miedzi w Harjavalta były przez pięćdziesiąt lat deponowane w glebach leśnych (Kozlov i in. 2002). W siedmioletnim eksperymencie na różnych poletkach wykonano wapnowanie, wprowadzono mieszaninę nawozów o przedłużonym działaniu oraz środki użyźniające w celu złagodzenia stresu wywołanego przez metale. Wapnowanie i stosowanie specyficznych środków użyźniających spowodowało polepszenie się warunków środowiskowych (zdecydowane zmniejszenie się stężenia metali ciężkich w glebie), co objawiało się zmniejszeniem wartości wskaźnika FA igieł sosny i wzrostem ich długości o 20%. Natomiast zastosowanie nawozów o przedłużonym działaniu doprowadziło do wzrostu asymetrii igieł o 30%, przy wzroście długość igieł o 5%, co tłumaczy się zwiększeniem stresu spowodowanego zwiększeniem toksyczności gleby skażonej niklem przez dodanie dużych ilości fosforanów (Crooke, Inkson 1955).

W badaniach czterech roczników igieł sosny zwyczajnej zbieranych wokół huty Seweronikiel nie zaobserwowano korelacji rocznych zmian wartości FA z fluktuacjami w rocznych emisjach SO<sub>2</sub>, co sugeruje, że FA może być również zależny od zmiennych klimatycznych (Kozlov, Niemelä 1999).

Badania przeprowadzone na Półwyspie Kola w okresie 1992–1999 miały na celu wykorzystanie wskaźnika FA igieł do oceny reakcji sosny zwyczajnej na roczne zmiany klimatyczne. W badaniach tych nie stwierdzono wpływu temperatury na wartość FA, natomiast wykazano znaczący wzrost wielkości FA wraz ze zmniejszaniem się wysokości opadu we wrześniu roku poprzedniego, podczas gdy dostępność wody w bieżącym roku nie miała wpływu na wartość FA igieł (Kozlov, Niemelä 2003). Wysłunięto wniosek, że witalność populacji sosny zwyczajnej przy północnej granicy lasów regulowana jest raczej wysokością opadów późnym latem niż temperaturami w okresie wegetacyjnym.

### 3. FA JAKO WSKAŹNIK STRESU BIOTYCZNEGO

Stwierdzono ściśle powiązanie pomiędzy syntezą żywicy u sosny zwyczajnej związaną z oddziaływaniem owadów ksylofagicznych a wielkością FA, co wskazuje na związek wskaźnika FA igieł z odpornością drzew na owady (Kozlov i in. 2002a). Wpływ żywicy ze zranionych pędów zabezpiecza drzewa przed atakiem owadów i patogenów. Podobne zależności stwierdzono wcześniej pomiędzy wartością FA a wpływem żywicy spowodowanym silną defoliacją (Kyto i in. 1998, 1999).

Porównanie młodych sosen rosnących na dwóch typach siedlisk z *Rhodococcum* (nazwa zastępcza – *Vaccinium vitis-idaea*) i z *Vaccinium uliginosum* w terenie uważanym za czysty wykazały, że różnice średniej wartości FA między siedliskami były statystycznie nieistotne. Sosna występująca w siedlisku *Vaccinium vitis-idaea*, uznanym za bardziej urodzajne, charakteryzowała się lepszą kondycją wzrostową. FA igieł sosny było ściśle związane z wielkością przyrostów na grubość, charakteryzującą ogólną żywotność drzew. Im większy był przyrost na grubość drzew, tym mniejsza była wartość wskaźnika FA, co zgodne jest z teoretycznym rozumieniem asymetrii fluktuacyjnej, jako miernika niestabilności rozwojowej (Ôunapuu 2002).

Chociaż wzrost gęstości populacji może powodować zwiększenie niestabilności rozwojowej i w konsekwencji wzrost FA zarówno u zwierząt (Clarke, McKenzie 1992), jak i roślin (Retting i in. 1997), nie stwierdzono tego zjawiska u sosny zwyczajnej. Mimo dużej zmienności w gęstości drzewostanu na powierzchniach badawczych (od 733 do 2000 drzew/ha) wpływu tej cechy na wartość FA był nieistotny (Kozlov i in. 2002). Wysłunięto wniosek, że różnice w FA igieł pomiędzy fińskim i rosyjskim obszarem badań spowodowane były raczej wpływem zanieczyszczeń środowiska, aniżeli różnicami w sposobach zagospodarowania lasów i wynikającą stąd większą gęstością drzewostanu i większym udziałem drzew martwych na terenie północno-zachodniej Rosji (Lumme i in. 1997).

W rejonie Manczegorska wykazano, że asymetria fluktuacyjna nie zależy od wieku drzew (rozpatrywanych w klasach wiekowych 8–12, 17–25, 35–45, 80 lat), ani od położenia gałęzi w koronie. Nie stwierdzono również korelacji między asymetrią fluktuacyjną igieł sosny a lokalizacją drzew w drzewostanie. Natomiast wartość wskaźnika FA igieł drzew znajdujących się najbliżej źródła skażenia była dwa razy większa niż drzew w terenie kontrolnym (Kozlov i Niemelä 1999).

