

# Konsekwencje wyboru norm projektowych dla zużycia materiału na przykładzie dźwigara dachowego z drewna klejonego

Dariusz Czerski, Jerzy Szerafin

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,  
Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin,  
e-mail: dariusz.czerski@pollub.edu.pl, e-mail: j.szerafin@pollub.pl*

**Streszczenie:** Konsekwencją wejścia w skład państw członkowskich Unii Europejskiej jest ujednoczenie prawa, w tym także przystosowanie Polskich Norm Budowlanych do europejskich odpowiedników. W obecnym okresie przejściowym projektant ma możliwość wyboru norm projektowych, co może skutkować różnym życiem materiałów konstrukcyjnych, a zatem i kosztem. W artykule przybliżono specyfikę norm eurokodowych w zakresie projektowania elementów drewnianych, w szczególności dźwigarów dachowych z drewna klejonego. Zamieszczono wyniki obliczeń przykładowego dwutrapezowego dźwigara dachowego przeprowadzone według obu norm wraz z ich analizą.

**Słowa kluczowe:** normy Eurokod, drewno klejone, dźwigar dwutrapezowy.

## 1. Aktualny stan prawny w zakresie norm projektowych

Polski Komitet Normalizacyjny – jako członek europejskich organizacji normalizacyjnych – zobowiązany jest do wprowadzania w Polsce norm europejskich, którym nadaje się oznaczenie PN-EN. Proces ten trwa od 2004r., kiedy to opublikowany został w języku polskim pierwszy z szeregu eurokodów, tj. *PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji*. Z dniem 31 marca 2010r. PKN wprowadza eurokody do projektowania i jednocześnie nadaje 39 normom z oznaczeniem PN-B status norm wycofanych. Nie oznacza to jednak, że wycofane normy zostały unieważnione, ponieważ zostały powołane (obok eurokodów) w odpowiednim rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 marca 2009 oraz późniejszym z 10 grudnia 2010. Ponieważ zaistniała sytuacja budziła wiele kontrowersji, Ministerstwo Infrastruktury podało swoją interpretację w piśmie Departamentu Rynku Budowlanego i Techniki nr BRIP-024-8/10 z dnia 20 kwietnia 2010r. opublikowanym w [1], w którym stwierdza, że „... w zależności od decyzji projektanta, podstawą wykonania projektu budowlanego budynku mogą być zarówno normy aktualne (Eurokody), jak i wycofane (PN-B)”

Obecny okres przejściowy stwarza więc możliwość wyboru zestawu norm, z których projektant będzie korzystać. Wybór ten ma swoje konsekwencje dla wielu aspektów procesu projektowego, takich jak wielkość zwymiarowanych przekrojów

elementów konstrukcyjnych, trwałość konstrukcji oraz koszt jej realizacji. Podkreślenia wymaga fakt, że nie można korzystać w jednej fazie projektowania z wycofanych norm PN-B, a w innej fazie z norm eurokodowych PN-EN.

W dalszej części przedstawione zostaną różnice między starymi Normami Polskimi (oznaczenia w dalszej części PN-B) i Eurokodami (PN-EN) w zakresie projektowania dźwigarów dachowych z drewna klejonego. Konstrukcje drewniane wymiaruje się na podstawie:

- normy PN-B 03150:2000: Konstrukcje drewniane – Obliczenia statyczne projektowanie [2], do której wydano 3 uzupełnienia (zmiany) lub
- PN-EN 1995-1-1: Eurokod 5. Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków [3].

Powszechnie panuje opinia, że wspomniana PN-B jest właściwie polskim tłumaczeniem Eurokodu 5. Jednak pomimo dużych podobieństw występują też różnice, miejscami dość subtelne, które prowadzą do istotnych zmian wyników obliczeń. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną różnice między starymi Normami Polskimi (oznaczenia PN-B) i Eurokodami (PN-EN) w zakresie projektowania dźwigarów dachowych z drewna klejonego, wraz z przykładem obliczeniowym.

