

TOMASZ DOMAŃSKI*

WPŁYW DZIAŁANIA OBCIĄŻEŃ ŚNIEGIEM
NANOŚNOŚĆ DACHÓW DREWNIANYCHSNOW DURATION EFFECTS ON TIMBER ROOF
STRUCTURES CAPACITY

Streszczenie

Wpływ oddziaływań obciążeń zewnętrznych w tym głównie śniegu, na parametry wytrzymałościowe elementów drewnianych dźwigarów dachowych jest jedną z najbardziej charakterystycznych cech odróżniających drewno od innych materiałów konstrukcyjnych. Stochastyczny proces obciążeń wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo konstrukcji drewnianych. Wytrzymałość drewna na zginanie i ściskanie obniża się z czasem. Na wytrzymałość elementów drewnianych wpływa tzw. historia obciążeń. Obciążenia śniegiem charakteryzują się tym, że są okresowe w okresie zimowym –około ½ roku oraz krótkotrwałym 1-2 tygodnie. W tym czasie występują tzw. pakiety obciążeń śniegu, powodujące destrukcje włókien drewna konstrukcji więźby dachowej.

Słowa kluczowe: konstrukcje drewniane, współczynniki bezpieczeństwa, niezawodność

Abstract

Load duration behavior is one of the most significant effects distinguishing timber materials from other structural materials. The stochastic damage accumulation process has been investigated. Safety assessments of structures built in the past require taking into consideration many different parameters. These parameters are mostly random and describe materials characteristics, actions and history of actions. The load bearing capacity of timber structures decreases with time. It depends on the type of load and timber. Strength reduction effects, referred to as creep-rupture effects, due to long term loading at high stress ratio levels are known for many materials. Timber materials are highly affected by this reduction in strength with duration of load factors.

Keywords: timber structures, creep rupture effects, safety factors, reliability

* Dr inż. Tomasz Domański, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W ostatnich dwudziestu latach znacznie rozwinęły się metody projektowania elementów konstrukcji drewnianych na podstawie tzw. metody współczynników częściowych zwanej też probabilistyczną metodą poziomu drugiego. Ponadto, zakres wiedzy związanej z oddziaływaniem na konstrukcje obciążeń stałych zmiennych stale się powiększa. Metody badań własności mechanicznych drewna są obecnie na bardzo wysokim poziomie, co daje podstawy do formułowania zaawansowanych modeli zachowania się elementów konstrukcji drewnianych pod obciążeniami krótkotrwałymi oraz długotrwałymi. Wiedza ta umożliwia projektantom uwzględnienie parametrów zmienności tak dla obciążeń, jak i dla własności mechanicznych elementów drewnianych i ich połączeń w procesie projektowania, przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności i użytkowania.

Normy projektowania konstrukcji budowlanych (krajowe i zagraniczne) są opracowywane obecnie na podstawie metod probabilistycznych. Metody te uwzględniają założony poziom bezpieczeństwa konstrukcji definiowanych w miarach prawdopodobieństwa, wprowadza się częściowe współczynniki bezpieczeństwa, wartości charakterystyczne i obliczeniowe. Częściowe współczynniki bezpieczeństwa stosuje się do formuł deterministycznych, tak że końcowy poziom prawdopodobieństwa awarii nie zawsze pokrywa się z założonym.

Drewno jest złożonym materiałem budowlanym. Charakterystyki mechaniczne drewna zależą od wielu czynników, takich jak: gatunek drewna, lokalizacja geograficzna, specyfika i lokalne warunki dorastania pnia. Drewno jest materiałem ortotropowym składającym się włókien o wysokiej wytrzymałości przeważnie ukierunkowanych wzdłuż osi pnia. Charakterystyki materiałowe, takie jak: wytrzymałość przy zginaniu, moduł sprężystości przy zginaniu zależą od ukierunkowania momentu zginającego w stosunku do osi zginanej belki. Nieregularności w ukierunkowaniu włókien w stosunku do osi belki drewnianej, układ sęków, szczelin w drewnie – mają decydujący wpływ na nośność belki drewnianej. Tylko niewielkie laboratoryjne – tzw. czyste próbki elementów drewnianych, są niezależne od wpływu wspomnianych czynników i mogą stanowić materiał do badań własności mechanicznych drewna.