### 4. UWAGI KOŃCOWE

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) jest jednym z głównych gatunków lasotwórczych na polskim niżu. Charakteryzująca ją szeroka skala ekologiczna,

pozwala na wzrost w skrajnie różnych warunkach siedliskowych, głównie pod względem wilgotności i zasobności podłoża.

Sosna zwyczajna jest również wrażliwa na działanie zanieczyszczeń powietrza. Cechuje się ona unikalną zdolnością do pobierania ciekłej wody u nasady igieł otoczonej łuskami (Leyton, Juniper 1963). W związku z tym istnieje dodatkowa droga wpływu zanieczyszczeń za pomocą rosy, która może być bardziej skażona niż opad deszczowy.

Jako parametry charakteryzujące stan zdrowotny drzew wykorzystuje się głównie takie wskaźniki, jak poziom defoliacji i odbarwienia. Co do wyboru tych wskaźników istnieją duże rozbieżności wśród specjalistów działających np. w ramach IUFRO. Wysuwane są zarzuty, że stosowane metody szacowania stanu zdrowotnego drzew obarczone są dużym subiektywizmem (Innes, Skelly 2002). Oceny wizualne prowadzone są co prawda przez przeszkolone osoby, ale często podawane przez nich oceny nie pokrywają się z innymi parametrami (np. fizjologicznymi), opisującymi status drzew w danych lokalizacjach. Podkreśla się więc potrzebę poszukiwania innych wskaźników o charakterze obiektywnym, które pozwalałyby na ocenę stanu zdrowotnego, czy też kondycji drzew (Cape 1990, Ferretti 1998, De Vries i in 2000).

Jednym z kryteriów uznających FA za dobry wskaźnik ekologiczny jest jego wysoka wrażliwość na działanie czynników stresowych. Przy obecnym stanie wiedzy wydaje się, że wskaźnik FA – jako niespecyficzny indykator stresu, może uzupełniać tradycyjnie stosowane wskaźniki oceny stanu zdrowotnego sosny.

Praca została złożona 23.08.2006 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 8.06.2007 r.

## LITERATURA

- Allenbach D. M., Sullivan K. B., Lydy M. J. 1999. Higher fluctuating asymmetry as a measure of susceptibility to pesticides in fishes. *Environ Toxicol Chem.*, 18, 899-905.
- Blanckenhorn, W. U., Reusch T., Muhlhauser C. 1998. Fluctuating asymmetry, body size, and sexual selection in the dung fly *Sepsis cynipsea* – testing the good genes assumptions and predictions. *J. Evol. Biol.*, 11: 735-753.
- Cape J. N. 1990. Objective measures of tree health in the field. In: Proc. 19th IUFRO World Congress, Montreal, 1990, Div. 2, IUFRO, Vienna, 38-47.
- Clarke G. M., McKenzie J. A. 1992. Fluctuating asymmetry as a quality control indicator for insect mass rearing projects. *J. Econ. Entomol.*, 85, 2045-2050.
- Crooke W. M., Inkson R. H. E. 1955. The relationship between nickel toxicity and major nutrient supply. *Plant and Soil*, 6, 1-15.
- De Vries W., Klap J. M., Erisman J. W. 2000. Effects of environmental stress on forest crown condition in Europe. Part I: Hypotheses and approach to the study. *Water, Air Soil Poll.*, 119(1/4): 317-333.
- Ferretti M. 1998. Potential and limitation of visual indices of tree condition. *Chemosphere*, 36: 1031-1036.