## 2. Podstawowe różnice pomiędzy normami PN-B i PN-EN w zakresie projektowania dźwigarów dachowych z drewna klejonego

### 2.1. Kombinacje oddziaływań

Normy obciążeń PN-B zawierają zróżnicowane częściowe współczynniki bezpieczeństwa, zarówno dla obciążeń stałych (wartości od 1,1 do 1,3), jak i zmiennych (wartości od 1,2 do 1,4). Normy PN-EN ujednolicają wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa, przyjmując wartość 1,35 dla wszystkich obciążeń stałych, oraz 1,5 dla wszystkich obciążeń zmiennych. Efektem tych zmian jest znaczne zwiększenie wartości obciążeń obliczeniowych, co powoduje przyjmowanie większych wartości siły wewnętrznych, a zatem i naprężeń w projektowanych elementach. Jak jednak podaje [4], założone w normach PN-EN wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa są zbyt duże i nie są doświadczalnie potwierdzone. Z tego względu członkowie Komitetu Technicznego CEN/TC 250 zaproponowali w Załączniku Krajowym do PN-EN 1990 wybór bardziej niekorzystnej z dwóch kombinacji obciążeń:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_G \cdot G_j + \gamma_Q \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{wzór 6.10a wg PN-EN 1990}) \quad (1)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_G \cdot G_j + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (\text{wzór 6.10b wg PN-EN 1990}) \quad (2)$$

Współczynnik  $\psi_0$  pełni funkcję współczynnika jednoczesności obciążeń, natomiast współczynnik  $\xi$  we wzorze 6.10b przyjmuje wartość 0,85. Efektem tego współczynnik dla obciążeń stałych według wzoru 6.10b przyjmuje wartość 1,15, co jest zbliżone z normami PN-B. Kontrowersje wywołuje natomiast wzór 6.10a, w którym już pierwsze obciążenie zmienne jest redukowane współczynnikiem  $\psi_0$ .

## 2.2. Właściwości wytrzymałościowe drewna klejonego

W zakresie przyjmowania wartości charakterystycznych wytrzymałości drewna klejonego, obie normy odwołują się do PN-EN 1194 [5]. Pewien stopień zamieszania wprowadza zamieszczony w PN-B Załącznik normatywny zawierający wybrane klasy wytrzymałości, który nie jest zgodny z powyższą normą. Podane są w nim na ogół inne klasy wytrzymałości, zaś w klasie GL24 pojawiającej się w obu dokumentach wartości poszczególnych wytrzymałości i modułów sprężystości są różne.

Wartości wytrzymałości obliczeniowych, wyliczane w obu normach ze wzoru

$$f_d = \frac{k_{mod} \cdot f_k}{\gamma_M} \quad (3)$$

będą się różnić. Po pierwsze, PN-EN podaje dla drewna klejonego wartość współczynnika  $\gamma_M = 1,25$  wobec  $\gamma_M = 1,30$  w PN-B, a po drugie przyjęto inne zasady ustalania wartości współczynnika modyfikacyjnego  $k_{mod}$  (w PN-EN przetłumaczonego jako współczynnik modyfikujący), uwzględniającego wpływ wilgotności i czasu trwania obciążenia na wytrzymałość drewna w konstrukcji. Różnica polega na tym, że w PN-EN współczynnik  $k_{mod}$  dobiera się dla najkrócej trwającego obciążenia, natomiast w PN-B dla obciążenia o największej wartości. Przykładowo w sytuacji, gdy na konstrukcję oddziałują obciążenie śniegiem i wiatrem oraz obciążenia stałe przewyższające zmienne, to:

$k_{mod} = 0,6$  (na podstawie PN-B).

$k_{mod} = 0,9$  (na podstawie PN-EN).

Uwzględniając również częściowy współczynnik bezpieczeństwa, różnica w przyjętych wartościach obliczeniowych wyniesie więc w tym przypadku aż 57%!

