

KWANTYFIKACJA NARASTANIA USZKODZEŃ STRUKTURY DREWNA METODĄ EMISJI AKUSTYCZNEJ*

Paweł Suchorski

Katedra Nauki o Drewnie Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

Przeprowadzono badania nad zmianami sumy i tempa zliczeń emisji akustycznej (EA) generowanej przez drewno sosny poddane uprzednio wygrzewaniu w temperaturze 150°C w czasie 12, 24, 48 h oraz drewno nie wygrzewane. Pomiar EA następował w czasie pełnej próby 3-punktowego zginania.

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, sosna, zginanie, pękanie, deprecjacja termiczna

WSTĘP

Zjawisko emisji akustycznej (EA) jest wykorzystywane jako nieniszcząca metoda badawcza począwszy od lat pięćdziesiątych. EA definiuje się jako zjawisko polegające na powstawaniu fal sprężystych wewnątrz i na powierzchni ośrodka, w wyniku lokalnych, dynamicznych zmian w strukturze materiału. W obszarze inżynierii materiałowej prace nad wykorzystaniem EA rozpoczęto od zagadnień badania metali poddanych działaniu naprężeń (Kaiser 1953), mono- i polikryształów oraz ruchów dyslokacji (Gilman 1966) a także procesów mechaniki pękania (Evans 1975). W późniejszym okresie rozszerzono zakres stosowania metody EA na materiały kompozytowe (Lord 1981), geologiczne (Jaroszewska 1994) i ceramiczne (Hsu 1963, Hoła i Ranachowski 1992). Pierwsze zaś próby zastosowania EA w drzewnictwie datuje się na lata sześćdziesiąte (Raczkowski i in. 1994), aczkolwiek przeważającą część prac dotyczącą tego zagadnienia opublikowano w latach osiemdziesiątych i dziewięćdzie-

* Praca przedstawiona na 11 Konferencji Naukowej Wydziału Technologii Drewna SGGW i Komitetu Technologii Drewna PAN w Warszawie: "Drewno - materiał ekologiczny", 18-19 listopada 1997

siątych. Ze względu na dużą niejednorodność budowy i wybitną anizotropię właściwości drewna, badania natrafiały początkowo na pewne bariery metodyczne i technologiczne, które dziś wydają się być pokonane.

Obecnie metoda EA wkracza w coraz to nowe obszary badań drewna i materiałów drewnopochodnych wspomagając skutecznie lub nawet wypierając tradycyjne metody badań. Zakres zastosowań metody EA jest bardzo rozległy od procesów mechaniki pękania, poprzez badania naprężeń sorpcyjnych i czynników biogennych działających na drewno, po kontrolę procesów technologicznych obróbki drewna i ocenę stanu wytrzymałościowego konstrukcji drewnianych.

Szczególnie obiecujące wydaje się zastosowanie EA do obserwacji i oceny procesów mechaniki pękania, gdyż informacja o zachodzących zjawiskach uzyskiwana jest bezpośrednio ze źródła powstawania nierównowagi dynamicznej w materiale (inicjacja, rozwój i propagacja pęknięć). Każde zachwianie równowagi wewnątrz materiału rejestrowane jest na zewnątrz jako impuls, lub ciąg fal mechanicznych i bez użycia ogólniw pośrednich jest odczytywane jako zjawisko emisji akustycznej.