Własności mechaniczne drewna obniżają się w czasie pod wpływem działania obciążeń zewnętrznych stałych i zmiennych w czasie. W definiowaniu wartości obliczeniowej wytrzymałości drewna długotrwałej f wprowadza się parametr redukujący krótkotrwałą wytrzymałość drewna f_0 w postaci współczynnika k_{mod} , opisany w Euronormie EC5.

$$f = f_0 k_{mod} \quad (1)$$

Tradycyjnie współczynnik k_{mod} był określany na podstawie badań doświadczalnych. Obecnie wyznacza się go na podstawie historii obciążeń oraz metod probabilistycznych związanych z odpowiednim modelem zniszczenia [2–6]. W Euronormie EC 5 współczynnik k_{mod} jest definiowany przy uwzględnieniu takich czynników jak: wilgotność elementu drewnianego i jego otoczenia oraz historia obciążenia elementu drewnianego. Mechanizm powodujący obniżenie własności mechanicznych drewna, określany jest jako krucho zniszczenie włókien drewna (ang. creep rupture) w niniejszej pracy opisywany będzie przez model zniszczenia Gerhard'a [7].

Podstawowy model zniszczenia określa się w następującej formie:

$$da/dt = F[s(t), X] \quad (2)$$

gdzie:

- t – czas,
- a – stan zniszczenia od 0 (brak zniszczenia) do 1 (zniszczenie), funkcja $F(\cdot)$ ma stałe X estymowane na podstawie badań,
- $s(t)$ – jest to stosunek naprężeń do wytrzymałości krótkotrwałych drewna.

2. Własności materiałowe

2.1. Własności podstawowe

Podstawowe własności mechaniczne drewna określane na podstawie badań laboratoryjnych:

- wytrzymałość na zginanie $f_{m,k}$ [MPa]
- moduł sprężystości przy zginaniu $E_{0,mean}$ [MPa], obie wielkości mierzone jako krótkotrwałe wg EC 5 [1]
- gęstość drewna ρ_k [kg/m^3],

Zależności innych własności mechanicznych drewna z podstawowymi przedstawione są w tabeli 1

Tabela 1

Zależności parametrów wytrzymałościowych drewna

Własności	Wartość oczekiwana $Ex[X]$	Wsp. zmienności $COV[X]$
Wytrzymałość na rozciąganie równoległa do włókien $f_{t,0,k}$	$Ex[f_{t,0,k}] = Ex[f_{m,k}]$	$COV[f_{t,0,k}] = 1.2COV[f_{m,k}]$
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadłą do włókien $f_{t,90,k}$	$Ex[f_{t,90,k}] = 0.015Ex[f_{m,k}]$	$COV[f_{t,90,k}] = 2.5COV[f_{m,k}]$
Moduł sprężystości równoległy do włókien $E_{0,05}$	$Ex[E_{0,05}] = Ex[E_{0,mean}]$	$COV[E_{0,05}] = COV[E_{0,mean}]$
Moduł sprężystości prostopadły do włókien $E_{90,mean}$	$Ex[E_{90,mean}] = Ex[E_{0,mean}]/30$	$COV[E_{90,mean}] = COV[E_{0,mean}]$
Wytrzymałość na ściskanie równoległa do włókien $f_{c,0,k}$	$Ex[f_{c,0,k}] = 5Ex[f_{m,k}]^{0.45}$	$COV[f_{c,0,k}] = 0.8COV[f_{m,k}]$
Wytrzymałość na ściskanie równoległa do włókien $f_{c,90,k}$	$Ex[f_{c,90,k}] = 0.007Ex[\rho_k]$	$COV[f_{c,90,k}] = COV[\rho_k]$

2.2. Rozkłady prawdopodobieństwa podstawowych parametrów

Rozkłady prawdopodobieństw podstawowych własności mechanicznych przedstawione są w tabelach 2 i 3.