Warto zauważyć, że podana zasada ustalania współczynnika  $k_{mod}$  w normie PN-B obowiązuje od 2003 r, kiedy to pojawiła się zmiana do normy podstawowej o numerze PN-B 03150:2000/Az2:2003. Wcześniej normy PN-B oraz PN-EN były w tym zakresie zgodne.

Ponadto w przypadku elementów o przekroju prostokątnym i wysokości mniejszej niż 600 mm wytrzymałość na zginanie (a także rozciąganie wzdłuż włókien) jest zwiększana przez przemnożenie przez współczynnik  $k_h$ :

- $k_h = \min \left( \left( \frac{600}{h} \right)^{0,2}, 1,15 \right)$  (wg PN-B),

- $k_h = \min \left( \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,11 \right)$  (wg PN-EN),

przy czym korekta wytrzymałości jest dokonywana wg PN-B opcjonalnie, natomiast wg PN-EN koniecznie.

Dodatkowo norma PN-EN przewiduje możliwość uwzględniania wpływu temperatury przekraczającej okresowo 60°C na wytrzymałość drewna, za pomocą współczynnika zmniejszającego o stałej wartości  $k_{temp} = 0,8$ .

Opisane różnice pomiędzy obiema normami w zakresie wielkości materiałowych nie występują w każdych warunkach, jednak ich łączny efekt może w decydujący sposób wpływać na wyniki wymiarowania elementów drewnianych.

### 2.3. Warunki stanu granicznego nośności

W obliczeniach dźwigara dwutrapezowego z drewna klejonego obie normy przewidują konieczność sprawdzenia analogicznych warunków stanu granicznego nośności. Jedyna istotna różnica, wpływająca na wyniki obliczeń pojawia się dla warunku naprężeń ścinających:

- Naprężenia normalne:

- Naprężenia krawędziowe przy zginaniu na dolnej krawędzi dźwigara według obu zestawów norm:

$$\sigma_{m.0.d} = \left(1 + 4 \tan(\alpha)^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{b \cdot h_{a1}^2} \leq f_{m.d} \quad (4)$$

- Naprężenia krawędziowe przy zginaniu na górnej nachylonej krawędzi dźwigara według obu zestawów norm:

$$\sigma_{m.\alpha.d} = \left(1 - 4 \cdot \tan(\alpha)^2\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{\alpha}}{b \cdot h_{a1}} \leq f_{m.\alpha.d} = \frac{f_{m.d}}{\left(\frac{f_{m.d}}{f_{c.90.d}} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2\right)} \quad (5)$$

- Warunek  $\sigma_{m.0.d} \leq f_{m.d} \cdot k_{crit}$  według obu zestawów norm.

- Naprężenia w strefie kalenicowej według obu zestawów norm:

$$\sigma_{m.\alpha.d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap.d}}{b \cdot h_{ap}^2} \leq k_r \cdot f_{m.d} \quad (k_r = 1) \quad (6)$$

- Naprężenia rozciągające prostopadłe do włókien w strefie kalenicowej według obu zestawów norm:

$$\sigma_{t.90.d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap.d}}{b \cdot h_{ap}^2} \leq k_{dis} \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} \cdot f_{t.90.d} \quad (7)$$

- Naprężenia ścinające (max na podporze) według obu zestawów norm:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{R_A}{b \cdot h_p} \leq k_v \cdot f_{v.d} \quad (8)$$

przy czym wg PN-EN w miejsce „b” wstawić należy efektywną szerokość przekroju, uwzględniającą wpływ pęknięć:  $b_{ef} = b \cdot k_{cr}$  (dla drewna klejonego  $k_{cr} = 0,67$ ).

