



## Technika CNC w prefabrykacji dachowych konstrukcji drewnianych

Wiesław Liszewski<sup>1</sup>

### STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono nowoczesne podejście przy projektowaniu i wykonywaniu prefabrykacji konstrukcji drewnianych z zastosowaniem tzw. podejścia mechatronicznego oraz techniki CNC w ujęciu optymalnych metod gospodarowania zasobami ludzkimi, materiałowymi i sprzętowymi. Dokonano analizy dotychczasowych metod wytwarzania konstrukcji drewnianych stanowiących szkielet nośny dla przekryć dachowych. Wykazano, że stosowanie zaawansowanych technik wytwarzania dachowych konstrukcji drewnianych przekłada się na większą trwałość obiektu w trakcie eksploatacji. Ponadto wydatnie wpływa na kosztowność realizacji inwestycji oraz ma decydujący wpływ na jakość prowadzonych procesów budowlano–materiałowych. W sposób jednoznaczny przekłada się to na trwałość i niezawodność dachowej konstrukcji drewnianej wznoszonych obiektów oraz ich żywotność i sprawność techniczną, bowiem eliminacja na tym etapie pierwotnych wad w późniejszym okresie obniża ewentualne koszty remontów oraz zabezpiecza inwestora przed nadmiernym spadkiem wartości nieruchomości.

### SŁOWA KLUCZOWE:

przetwarzanie surowców; optymalizacja procesów budowlanych; gospodarka zasobami

## 1. Wprowadzenie

W przestrzeń związaną z projektowaniem i realizacją procesu budowlanego w ostatnich latach dołączyły techniki cyfrowe, wykorzystujące oprogramowanie komputerowe w zakresie modelowania architektonicznego, konstrukcyjnego, ale również i produkcyjnego. Wprowadzone w latach pięćdziesiątych podejście mechatroniczne obecnie stanowi podstawę dla oszczędnej gospodarki zasobami ludzkimi, materiałowymi oraz sprzętowymi. W wyniku rozwoju badań, a tym samym wzrostu wydajności używanych maszyn i urządzeń w budownictwie, dokonano zmiany w podejściu globalnym postrzegania technologii procesów budowlanych i materiałowych. Aktualne jest dążenie do ograniczenia wykonywania robót na placu budowy i zatrzymania ich w miejscach produkcji stałej zajmujących się prefabrykacją. Tak samo jest z drewnianymi konstrukcjami dachowymi, które wykonuje się z użyciem maszyn skrawających CNC sterowanych komputerowo. W artykule zwrócono uwagę na niską świadomość techniczną uczestników procesu inwestycyjnego z punktu widzenia ograniczenia czynników produkcji kosztów bezpośrednich, w tym głównie przy wykonywaniu konstrukcji drewnianych.

## 2. Drewno jako materiał budowlany

### 2.1. Drewno

Jednym z najstarszych materiałów, jaki jest wykorzystywany do dnia dzisiejszego w budownictwie, jest drewno. Jest to wynik łatwości pozyskiwania oraz stosunkowo prostej obróbki

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 3, 42–218 Częstochowa, e-mail: wliszewski@bud.pcz.pl, orcid id: 0000-0002-3997-6436

mechanicznej. Na dzień dzisiejszy kluczowy jest prawidłowy dobór jakościowy wykorzystywanego materiału oraz podejścia z zakresu optymalnych nakładów produkcyjnych związanych z jego przetworzeniem.

Na jakość stosowanych produktów pochodnych przemysłu przetwórstwa drzewnego w budownictwie ma wpływ:

- prawidłowa ocena drzewa na etapie typowania do wycinki;
- miejsce pozyskania i prawidłowa klasyfikacja brakarska;
- sposób składowania i transportu;
- sposób suszenia;
- technika obróbki;
- technologia wbudowania.

## 2.2. Typowe konstrukcje dachowej więźby drewnianej

Na rodzaj przyjętej do realizacji konstrukcji dachowej ma wpływ wiele czynników związanych z uwarunkowaniami zewnętrznymi. Podstawowymi są:

- zapisy w decyzji o ustaleniu warunków zabudowy;
- zasady kształtowania zabudowy w oparciu o zapisy w Miejscowym Planie Zagospodarowania Przestrzennego;
- przyjęta w opracowaniu projektowym forma architektoniczna;
- przewidywane obciążenia uzależnione od zastosowanego pokrycia;
- sposób użytkowania obiektu;
- kosztowność wykonania.

