

ALEKSANDER DZIURZYŃSKI

## Dynamika powstawania pęknięć i listew mrozowych na wybranych drzewach w parkach Poznania

Dynamics of frost cracks and ribs appearance in selected trees in Poznań parks

### ABSTRACT

Detailed measurements of the frost crack width were made in selected trees during two subsequent winter seasons. Also frost ribs were measured. Such individual approach to generally known phenomenon of frost cracks enables its better understanding.

### KEY WORDS

frost crack, frost rib, plane-tree, oak

### Wstęp

Zjawiskiem spotykanym u drzew w okresie zimy są pęknięcia mrozowe. Jest to zjawisko powszechnie znane. W dosyć licznych publikacjach na ten temat zamieszczane są fotografie pęknięć mrozowych, zakresy wahań temperatury oraz liczby tych pęknięć na drzewach różnych gatunków [Sano, Fukuzawa 1996].

Podawano dosyć liczne sugestie co do przyczyn powstawania pęknięć mrozowych. Sugestie te są nieraz trudne do jednoznacznego zweryfikowania, gdyż towarzyszące im doświadczenia (fotografie, liczby pęknięć) miały często charakter jakościowy. Dokładniejsze ilościowe badania wymagają jednak indywidualnego podejścia do każdego pękającego od mrozu drzewa. Takie indywidualne podejście do pęknięć mrozowych drzew jest celem niniejszych badań.

Podczas ostrej zimy 1995/1996 pęknięcia mrozowe pojawiły się u około 50% platanów rosnących w parkach Poznania. Dlatego też wykonano pomiary pęknięć i listew mrozowych na wybranych drzewach w tych parkach w celu dokładniejszego zrozumienia sposobu ich powstawania.

### Materiał i metody

Pomiary wykonano na sześciu platanach (*Platanus*) rosnących w Parku Górczyńskim i na jednym dębie (*Quercus*) rosnącym w Parku Sołackim. Pęknięcia mrozowe mierzono w miejscu ich maksymalnej szerokości w okresie od końca grudnia 1996 roku do połowy lutego 1998 roku. Średnie dobowe temperatury powietrza uzyskano ze stacji meteorologicznej Akademii Rolniczej w Poznaniu oddalonej o 0,5 km od Parku Sołackiego i 4 km od Parku Górczyńskiego. Pierśnice drzew i wymiary ich listew mrozowych zestawiono w tabeli 1. Wysokości listew mrozowych ( $h$ ) liczono ze wzoru:

#### ALEKSANDER DZIURZYŃSKI

Instytut Chemicznej Technologii Drewna  
Akademia Rolnicza  
ul. Wojska Polskiego 38/42  
60-637 Poznań

$$h = b \cos \frac{\varphi}{2} - \frac{d}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{d^2 - 4b^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi}{2}} \quad [1]$$

gdzie:

$b$  – szerokość ściany bocznej listwy mrozowej,

Tabela 1.

Pierśnice badanych drzew i wymiary ich listew mrozowych  
Breast height diameters of the examined trees and dimensions of their frost ribs

Drzewo	Pierśnica		Listwa mrozowa			
	[cm]	l [cm]	b [cm]	$\varphi$ [deg]	h [cm]	
Platany	1	68	350	12	85	7,0
	2	79	200	12	85	7,3
	3	57	190	12	85	6,6
	4	50	88	9	75	6,1
	5	52	190	4	115	1,4
	6	57	130	9	72	6,5
Dąb	110	150	16	85	9,8	

l – długość, b – szerokość ściany bocznej;  $\varphi$  – kąt wierzchołkowy, h – wysokość  
l – length, b – width of side wall,  $\varphi$  – apex angle, h – height

$\varphi$  – kąt wierzchołkowy listwy mrozowej,  
d – pierśnica drzewa (ryc. 1).

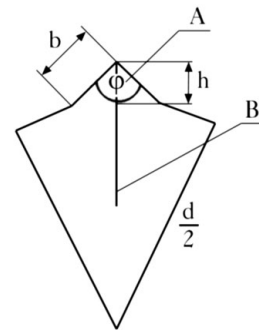
## Wyniki i dyskusja

W badanym okresie miały miejsce 3 fale mrozów: od 20 grudnia 1996 do 12 stycznia 1997, od 15 grudnia 1997 do 18 grudnia 1997 i od 27 stycznia 1998 do 3 lutego 1998. Szerokości powstałych od tych mrozów pęknięć drzew zestawiono w tabeli 2. Pomiary rozpoczęto w 29 grudnia 1996, tj. w dniu maksymalnego mrozu. Okres od 29 grudnia 1996 do 24 lutego 1997 ukazuje więc dynamikę zanikania tych pęknięć.