- Minimalna długość oparcia według obu zestawów norm:

$$a_{pod} = \frac{R_A}{b \cdot k_{c.90} \cdot f_{c.90.d}} \quad (9)$$

## 2.4. Warunki stanu granicznego użytkowalności

Obie normy różnią się w sposobie uwzględniania wpływu pełzania na przyrost ugięć doraźnych. Ugięcie końcowe dźwigara według PN-B oblicza się ze wzoru:

$$u_{fin} = \sum u_{inst,i} \cdot (1 + k_{def,i}) \leq u_{net,fin} = \frac{L}{200} \quad (10)$$

przy czym ugięcie doraźne  $u_{inst}$  liczone jest oddzielnie dla każdego z obciążeń zaliczanych do różnych klas trwania obciążenia. Czas trwania obciążenia ujmuje współczynnik  $k_{def}$  przyjmujący różne wartości, odczytywane z tabeli normowej.

Ugięcie dźwigara według PN-EN:

$$u_{fin} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + u_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) + \sum u_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \leq u_{net,fin} = \frac{L}{200} \quad (11)$$

O ile ugięcia chwilowe  $u_{inst}$  liczy się tak samo na podstawie obu norm, o tyle dalszy algorytm postępowania jest nieco odmienny. Różnice polegają na tym, że współczynnik  $k_{def}$  zależy wyłącznie od klasy użytkowania (czyli od wilgotności) i – w przeciwieństwie od PN-B – nie jest zależny od klasy trwania obciążenia, a więc ma tę samą wartość dla wszystkich obciążeń. Wpływ czasu trwania obciążenia na ugięcie końcowe jest natomiast ujęty przez przemnożenie  $k_{def}$  przez współczynnik  $\psi_2$ , definiujący długotrwałą część obciążenia zmiennego. Dodatkowo, ugięcie końcowe wywołane oddziaływaniem pozostałych obciążeń zmiennych jest obliczane z uwzględnieniem współczynnika jednoczesności  $\psi_0$ . Oznacza to, że w przypadku obciążeń klimatycznych traktowanych jako drugie z obciążeń zmiennych, ugięcie końcowe  $u_{fin}$  będzie mniejsze (!) niż ugięcie doraźne. Dla obciążenia śniegiem  $u_{fin,i} = (0,5 + 0,2 \cdot 0,8)u_{inst,i} = 0,66 u_{inst,i}$ , zaś w przypadku obciążenia wiatrem  $u_{fin,i} = (0,6 + 0,0 \cdot 0,8)u_{inst,i} = 0,6 u_{inst,i}$ . Takie podejście wydaje się niezrozumiałe i być może jest to błąd edycyjny w normie PN-EN.

Różnice w wielkościach ugięć końcowych dla dźwigara dachowego, obliczonych na podstawie obu norm pojawiają się wyłącznie dla obciążenia śniegiem, co ilustruje Tabela 1.

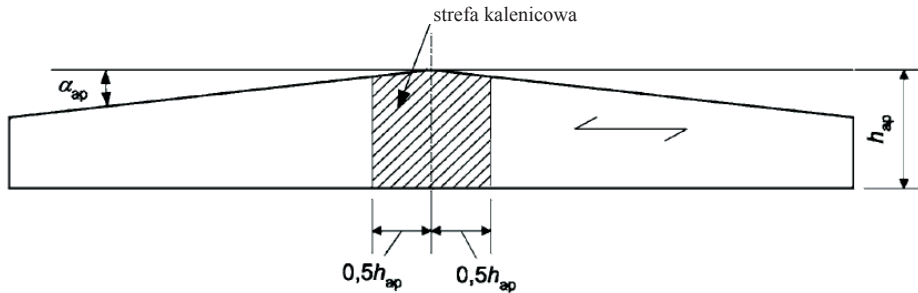
Tabela 1. Współczynniki wpływu pełzania na wielkość ugięcia.

Table 1. Coefficients of the creep, influencing the deflection.