W modelowaniu formy architektonicznej mającej wpływ na projekt konstrukcji więźby dachowej należy wyróżnić podstawowy podział związany z geometrią dachu. W budownictwie indywidualnym oraz przemysłowym wyróżnia się:

- dachy płaskie;
- dachy jednospadowe;
- dachy dwuspadowe lub dwupołaciowe;
- dachy wielospadowe lub wielopołaciowe;
- dachy kopertowe;
- dachy naczółkowe;
- dachy mansardowe.

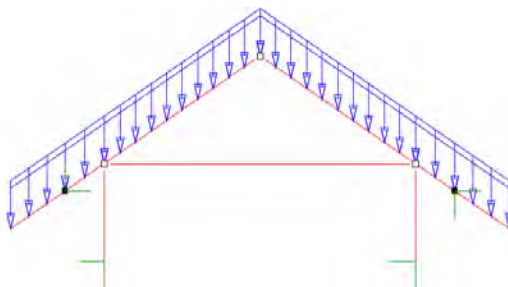
W zależności od rodzaju drewnianej konstrukcji więźby dachowej wyróżnić należy szkielety budowlane oparte na zastosowanych asortymentach rodzajowych elementów:

- więźby o drewnianej konstrukcji krokwiowej;
- więźby o drewnianej konstrukcji krokwiowo-jętkowej;
- więźby o drewnianej konstrukcji płatwiowej;
- więźby o drewnianej konstrukcji płatwiowo-kleszczowej;
- więźby dachowe wieszarowe i drewniane wiązary kratowe.

## 3. Modelowanie konstrukcji więźby dachowej i jej produkcja

### 3.1. Układ statyczno-wytrzymałościowy

Na podstawie przyjętych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych dokonuje się modelowania konstrukcji (rys. 1). Z uwagi na koszt samej konstrukcji, jak również całości dachu nie-dopuszczalny jest dobór przekrojów elementów nośnych na podstawie doświadczenia zawodowego. Rodzaj i wielkość zastosowanych przekrojów muszą być potwierdzone przeprowadzoną analizą statyczno-wytrzymałościową w oparciu o obowiązujące normatywy [1-4]. Obecnie w tym celu wykorzystywane jest oprogramowanie komputerowe wspomagające proces projektowy. Przykładem może być program Rama 3D/2D.



**Rys. 1.** Przykładowa geometria dla konstrukcji więźby dachowej z założonymi obciążeniami  
– obraz z oprogramowania Rama 3D/2D [opr. własne]

Po ustaleniu obciążeń oddziałujących na projektowaną konstrukcję wykonuje się szczegółową analizę dla poszczególnych elementów konstrukcji w oparciu o założone parametry geometryczne i fizyczne zastosowanego materiału (tab. 1).

**Tabela 1**

Przykładowe zestawienie założeń dla parametrów geometrycznych i cech fizycznych założonego materiału drewnianego – krokwi [opr. własne]

Nazwa	Krokiew – P160x80				
Parametry przekroju	$A = 128 \text{ cm}^2$				
	$J_x = 1874,94 \text{ cm}^4$	$J_y = 2730,67 \text{ cm}^4$	$J_z = 682,67 \text{ cm}^4$		
	$\alpha_{y-yg} = 0^\circ$	$J_{yg} = 2730,67 \text{ cm}^4$	$J_{zg} = 682,67 \text{ cm}^4$		
	$W_{y \max} = 341,33 \text{ cm}^3$		$W_{y \min} = 341,33 \text{ cm}^3$		
	$W_{z \max} = 170,67 \text{ cm}^3$		$W_{z \min} = 170,67 \text{ cm}^3$		
Materiał	Drewno Lite C27	$E = 11,5 \text{ GPa}$	$G = 0,72 \text{ GPa}$	Cięż. = $5,5 \text{ kN/m}^3$	

Wynikiem zakończenia prac wymiarowania jest ustalenie wielkości poszczególnych elementów konstrukcji w oparciu o dobór materiałowy. W tym momencie można rozpocząć przygotowanie produkcji.