Dzień pojawienia się pęknięć mrozowych zaobserwowano w następnym sezonie zimowym od 15 grudnia 1997 do 18 grudnia 1997 kiedy to nadeszła fala kilkunastostopniowych mrozów. Stwierdzono wówczas, że pęknięcia platanów 1, 3, 4 i 5 pojawiają się przy temperaturze około  $-12^{\circ}\text{C}$  i zanikają przy około  $0^{\circ}\text{C}$ . Platan 2 i dąb w tym okresie nie popękały.

Fala mrozów od 27 stycznia 1998 do 4 lutego 1998 charakteryzowała się minimalną temperaturą ( $-8,6^{\circ}\text{C}$ ) dnia 1 lutego 1998. Pierwsze pomiary dla tej fali wykonano 27 stycznia 1998, gdy pęknięć jeszcze nie było. Kolejne pomiary wykonano 3 lutego 1998. Pęknięcia platanów 1, 3, 4 i 5 były wówczas nieznaczne. Znaczne pęknięcia wykazywał wówczas jeszcze platan 6 oraz dąb. Zmiany pęknięć tych dwóch ostatnich drzew są bowiem znacznie opóźnione wobec zmian temperatury, co stwierdzono jeszcze w okresie od 29 grudnia 1996 do 9 marca 1997 (tab. 2). Platan 1, 3, 4, i 5 mają pęknięcia mrozowe „wrażliwe”, zmieniające swą szerokość z opóźnieniem około 1 dnia wobec zaistniałych zmian temperatury powietrza.

Pomiary pęknięć mrozowych wykonywane były w warunkach dynamicznych, w których temperatura powietrza zmieniała się nieraz z dnia na dzień. Na przykład fala kilkunastostopniowych mrozów w połowie grudnia 1997 r. trwała tylko 4 dni, a następna fala mrozów, na przełomie stycznia i lutego 1998 r., trwała 7 dni. Ocieplenia mają również charakter falowy. Ostatnie pęknięcia mrozowe zanikają więc przy temperaturach już dodatnich.



Ryc. 1.

Przekrój poprzeczny przez wycinek pnia z listwą mrozową (A) i pęknięciem mrozowym (B)  
Cross-section of a stem fragment with a frost rib (A) and frost crack (B)

Tabela 2.

Szerokość pęknięć mrozowych drzew w parkach Poznania w okresie od 29 grudnia 1996 do 13 lutego 1998  
Width of frost cracks in selected trees in Poznań parks from 29 december 1996 to 13 february 1998

Drzewo	data	Szerokość pęknięć [mm]																			
		29.12 1996	1.12 1997	1.12 1997	26.01 1997	9.02 1997	23.02 1997	9.03 1997	15.12 1997	16.12 1997	17.12 1997	18.12 1997	20.12 1997	24.12 1997	27.12 1997	27.01 1998	3.02 1998	4.02 1998	5.02 1998	9.02 1998	11.02 1998
		temperatura [°C]																			
		-13,7	-6,4	-2,7	+2,1	+8,5	+7,9	-5,5	-11,3	-12,2	-5,9	-0,3	+1,9	+5,7	-5,6	-3,6	-1,0	+0,4	+3,8	+6,7	+9,2
1		25	26	0	0	0	0	0	0	9,7	9,7	0	0	0	0	3,2	1,5	0	0	0	0
2		5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3		15	14	0	0	0	0	0	0	6,2	6,2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	Platan	10	9	0	0	0	0	0	0	5,8	5,8	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
5		10	6	0	0	0	0	0	0	4,3	4,3	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
6		15	11	3	2,5	0	0	0	0,5	8,2	9,8	6,9	3,9	0	0	6,4	5,5	4,9	2,3	0	0
7	Dąb	15	13	8,5	7,8	4,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2	5	4,6	3,3	1,5	0

Pęknięcia mrozowe tłumaczono początkowo skurczem termicznym zewnętrznych warstw pnia drzewa spowodowanym małym przewodnictwem temperatury drewna. Mając jednak na uwadze współczynnik rozszerzalności drewna dębu w poprzek włókien ( $\alpha=54,4 \cdot 10^{-6} \text{ deg}^{-1}$ ) łatwo obliczyć, że na obwodzie pnia dębu o pierśnicy 110 cm podczas oziębiania od 0 do  $-15^\circ\text{C}$  powstanie skurcz 2,8 mm [Krzysik 1974]. Rzeczywiste pęknięcie pnia takiego dębu jest 5 razy większe (tab. 2). Wyjaśnia to teoria Roberta Hartiga i in. z końca XIX w. [Ishida 1963], według której pęknięcia mrozowe mają głównie charakter wilgotnościowy, a nie termiczny. Teoria ta jest redukowalna do zjawiska zamrażania wody w lumenach komórek o dużej średnicy z jednoczesnym wysychaniem ścian komórkowych powodującym kurczenie się drewna [IAWA Journal 1997]. Zjawisko to wyjaśnia równanie Kelvina [Stamm 1964; Pr. zb. Chemia fizyczna 1980; Loskutow, Lewin 1984].