	$k_{def}$ (PN-B)	$\psi_2 \cdot k_{def}$ (PN-EN)
obc. stałe	0,8	0,8
obc. śniegiem	0,25	$0,2 \cdot 0,8 = 0,16$
obc. wiatrem	0,0	0,0

## 3. Porównanie wyników obliczeń dźwigarów według PN-B oraz PN-EN

Obliczenia porównawcze przeprowadzono dla dźwigara dachowego o kształcie dwutrapezowym, jak na Rys. 1, dla trzech rozpiętości: 18 m, 21 m i 24 m.



Rys. 1. Dźwigar dwutrapezowy. Rysunek wg [3].

Fig. 1. Double tapered beam. Drawing after [3].

Do obliczeń przyjęto stałą szerokość przekroju wynoszącą 0,24 m, kąt pochylenia górnej połąci równy  $4^\circ$ . Założono klasę wytrzymałości drewna klejonego GL28 oraz lokalizację w Lublinie, co determinuje strefy klimatyczne. Przyjęto często stosowane dla tego typu konstrukcji przekrycie blachą trapezową opartą na płatwiach o przekroju 12x22 cm. Ze względu na niewielki kąt nachylenia połąci w obliczeniach pominięto obciążenie wiatrem, które w tym przypadku ma charakter odciążający.

Wymiary przekroju wszystkich dźwigarów projektowano ekonomicznie, tak aby przynajmniej jeden z warunków stanów granicznych wymienionych w p. 2.3 i 2.4 był spełniony z minimalnym tylko zapasem. Dla klarowności uzyskanych wyników pominięto w obliczeniach powiązanie wysokości przekroju z grubością lameli drewna klejonego, co jest zależne od konkretnego wykonawcy dźwigara.

Dla trzech rozpatrywanych długości dźwigara warunek ugięcia był decydujący, jednakże w zestawie norm PN-EN duże znaczenie odgrywają także naprężenia ścinające na podporze. Jest to efektem tego, iż w Eurokodzie 5, w warunku na ścinanie uwzględnia się efektywną szerokość przekroju, poprzez zastosowanie współczynnika zmniejszającego  $k_{cr}$ . W rozpatrywanych długościach dźwigara inne warunki SGN nie mają wpływu na dobór wymiarów elementu i ich wykorzystanie waha się od ok. 59% dla naprężeń w strefie kalenicowej, do ok. 76-80% dla naprężeń krawędziowych przy zginaniu dla górnej oraz dolnej krawędzi dźwigara. Naprężenia rozciągające prostopadłe do włókien w strefie kalenicowej zwiększają się wraz ze wzrostem rozpiętości dźwigara. Wyniki obliczone na podstawie obu norm, dla tej samej długości są zbliżone, a różnica nie przekracza 1%. Dla długości 18 m,  $\sigma_{t,90,d} = 65,5\%$ , dla 21 m ok. 70%, a dla 24 m ok. 73,3%.

Analizując wyniki przedstawione w Tabeli 2 widać, że projektowanie dźwigarów według zestawu norm Eurokod pozwoliło uzyskać nieco mniejsze przekroje, przy spełnieniu wszystkich warunków SGN oraz SGU, przy czym różnica zawiera się w przedziale 1,5 – 2 cm w zależności od rozpiętości dźwigara. Efektem tego może być bardziej oszczędne projektowanie (tzn. mniejsze przekroje, słabsza i tańsza klasa drewna) przy zastosowaniu PN-EN. Warto podkreślić, że w analizowanym przypadku, gdzie obciążenia stałe były stosunkowo niewielkie, nie ujawniły się znaczne różnice pomiędzy obiema normami w zakresie przyjmowanych wytrzymałości obliczeniowych, szerzej opisanych w p.2.2.

Jako wniosek końcowy można stwierdzić, że projektowanie na podstawie norm PN-EN pozwoli najprawdopodobniej na uzyskiwanie oszczędniejszych przekrojów dźwigarów dachowych z drewna klejonego.

Tabela 2. Wyniki obliczeń dźwigarów.  
Table 2. Calculation results of the beams.