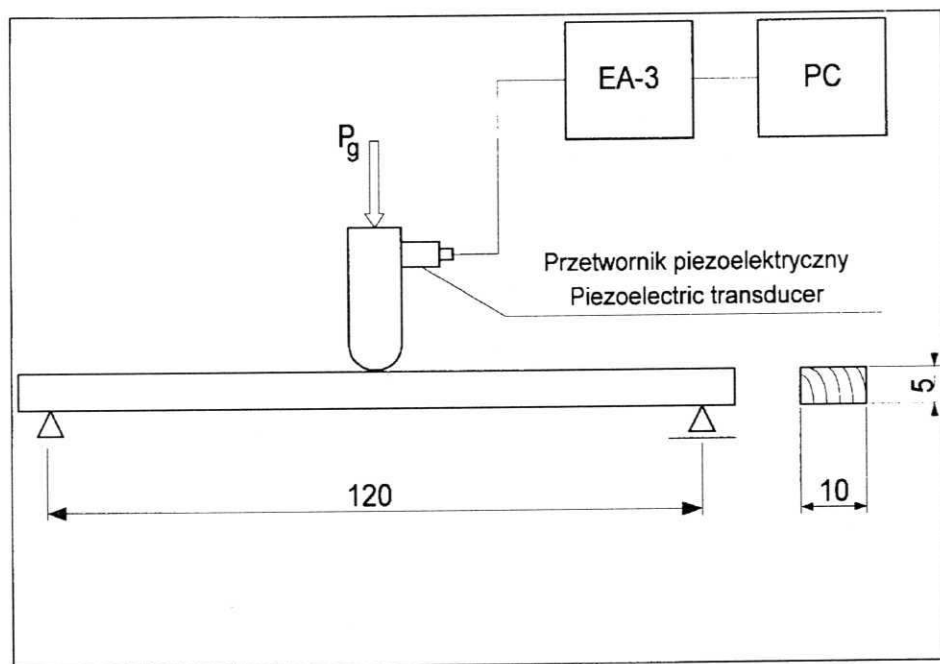
W obszarze zjawisk na styku "procesy mechaniki pękania - zjawisko EA", stosunkowo mało miejsca poświęcono dotychczas w literaturze przedmiotu wpływowi stopnia degradacji drewna w wyniku działania podwyższonej temperatury na obraz zjawiska EA. Interesującym zagadnieniem wydaje się być zwłaszcza próba odpowiedzi na pytanie, jak typ i wielkość istniejącego w strukturze materiału uszkodzenia, defektu struktury, przejawia się na zewnątrz jako mierzalny jakościowo i ilościowo proces EA. Celem więc pracy jest określenie zależności pomiędzy deskryptorami parametrów uszkodzonej struktury drewna (stopniem jej naruszenia) a parametrami efektów emisji akustycznej generowanych, w doraźnej próbie zginania.

METODYKA

Badania przeprowadzono na serii próbek o wymiarach 10(R) x 5(T) x 150(L) mm wykonanych z bielastej części drewna sosny (*Pinus sylvestris* L.). Przeciętna gęstość drewna w stanie zupełnie suchym wynosiła $393 \pm 43 \text{ kg/m}^3$. W celu wprowadzenia zróżnicowanych uszkodzeń tkanki drzewnej, materiał poddano wygrzewaniu w temperaturze 150°C . Próbkę podzielono na grupy o zróżnicowanym czasie wygrzewania 12, 24 i 48 h oraz wydzielono grupę próbek kontrolnych - nie wygrzewanych. Próbkę kontrolną wysuszone w temperaturze $100 \pm 3^\circ\text{C}$ do stanu zupełnie suchego. Procesy suszenia i wygrzewania próbek zostały przeprowadzone w suszarce. Następnie próbki poddano pełnej próbie 3-punktowego zginania wzdłuż włókien przy zastosowaniu zginarki laboratoryjnej. Zastosowano stały rozstaw podpór równy 120 mm. W czasie próby zginania dokonano jednocześnie pomiaru parametrów EA przy stałych nastawach toru pomiarowego: całkowite wzmocnienie toru pomiarowego 60 dB, poziom dyskryminacji szumów 0,125 V. Zastosowany piezoelektryczny przetwornik emisji akustycznej o częstotliwości rezonansowej 100 kHz mocowany był do metalowej napory

maszyny wytrzymałościowej. Analiza danych uzyskanych w czasie eksperymentu została dokonana za pomocą analizatora emisji akustycznej typu EA-3 (Techpan-Warszawa) wraz z oprogramowaniem powstałym we współpracy z IPPT PAN w Warszawie. Schemat toru pomiarowego przedstawiono na rys. 1.