$$\ln \frac{p_v}{p} = \frac{2\delta M}{prRT} \quad [2]$$

gdzie:

- $p_0$  – prężność pary nasyconej,
- $p$  – prężność pary nad powierzchnią płaską,
- $\delta$  – napięcie powierzchniowe,
- $\rho$  – gęstość cieczy,
- $r$  – promień kapilary,
- $M$  – masa cząsteczkowa cieczy,
- $R$  – stała gazowa,
- $T$  – temperatura.

Podczas ochładzania wilgotnego drewna zmniejsza się prężność pary wodnej nad powierzchnią płaską ( $p$ ). Tym samym maleje względna wilgotność powietrza ( $p/p_0$ ). Zgodnie z równaniem Kelvina zmniejsza się więc promień ( $r$ ) kapilar wypełnionych wodą. Następuje bowiem odpływ pary wodnej z submikrokapilar ścian komórkowych do lumenów naczyń. Podczas ochładzania drewna o wilgotności większej od punktu nasycenia włókien (powyżej 28%) lód powstaje więc w lumenach komórek o największej średnicy, tj. w lumenach naczyń. W efekcie ma miejsce

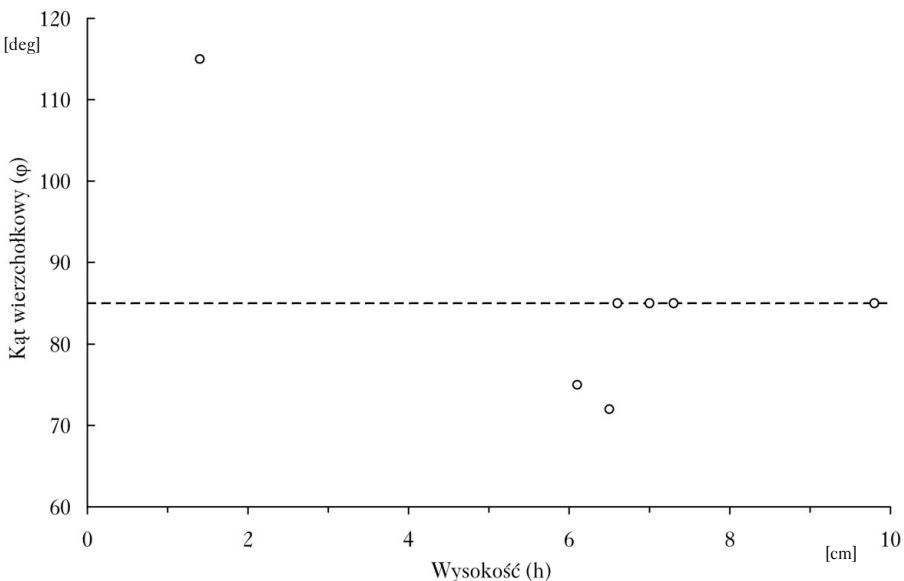
lokalne wysychanie ścian komórkowych [Godlewski 1981; Loskutow, Lewin 1984], a tym samym ich kurczenie się prowadzące do pęknięć mrozowych drzew.

Ishida [1963] po bardzo szczegółowych badaniach stwierdził, że przyczyną pęknięć mrozowych na jodłach jest też mokre drewno (wetwood) w niektórych partiach strzał. Mokre, maksymalnie nasycone wodą drewno podczas zamarzania zwiększa swoją objętość wskutek termicznej kontrakcji lodu w wypełnionych wodą komórkach [Shirp 1967]. Kurczenie się drewna zewnętrznych warstw pnia drzewa w połączeniu z niemożliwością kurczenia się mokrego drewna wewnątrz pnia sprzyja więc powstawaniu pęknięć mrozowych.

Główną przyczyną pęknięć mrozowych na drzewach w Poznaniu jest prawdopodobnie samo istnienie fal mrozów. Fale mrozów, przy niezbyt niskich ujemnych wartościach temperatury, przychodzą i odchodzą nagle. Sytuacja taka powoduje gwałtowne oziębianie zewnętrznych warstw drzew, a tym samym powstawanie pęknięć mrozowych. Platany, którym jesienią odpada kora z pni są szczególnie nieodporne na takie nagłe oziębiania.