Tabela 2

Rozkłady prawdopodobieństw podstawowych parametrów wytrzymałościowych

Własności	Rozkład	COV
Wytrzymałość na zginanie $f_{m,k}$	Lognormalny	0,25
Moduł sprężystości przy zginaniu $E_{0,mean}$	Lognormalny	0,13
Gęstość drewna ρ_k	Normalny	0,10

Tabela 3

Rozkłady prawdopodobieństw innych parametrów wytrzymałościowych

Własności	Rozkład
Wytrzymałość na rozciąganie równoległa do włókien $f_{t,0,k}$	Lognormalny
Wytrzymałość na rozciąganie prostopadła do włókien $f_{t,90,k}$	Weibulla
Moduł sprężystości równoległy do włókien $E_{0,05}$	Lognormalny
Moduł sprężystości prostopadły do włókien $E_{90,mean}$	Lognormalny
Wytrzymałość na ściskanie równoległa do włókien $f_{c,0,k}$	Lognormalny

2.3. Model zniszczenia

Matematyczny opis zniszczenia elementu drewnianego przedstawiono jako funkcję dwóch zmiennych podstawowych: poziomu wyężenia nośności elementu drewnianego oraz historii jego obciążenia. Zmienną niezależną jest stopień zniszczenia α , dla całkowitego zniszczenia $\alpha = 1$, dla braku zniszczenia $\alpha = 0$.

2.3.1. Model Gerhards'a

C.C. Gerhards w pracy [7] przedstawił model stopnia zniszczenia elementu drewnianego w czasie:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \exp\left(-A + B \frac{\sigma}{f_0}\right) \quad (3)$$

gdzie A i B są stałymi określanymi na podstawie badań doświadczalnych. σ jest stopniem wyężenia w czasie jako skutek historii obciążeń, f_0 jest krótkotrwałą wytrzymałością elementu drewnianego. Rozwiązaniem formuły (3) jest zależność funkcyjna:

$$\frac{\sigma}{f_0} = \frac{A}{B} - \ln \frac{10}{B} \log t = a - b \log t \quad (4)$$

gdzie:

$$a = \frac{A}{B} + \varepsilon \quad b = \frac{\ln 10}{B} \quad (5)$$

ε – parametr określający zmienność, niedoskonałość modelu (3).

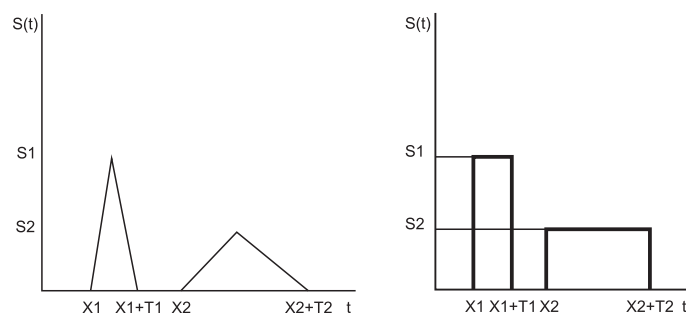
Przy założeniu stałych obciążeń i uznając wartość f jako wytrzymałość po okresie czasu obciążeń t rozwiązanie równania (4) przedstawia się następująco:

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{B} \ln(1 + (1 - \alpha)(\exp B - 1)) \quad (6)$$

Wyrażenie to stosowane jest przy uwzględnieniu postępującej degradacji włókien mikrostruktury drewna w czasie eksploatacji pod obciążeniami stałymi w całym czasie eksploatacji.