### 3.2. Technologia CNC realizacji drewnianej więźby dachowej

Na przestrzeni lat technicznym dążeniem ludzkości było wprowadzenie w życie rozwiązań mających na celu efektywne wykorzystanie zasobów gospodarczych. Począwszy od wprowadzenia linii produkcyjnej poprzez budowanie modeli sieciowych, w sposób płynny zastępowano pracę ludzkich rąk zabiegami związanymi z mechanizacją. Zaczęto rozpatrywanie procesów produkcyjnych z perspektywy ekonomicznych działań mających na celu optymalne wykorzystanie wszystkich składowych cenotwórczych ograniczających zużycie materiałowe, techniczne i energetyczne. Tak samo dzieje się w budownictwie [5]. Wszechobecna cyfryzacja umożliwia w aktualnym stanie wiedzy skrócenie czasu w zakresie prac przygotowawczych koncepcyjnych i projektowych, jak również w zakresie prowadzonego cyklu produkcyjnego. W przygotowaniu konstrukcji więźby dachowej ma ona również decydujący wpływ [6]. Niestety, stwierdzić należy, że w omawianym zakresie gospodarka materiałowa związana z drewnianymi elementami konstrukcyjnymi na należyłym poziomie funkcjonuje jedynie w zakresie drewnianych wiązarów kratowych [7].

Wnioskować należy, że dzieje się tak z uwagi na odbiorcę tych elementów i rodzaj obiektów docelowego wbudowania, takich jak obiekty handlowe i przemysłowe, tj. tam, gdzie tempo realizacji ma decydujący wpływ na możliwość rozpoczęcia użytkowania obiektu. Inaczej jest w przestrzeni budownictwa jednorodzinnego, gdzie przygotowanie elementów konstrukcji drewnianej więźby dachowej odbywa się bezpośrednio na placu budowy, często z materiału

powierzonego przez inwestora. Sytuacja taka powoduje wzrost kosztów produkcji, obniżenie jakości oraz niejednokrotnie brak należytej kontroli.

Mając świadomość późniejszych konsekwencji trwałości eksploatacyjnej, obniżenie żywotności elementów wbudowanych i skomplikowanej oceny, a czasami niemożliwej oceny elementów, należy zmienić dotychczasowe stereotypy prowadzenia inwestycji w oparciu o systemy gospodarcze.

Biorąc pod uwagę wartość całej przegrody budowlanej, jaką jest dach, należy sam element więźby dachowej traktować jako bardzo ważny element konstrukcyjny, tak samo jak konstrukcje murowe czy żelbetowe, i utrzymywać dla niego najwyższy poziom techniczny [8].

W tym celu należy upowszechnić nowoczesne technologie modelowania konstrukcji w stosownym oprogramowaniu kompatybilnym z urządzeniami do obróbki w technologii CNC. Przykładem może być program SEMA Experience, który w pakiecie możliwości zawiera przestrzenne projektowanie konstrukcji drewnianych, takich jak: więźby dachowe, domy z bali drewnianych, domy szkieletowe, wiaty, zadaszenia itp. Na podstawie przygotowanego modelu trójwymiarowego opracowanego w oparciu o przyjętą geometrię poddaną analizie statyczno-wytrzymałościowej można rozpocząć produkcję wybranej konstrukcji drewnianej.



**Rys. 2.** Montaż więźby dachowej wykonanej z użyciem techniki CNC. Na fotografii widoczne podcięcia pod płatwie, gniazda dla krokwi [fot. autor]