WYNIKI BADAŃ



Rys. 1. Schemat toru pomiarowego podczas próby zginania beleczki sosnowej
Fig. 1. Diagram of measuring track for pine wood beam-sample bending test

W rezultacie przeprowadzonych prób uzyskano zależności siły zginającej od strzałki ugięcia (dane bezpośrednio z próby zginania) oraz wykresy sumy zliczeń EA w funkcji siły zginającej beleczkę. W przebiegach zależności sumy zliczeń EA od wartości siły zginającej zaobserwować można charakterystyczne etapy procesu niszczenia drewna ujawniające się podczas mechanicznego obciążania materiału siłami zginającymi.

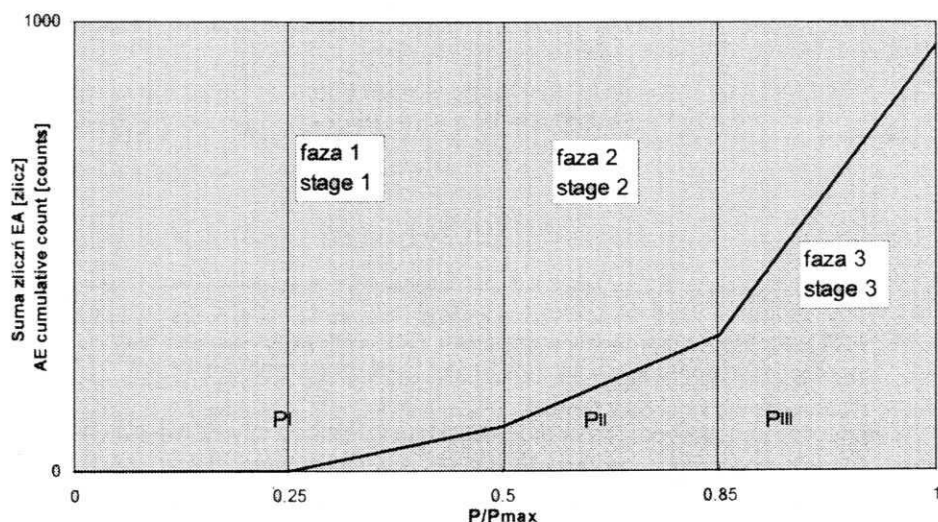
Porównując charakterystyczne fazy procesu zniszczenia drewna z podobnymi fazami obserwowanymi wcześniej dla materiałów geologicznych (Jaroszevska 1994) czy betonów (Hoła i Ranachowski 1992) można je scharakteryzować w sposób następujący:

Faza 1 - faza stałej intensywności EA na niskim poziomie sumy zliczeń, będąca rezultatem ujawnienia się defektów struktury już istniejących a związanych z historią materiału - jest to faza stabilnej propagacji defektów.

Faza 2 - faza stałej lub nieznacznie narastającej intensywności EA, mierzona na wyższym w stosunku do fazy 1, poziomie zliczeń EA - faza ta obrazuje rozwój istniejących defektów struktury oraz tworzenie się nowych uszkodzeń, związana jest z ich stabilną propagacją w materiale. W tej fazie wzrost liczby defektów i ich rozwój jest jak się wydaje związany z narastaniem zewnętrznego obciążenia; zahamowanie przyrostu siły zginającej nie powoduje dalszego rozwoju zjawiska kruchego pęknięcia drewna.

Faza 3 - faza niestabilnej (lawinowej) propagacji defektów strukturalnych drewna. Po przekroczeniu siły odpowiadającej pewnej progowej wartości obciążenia, rozwój defektów następuje w sposób samoistny aż do zniszczenia materiału.