3. Obciążenie śniegiem – Zakopane [8]

Stochastyczny model obciążenia śniegiem oparty jest na podstawie danych pomiaru wysokości pokrywy śnieżnej oraz odpowiednich równoważników wodnych, wykonanych w stacji meteorologicznej w Zakopanem na Równi Krupowej. Dane te stanowią podstawę do określania obciążenia śniegiem na 1 m² gruntu w danej strefie śniegowej. Intensywność opadów śniegu, a co za tym idzie intensywność obciążeń w czasie, jest modelowana rozkładem prostokątnym lub trójkątnym. Intensywność opadów $S(t)$ oraz częstość X_i modelowana jest, jak następuje:



II. 1 Model obciążenia śniegiem. Po lewej trójkątny. Po prawej prostokątny

III. 1 Snow load model. Left: triangular. Right: rectangular

Występowanie „pakietów śnieżnych” w czasie X_1 , X_2 modelowana jest przez proces Poisson’a [3].

Rozkład odstępów czasowych pomiędzy „pakietami śnieżnymi” określany jest przez parametry rozkładu eksponentialnego z wartością oczekiwaną $=0,68$, gdzie $= 1,95$ oczekiwana ilość „pakietów śnieżnych” na rok.

1. Rozkład maksimów rocznych opadów śniegu podlega rozkładowi Gumela z wartością oczekiwaną $\mu_s = 1,86 \text{ kN/m}^2$ i odchylenie standardowe $s_s = 0,43 \text{ kN/m}^2$
2. Okres trwania „pakietu” śnieżnego T modelowany jest przez iloraz $X_t S_m$ o wartościach proporcjonalnych do maksimów rocznych
3. Wartość oczekiwana X_t , $\mu_{X_t} = 76 \text{ dni / (kN/m}^2)$

W tabeli 4 przedstawiono wyniki obliczeń wartości k_{mod} w zależności od intensywności opadów śniegu.

Tabela 4

Wartości współczynnika k_{mod} w zależności od intensywności obciążenia śniegiem

$\mu_{X_t}/145 \text{ dni/(kN/m}^2)$	k_{mod}
1	0,71
0.5	0.72
0.25	0,74
0.20	0,75
0.15	0,76
0.10	0,78
0.05	0,80

4. Wnioski

Wpływ historii obciążeń na nośność elementów drewnianych jest bardzo istotny. Przepisy projektowania konstrukcji budowlanych (krajowe i zagraniczne) są opracowywane obecnie na podstawie metod probabilistycznych. Metody te uwzględniają założony poziom bezpieczeństwa konstrukcji definiowanych w miarach prawdopodobieństwa, wprowadza się częściowe współczynniki bezpieczeństwa, wartości charakterystyczne i obliczeniowe. Poziom zmienności obciążeń śniegiem oraz przyjęte założenia co do postaci obciążenia śniegiem (prostokątny lub trójkątny) mają istotny wpływ na wartość współczynnika długości obciążeń. Istnieje potrzeba dalszych obserwacji obciążeń śniegiem w celu weryfikacji ich wartości oraz rozkładów prawdopodobieństw. Na podstawie opracowanych danych meteorologicznych z posterunku pomiarowego IMiGW na Równi Krupowej w Zakopanem określono wartości współczynnika redukcyjnego k_{mod} , który obniża się w zależności od wzrostu intensywności obciążeń śniegiem.

Literatura

- [1] EN 1995 *Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1.1 General Common Rules*.
- [2] Kohler J., Sorensen J., Faber M., *Probabilistic modeling of timber structures*, Structural Safety 29 (2007), 255-267.
- [3] Sorensen J., Svensson S., Stang B., *Reliability-based calibration of load duration factors for timber structures*, Structural Safety 27 (2005), 153-169.
- [4] Faber M., Kohler J., Sorensen J., *Probabilistic modeling of graded timber material properties*, Structural Safety 26 (2004), 295-309.
- [5] Rosowsky D., Bulleit M., *Load duration effect in wood members and connections: order statistics and critical loads*, Structural Safety 24(2002), 347-362.
- [6] COST Action E 24, *Reliability of timber structures. Several meetings and Publication*: www.km.fgg-uni-lj.si/coste24/coste24.htm; 2005.
- [7] Gerhards C.C., *Time related effects on wood strength: a linear cumulative damage theory*, Wood Sci 1979, 11 (3), 139-44.
- [8] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, oddział w Krakowie.