W sposób niebudzący wątpliwości stwierdzić należy, że w celu zapewnienia odpowiedniego reżimu technologicznego, prawidłowości doboru materiałowego, prowadzenia inwestycji w sposób oszczędny i najbardziej efektywny w zakresie zużycia pracy ludzkiej maszyn i urządzeń, alternatywą dla nieekonomicznych rozwiązań jest zastosowanie komputerowo sterowanych urządzeń numerycznych CNC (Computerized Numerical Control). Drewno podlega obróbce na komputerowo sterowanych obrabiarkach mechanicznych. Dzięki temu elementy dostają ostateczne kształty i należy traktować je jak element prefabrykowany do bezpośredniej zabudowy bez konieczności wykonywania dodatkowych czynności na placu budowy. Takie elementy mogą być wyposażone w prawidłowe złącza rodzaju ciesielskiego, podcięcia, frezowania, a nawet otwory pod łączniki stalowe. Podejście takie powoduje możliwość prefabrykacji całej konstrukcji w warunkach warsztatowych, a czynności na placu budowy ograniczone zostają do prac montażowych (rys. 2). Ponadto elementy te mogą być poddane prawidłowej impregnacji bez wystąpienia późniejszego zagrożenie dla wykonanego zabezpieczenia. Możliwości CNC można wykorzystywać również w zakresie budowy z uwzględnieniem jej do wykonywania elementów architektonicznych zdobniczych [9].

#### 4. Wnioski

Prawidłowo prowadzona inwestycja budowlana powinna opierać się na wielowątkowej analizie, dokonywanej przez projektanta, założeń do dokumentacji projektowej, na które mają wpływ: rodzaj obiektu, rozwiązania architektoniczne, rozpiętości konstrukcyjne, lokalizacja i uwarunkowania klimatyczne. Jednak finalnie o przyjętej do realizacji konstrukcji decyduje inwestor i kierownik budowy. Zatem, to na etapie realizacji znajomość technologii wznoszenia obiektów budowlanych ma wpływ na uwzględnienie nowoczesnych metod prowadzenia robót w oparciu o techniki rozwiązań, takie jak obróbka mechaniczna maszynami CNC sterowanymi komputerowo. Takie podejście ma decydujący wpływ na jakość prowadzonych procesów budowlano-materiałowych, trwałość i niezawodność konstrukcji obiektów, żywotność i sprawność techniczną oraz obniża koszty produkcji budowlanej. Eliminacja na tym etapie pierwotnych wad w późniejszym okresie obniża ewentualne koszty remontów bieżących i głównych oraz zabezpiecza inwestora przed nadmiernym spadkiem wartości nieruchomości.

#### Literatura

- [1] PN-EN 1995-1-1:2010 Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych.
- [2] PN-B-03150-00:1981. Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych – Obliczenia statyczne i projektowanie. 0. Postanowienia ogólne. 1. Materiały. 2. Konstrukcje. 3. Złącza.
- [3] PN-B-03150:2000. Konstrukcje drewniane – Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [4] Major M., Minda I., Zastosowanie technologii druku przestrzennego w budownictwie, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2016, seria Budownictwo 22, 238–247.
- [5] Technologia i zarządzanie w budownictwie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- [6] Major M., Major I., Współczesne drewniane więzary kratowe – technologia Mitek, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2015, seria Budownictwo 21, 211–217.
- [7] Major M., Major I., Dachowe więzary kratowe – ekonomiczne rozwiązanie współczesnych więźb dachowych, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2012, 1(9), 68–76.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002, Nr 75 poz. 690 (tekst jednolity Dz.U. 2015 poz. 1422).
- [9] Major M., Różycka J., Łączniki stalowe w konstrukcjach drewnianych, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 2013, seria Budownictwo 19, 107–114.

### CNC technology in prefabricated wooden roof construction

#### ABSTRACT:

The article presents a modern approach in the design and implementation of prefabrication of wooden structures with the use of the so-called mechatronic approach and CNC techniques taking into account the optimal methods of managing human, material and hardware resources. An analysis of the existing methods of wooden structures manufacturing which are a support framework for roofs has been made. It has been shown that the use of advanced techniques for the production of wooden roofs translates into greater durability of the facility during exploitation. In addition, it greatly affects the cost of the investment and has a decisive impact on the quality of construction and material processes. This clearly translates into the durability and reliability of the wooden roof structure of the erected objects and its lifespan and technical efficiency, because the elimination of the original defects at this stage, later reduces the possible costs of repairs and protects the investor from excessive property value decrease.

#### KEYWORDS:

processing of raw materials; optimization of construction processes; resource management