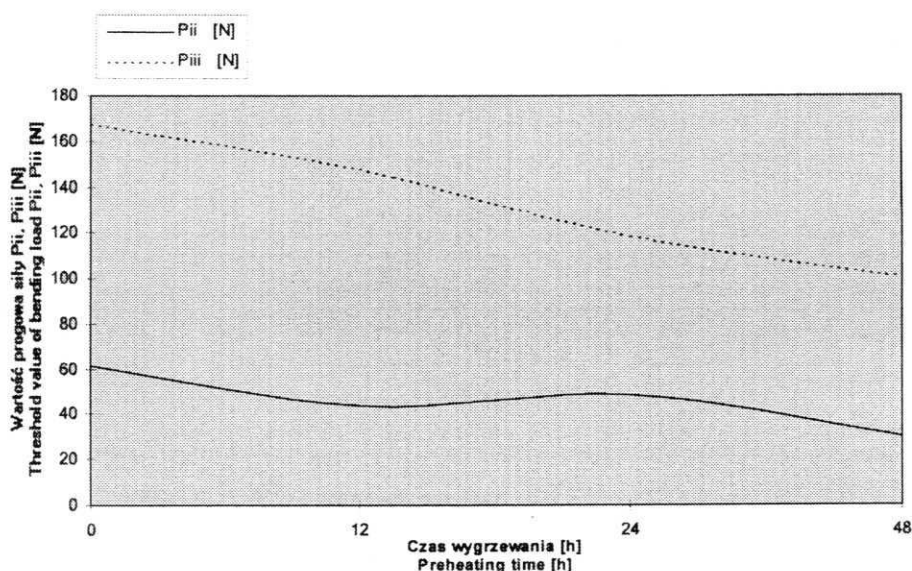
W celu zróżnicowania zaobserwowanych etapów procesu pęknięcia drewna zdefiniować można punkty charakterystyczne (progowe) poszczególnych faz. Punkt P_{II} - wartość siły zginającej odpowiadająca początkowi fazy powstawania nowych defektów strukturalnych. Punkt P_{III} - początkowy punkt fazy niestabilnej propagacji defektów. Można także określić dodatkowo punkt P_I jako opowiadający sile zginającej zaobserwowanej w chwili rejestracji pierwszego zliczenia EA. Wykres obrazujący poszczególne fazy rozwoju defektów w drewnie oraz punkty progowe poszczególnych faz przedstawiono na rys. 2.



Rys.2. Przebieg zależności sumy zliczeń EA od wartości siły zginającej (P) dla modelowego przebiegu próby 3-punktowego zginania próbki z drewna sosny, wstępnie zdeprecjonowanego termicznie: P_I - siła zarejestrowana przy pierwszym zliczeniu EA, P_{II} - wartość progowa siły zginającej dla fazy stabilnej propagacji pęknięć, P_{III} - początek fazy niestabilnej propagacji defektów

Fig. 2. Relationship between AE cumulative count and bending load (P) values for ideal course of 3-point bending test of pine wood sample, after being initially preheated: P_I - bending load recorded at AE initial signal, P_{II} - threshold value of bending load for stage of stable propagation of the defects, P_{III} - beginning of the stage of catastrophic propagation of internal defects

Na rys. 3 i 4 przedstawiono bezwzględne wartości progowych punktów poszczególnych faz procesu pękania.



Rys. 3. Siła zginająca odpowiadająca progom faz stabilnej (P_{II}) i niestabilnej (P_{III}) propagacji uszkodzeń w czasie zginania próbek z drewna sosny wstępnie wygrzewanych w temperaturze 15°C w zależności od czasu ich wygrzewania