- Freeman D. C., Graham J. H., Emlen J. M. 1993. Developmental stability in plants: symmetries, stress and epigenesis. *Genetica*, 89, 97-119.
- Feeman D. C., Graham J. H., Byrd D. W., McArthur E. D., Turner W. A. 1995. Narrow hybrid zone between two subspecies of bid sagebrush *Artemisia tridentata* (Asteraceae). III. Developmental instability. *Am. J. Bot.*, 82: 1144-1152.
- Hansen L. T. T., Amundsen T, Forsgren E. 1999. Symmetry – attractive not only to females. *Proc. Roy. Soc., B*, 266: 1235-1240.
- Innes J. L., Skelly J. M. 2002. Forest decline and air pollution: an assessment of ‘forest health’ in the forests of Europe, the Northeastern United States, and Southeastern Canada (J. N. B Bell, and M. Treshow ed.). [W:] Air pollution and plant life. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley, London, 273-294.
- Kozlov M. V., Haukioja E., Yarmishko V. T. (eds.) 1993. Aerial Pollution in Kola Peninsula. *Proc. Int. Workshop (14–16 April 1992, St.-Petersburg)*, Kola Scientific Centre, Apatity, Russia, 1- 417.
- Kozlov M. V., Haukioja E., Bakhtiarov A. V., Stroganov D. V. 1995. Heavy metals in birch leaves around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, Northwestern Russia. *Environ. Poll.*, 90: 291-299.
- Kozlov M. V., Wilsey B. J., Koricheva J., Haukioja E. 1996. Fluctuating asymmetry of birch leaves increases under pollution impact. *J. Appl. Ecol.*, 33, 1489-1495.
- Kozlov M. V., Niemelä P. 1999. Difference in needle length – a new objective indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Water, Air Soil Poll.*, 116: 365–370.
- Kozlov M. V., Niemelä P., Junttila J. 2002. Needle fluctuating asymmetry is a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*). *Ecol. Indic.*, 1: 271-277.
- Kozlov M. V., Niemelä P., Mälikönen E. 2002a. Effects of compensatory fertilization on pollution-induced stress in Scots pine. *Water, Air, Soil Poll.*, 134: 307-318.
- Kozlov M. V. 2003. Are fast growing birch leaves more asymmetrical? *Oikos*, 101(3): 654-658.
- Kozlov M. V., Niemelä P. 2003. Drought is more stressful for northern populations of Scots pine than low summer temperatures. *Silva Fen.*, 37(2): 175–180.
- Kryazheva N. G., Chistyakova E. K., Zakharov V. M. 1996. Analysis of developmental stability of silver birch under chemical contamination. *Ekologia (Ekaterinburg)*, 0(6), 441-444.
- Kurczyńska E., Dmuchowski W., Włoch W., Bełtowski M., Huflejt B. 1996. Kambium i wierzchołek krótkopędu sosny zwyczajnej w środowiskach o różnym stopniu zanieczyszczenia. [W:] Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia powietrza. III Krajowe Sympozjum. Kórnik. 1994.
- Kyto M., Niemelä P., Annala E. 1998. Effects of vitality fertilization on the resin flow and vigor of Scots pine in Finland. *For. Ecol. Manag.*, 102:121-130.
- Kyto M., Niemelä P., Annala E., Varama M. 1999. Effects of forest fertilization on the radial growth and resin exudation of insect-defoliated Scots pines. *J. Appl. Ecol.* 36: 763.
- Leyton I., Juniper B. E. 1963. Cuticle structure and water relation of pine needles. *Nature*, 198: 770-771.
- Lumme I., Arkhipov V., Fedorets N., Mälikönen E. 1997. Condition of pine forests in the areas of Karelian Isthmus-Southeastern Finland and Kostomuksha-Kainuu. [W:] Concluding report on the Russian-Finnish Research Project.
- Møller A. P., Pomianowski A. 1993. Fluctuating asymmetry and sexual selection. *Genetica*, 89: 267-279.
- Møller A. P. 1998. Developmental instability of plants and radiation from Chernobyl, *Oikos*, 81: 444-448.
- Møller A. P., Swaddle J. P. 1997. *Asymmetry, Developmental, Stability and Evolution*. Oxford University Press, Oxford
- Ôunapuu E. 2002. Application of the method of fluctuating asymmetry on evaluation of the vitality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Report. [www.botany.ut.ee/Eele\\_Ounapuu\\_kokkuvote](http://www.botany.ut.ee/Eele_Ounapuu_kokkuvote).
- Parsons P. A. 1990. The metabolic cost of multiple environmental stresses: implications for climatic change and conservation. *Trends Ecol. Evol.*, 5: 315-317.
- Polak M., Triners R. 1994. The science of symmetry in biology. *Trends Ecol. Evol.*, 9: 122-124.
- Rettig, J. E., Fuller R. C., Corbett A. L., Getty T. 1997. Fluctuating asymmetry indicates levels of competition in an even-aged poplar clone. *Oikos*, 80: 123-127.
- Rikowski A., Grammer K. 1999. Human body odour, symmetry and attractiveness. *Proc. Roy. Soc., B*, 266, 1422: 869-874.

- Saule M. E. 1979. Heterozygosity and developmental stability: another look. *Evolution*, 33: 396-401.
- Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J. 1996. Growth trends in European forests. Research Report 5, European Forests Institute, Springer, Berlin.
- Staszewski T. 1988. Pobieranie  $^{35}\text{SO}_2$  przez igły sosny zwyczajnej w zależności od wieku i rejonu pochodzenia. Praca doktorska. Uniwersytet Śląski. Katowice.
- Wauters, L. A., Dhondt A. A., Knothe H., Parkin D. T. 1996. Fluctuating asymmetry and body size as indicators of stress in red squirrel populations in woodland fragments. *J. Appl. Ecol.*, 53: 735-740.
- Zvereva E. L., Kozlov M. V., Niemelä P., Haukioja E. 1997. Delayed induced resistance and increase in leaf fluctuating asymmetry as responses of *Salix borealis* to insect herbivory. *Oecologia*, 109: 368-373.