Wykorzystanie warunków nośności						
$L=$	18 m		21 m		24 m	
	PN-B	PN-EN	PN-B	PN-EN	PN-B	PN-EN
Obciążenia charakterystyczne stałe na 1 mb dźwigara [kN/m]						
	3,176	3,156	3,377	3,357	3,578	3,552
Obciążenia charakterystyczne zmienne na 1 mb dźwigara [kN/m]						
	5,732	5,732	5,732	5,732	5,732	5,732
Obciążenia całkowite przypadające na dźwigar [kN/m]						
	12,131	12,219	12,353	12,450	12,574	12,674
Naprężenia krawędziowe przy zginaniu w dolnej krawędzi dźwigara						
$\sigma_{m.0.d}$	76,6%	77,0%	76,1%	76,1%	76,1%	76,5%
Naprężenia krawędziowe przy zginaniu na górnej krawędzi dźwigara						
$\sigma_{m.a.d}$	79,7%	80,1%	79,2%	79,2%	79,2%	79,6%
Naprężenia w strefie kalenicowej						
$\sigma_{m.a.d}$	59,6%	59,2%	59,6%	59,1%	59,9%	59,6%
Naprężenia rozciągające prostopadłe do włókien w strefie kalenicowej						
$\sigma_{t.90.d}$	65,8%	65,1%	70,3%	69,4%	74,7%	73,9%
Naprężenia ścinające na podporze						
$\tau_d$	65,4%	97,3%	65,3%	96,8%	65,6%	97,6%
Ugięcia końcowe						
$u_{fin}$	99,7%	100,0%	99,3%	99,2%	99,7%	100,0%
Wymiary dźwigara						
	podpora	podpora	podpora	podpora	podpora	podpora
	0,53 m	0,515 m	0,63 m	0,615 m	0,73 m	0,71 m
	kalenica	kalenica	kalenica	kalenica	kalenica	kalenica
	1,16 m	1,145 m	1,365 m	1,35 m	1,57 m	1,55 m
Objętość drewna / różnica objętości						
	3,650 m <sup>3</sup>	3,586 m <sup>3</sup>	5,027 m <sup>3</sup>	4,952 m <sup>3</sup>	6,624 m <sup>3</sup>	6,509 m <sup>3</sup>
	0,064 m <sup>3</sup>		0,075 m <sup>3</sup>		0,115 m <sup>3</sup>	

## Literatura

- [1] *Stosowanie Eurokodów w projektowaniu budynków*, Inżynier Budownictwa, 5 (2010), str. 14.
- [2] PN-B 03150:2000: *Konstrukcje drewniane – Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [3] PN-EN 1995-1-1: Eurokod 5. *Projektowanie konstrukcji drewnianych. Część 1-1: Postanowienia ogólne. Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków*.

- [4] Pawlikowski J., *Zasady ustalania obciążeń oraz obciążenia stałe i użytkowe według eurokodów*, XXVI Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2011.
- [5] PN-EN 1194:2000: *Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo. Klasy wytrzymałości i określenie wartości charakterystycznych*.

## **The consequences of the choice of design standards for the use of material on the example of glued laminated roof beam**

**Dariusz Czerski, Jerzy Szerafin**

*Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Architecture,  
Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin,  
e-mail: [dariusz.czerski@pollub.edu.pl](mailto:dariusz.czerski@pollub.edu.pl), e-mail: [j.szerafin@pollub.pl](mailto:j.szerafin@pollub.pl)*

**Abstract:** The consequence of the membership of Poland in the European Union is the unification of the law, including the adaptation of Polish Building Standards to the European equivalents. Actually the designer is allowed to choose the Standards. It follows the differences in material use and its cost. The paper describes the details of the calculation timber elements, specially glued laminated timber in Eurocodes. The calculations results of double tapered beams made of glued laminated timber obtained by using both standards, analyzes and conclusions are presented in the paper.

**Keywords:** Eurocodes, glued laminated timber, double tapered beam.