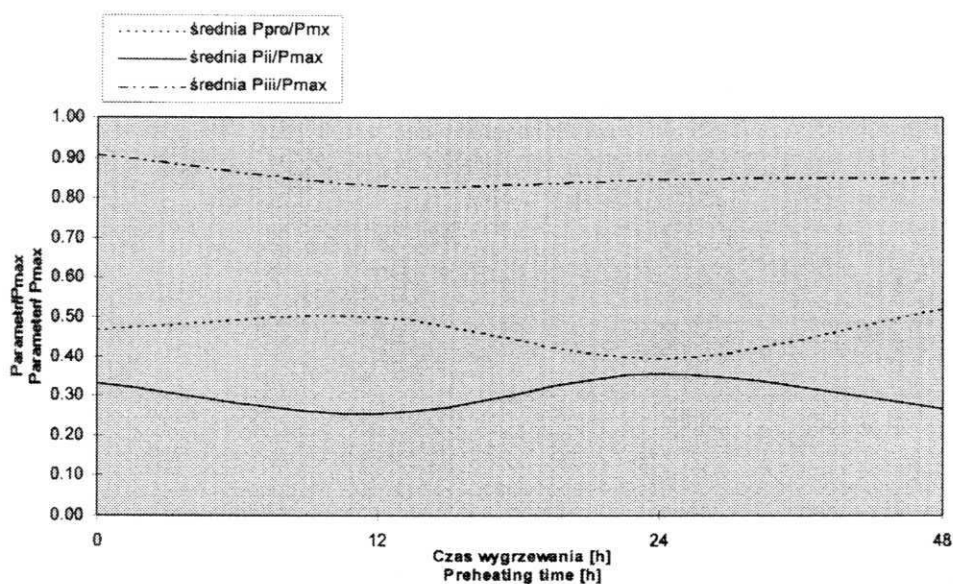
Fig. 3. Threshold value of bending load for stages of stable (P_{II}) and catastrophic (P_{III}) cracks propagation in pine wood bending test, for samples being initially preheated in temperature of 15°C , versus preheating period duration

Wartości siły w punkcie progowym P_{III} są niezależne od czasu wstępnego wygrzewania próbek drewna sosny, a więc są niezależne od historii wytrzymałościowej materiału i wynoszą w przybliżeniu $0,85 \pm 0,08 P_{\max}$. Wartości progowe siły w punkcie P_{II} odpowiadają natomiast wartościom siły zginającej belkę na granicy proporcjonalności w tej samej próbie zginania. Wartości liczbowe poszczególnych parametrów wytrzymałościowych przedstawione zostały w tabeli 1.

Wydaje się, że przedstawiona interpretacja otwiera możliwość oceny stanu wytrzymałościowego drewna, w którym zachodziły wcześniej procesy niszczące o zróżnicowanej intensywności prowadzące do akumulacji wewnętrznych uszkodzeń struktury drewna, bez konieczności prowadzenia pełnych prób wytrzymałościowych.

PODSUMOWANIE

Pomiar parametrów sprężysto-wytrzymałościowych drewna metodą EA stwarza perspektywę oceny wytrzymałości materiału na podstawie niepełnej próby zginania.



Rys. 4. Względne wartości parametrów mechanicznych (P_{II} , P_{III} , P_{prop}) odniesione do wartości siły niszczącej P_{max} , dla próbek z drewna sosny wstępnie wygrzewanych w temperaturze 150°C w zależności od czasu ich wygrzewania

Fig. 4. Relative values of mechanical parameters (P_{II} , P_{III} , P_{prop}) normalised to failure load value P_{max} , for pine wood samples initially preheated in temperature of 150°C, versus preheating period duration

Tabela 1

Table 1

Parametry wytrzymałościowe drewna sosny wstępnie wygrzewanego w temperaturze 150°C w zróżnicowanym czasie 12, 24, 48 h oraz niewygrzewanego, poddanego pełnej próbie 3-punktowego zginania

Strength parameters of pine wood initially preheated in temperature 150°C in various periods of 12, 24, 48 hours and non-heated wood, tested in 3-point bending test

Czas wygrzewania [h] Heating period [h]	P_I / P_{max}	P_{II} / P_{max}	P_{III} / P_{max}	P_{prop} / P_{max}
0	0,26	0,50	0,91	0,47
12	0,31	0,32	0,83	0,50
24	0,31	0,43	0,85	0,40
48	0,34	0,37	0,85	0,47
Wartości średnie Average values		0,41±0,08	0,85±0,08	0,46±0,04

Wytrzymałość doraźną drewna oszacować można na podstawie parametrów próby zginania określonych za pomocą punktu progowego propagacji defektów strukturalnych wewnątrz materiału (P_{III}). Niezależnie od stopnia wstępnego uszkodzenia struktury wewnętrznej drewna wspomniany punkt przyjmuje każdorazowo wartość około 85 % siły niszczącej i maleje wraz ze wzrostem stopnia termicznej deprecjacji wewnętrznej struktury materiału.