Pęknięciu mrozowemu dębu w Parku Sołackim towarzyszą zranienia jego pnia. Są to trzy zranienia powyżej listwy mrozowej powstałe wskutek obciętych konarów. Zranienia te ułatwiają powstawanie zgnilizny wewnątrz pnia. Jest to zgodne z obserwacjami Butin'a i Shigo, którzy u 25 badanych dębów z listwami mrozowymi stwierdzili, że dęby te posiadały zranienia na pniach [Sano, Fukuzawa 1996].

Mierząc pęknięcia mrozowe zwrócono również uwagę na listwy mrozowe – narośle powstałe z tkanki przyrannej (kalusu), które w okresie wegetacyjnym pokrywają pęknięte miejsca [Krzysik 1974]. Listwy mrozowe są słabo zrosnięte i podczas kolejnych mrozów pękają ponownie. Listwy mrozowe mają przekrój trójkąta równoramiennego (ryc. 1). Pomiary kąta wierzchołkowego listew mrozowych ( $\varphi$ ) wykazały, że w miarę wzrostu ich wysokości ( $h$ ) dąży on do  $85^\circ$  (ryc. 2). Wielkość tego kąta związana jest prawdopodobnie z prawami wzrostu tkanki przyrannej tworzącej listwę mrozową.



Ryc. 2.

Zależność między wysokością listwy mrozowej ( $h$ ) a jej kątem wierzchołkowym ( $\varphi$ )  
Dependence between the frost rib height ( $h$ ) and its apex angle ( $\varphi$ )

## Wnioski

- ✦ Pęknięcia mrozowe drzew, przy istniejących w Poznaniu falach mrozów, pojawiają się przy temperaturze około  $-12^{\circ}\text{C}$  (pierwsza fala) i  $-8^{\circ}\text{C}$  (druga fala), a zanikają przy temperaturze już dodatniej.
- ✦ Pęknięcia mrozowe zmieniają się z opóźnieniem od jednego do kilkunastu dni w stosunku do zaistniałych zmian temperatury powietrza. Cecha ta jest indywidualną „wrażliwością” każdego drzewa.
- ✦ Zjawisko pęknięć mrozowych u drzew wyjaśnia na poziomie submikroskopowym równanie Kelvina.
- ✦ W miarę wzrostu wysokości listew mrozowych ich kąt wierzchołkowy ( $\varphi$ ) dąży do  $85^{\circ}$ .

Podziękowanie: Panu profesorowi dr. hab. Janowi Raczkowskiemu serdecznie dziękuję za wskazanie pękającego od mrozów dębu w Parku Sołackim, a także za literaturę źródłową i cenne uwagi.

## Literatura

- Godlewski G. 1981. Dotychczasowe poglądy na przyczyny powstawania pęknięć mrozowych. Sylwan 125, 4: 69-73.
- Ishida S. 1963. On the Development of Frost Cracks on „Todomatsu” Trunks, Abies sachalinensis, especially in Relation to their Wetwood. Res. Bull. Exp. For. Hokkaido University. XXII, 2: 273-373.
- Krzysik F. 1974. Nauka o drewnie. PWN, Warszawa. 271, 443.
- Loskutow S. R., Lewin E. D. 1984. Obrazovanje i da v drevesinie listvennicy s razlicnim sodержaniem vody. Chimija drevesiny 2: 106-111.
- Sano Y., Fukuzawa K. 1996. Timing of the occurrence of frost cracks in winter. Trees 11, 1: 47-53.
- Shirp M. 1967. Untersuchungen über die Dimensionsänderungen des Holzes durch Kälte und die Ursachen der Frostrisse an Waldbäumen. Diss. Univ. Hamburg. Streszczenie. 1967. Holz als Roh- und Werkstoff. (27), 3: 122.
- Stamm A. J. 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Comp. New York. 144.
- Pr. zb. Chemia fizyczna. 1980. PWN, Warszawa. 484, 690.
- IAWA Journal. 1997. Fotografia na 1. stronie okładki: „Mikroskopowy przekrój poprzeczny drewna z lodem widocznym w lumenach naczyń”. 18.

## SUMMARY

### Dynamics of frost cracks and ribs appearance in selected trees in Poznań parks

Measurements of frost cracks and ribs in 6 plane (*Platanus*) and 1 oak (*Quercus*) trees were carried out from 29 December 1996 to 13 February 1998. The following was found: at characteristic for Poznań frost waves, frost cracks appear at  $-12^{\circ}\text{C}$  (first wave) and  $-8^{\circ}\text{C}$  (second wave) and disappear in plus temperatures. Frost cracks are delayed by one to several days with respect to changes in air temperature. The phenomenon of frost cracks in trees on the submicroscopic level explains the Kelvin equation. With the increase in height of frost ribs their apex angle tends to reach the value of  $85^{\circ}$ .