Punkt P_{II} natomiast, będący początkiem fazy rozwoju nowych mikropęknięć powstających w wyniku aktywnego działania sił zginających mieści się w pobliżu wartości siły zginającej na granicy proporcjonalności w próbie zginania drewna sosny. W obszarze etapu stabilnej propagacji defektów następuje redystrybucja naprężeń. Powstanie nowego uszkodzenia (pęknięcia) powoduje rozładowanie naprężeń istniejących w strukturze drewna. Dolna, prokowa wartość siły odpowiadającej początkowi tej fazy zniszczenia materiału, tj. punkt P_{II} zgodna jest co do wartości z siłą zginającą na granicy proporcjonalności.

W dalszych etapach badań konieczne wydaje się zweryfikowanie przedstawionych tu rezultatów dla innych sposobów wprowadzania uszkodzeń do wewnętrznej struktury drewna (np.: radioliza lub naprężenia wilgotnościowe) oraz ocena tak zmienianego stanu naprężeniowego drewna.

Praca wpłynęła do Redakcji w styczniu 1998

LITERATURA

- Evans A. G. (1975): Residual stresses measurement using acoustic emission, *J. Amer. Ceramic Soc.*, 58: 239.
- Gilman J. J. (1966): Dislocations by plastic strain. *Proc. of 5th US Congress Appl. Mechanics*: 385.
- Hoła J., Ranachowski Z. (1992): Wykorzystanie metody emisji akustycznej w ocenie wpływu czynników technologicznych i eksploatacyjnych w procesie niszczenia betonu. *Wyd. IPPT PAN Warszawa* 27: 1-27.
- Hsu T. C. (1963): Mathematical analysis of shrinkage stress in a model of hardened concrete. *J. Amer. Concrete Inst.* 60: 469.
- Jaroszevska A. (1994): Emisja akustyczna w materiałach geologicznych. *Wyd. w zbiorze: Emisja akustyczna, źródła, metody zastosowania - red. Malecki I., Ranachowski J. IPPT PAN Warszawa*: 323-352.
- Kaiser J. (1953): Conclusions and results from sound measurements in the tensile stressing of metallic materials. *Engl. Transl. by SLA Transl. Center J. Crerar Library Chicago Ill. Org. Archiv für das Eisenhüttenwesen* 24(1-2): 43.
- Lord A. E. (1981): Acoustic emission - an update, physical acoustic. W.P. Mason Ed., *Academ. Press, New York* 15: 295.
- Raczkowski J., Moliński W., Ranachowski Z. (1994): Emisja akustyczna w drewnie i tworzywach drzewnych. *Wyd. w zbiorze: Emisja akustyczna, źródła, metody zastosowania. red. Malecki I., Ranachowski J. IPPT PAN Warszawa*: 241-268.

QUANTIFICATION OF STRUCTURE DEFECTS GROWTH IN WOOD MEASURED WITH THE ACOUSTIC EMISSION METHOD

Summary

The research on changes of acoustic emission cumulative counts and counts rate were carried out on pine wood samples preheated formerly in temperature of 150°C, in periods of 12, 24 and 48 hrs and for non-heated control samples. Acoustic emission was recorded during 3-point bending test. There were observed 3 stages of wood cracking process: stage 1 - the stable initiation of the structural defects creation in wood, stage 2 - the stable propagation of the internal defects, stage 3 - the catastrophic propagation of the defects. The threshold values of bending loads which initialise each stage of the cracking process, being a result of the thermal depreciation rate of wood, were equal to the values of wood mechanical properties measured in bending test.

Adres autora:

Mgr inż. Paweł Suchorski,
Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu
Katedra Nauki o Drewnie
60-627 Poznań, ul. Wojska Polskiego 38/42
POLAND