

## KSZTAŁTOWANIE I WYKONAWSTWO BUDYNKÓW W KONSTRUKCJI LEKKIEGO SZKIELETU DREWNIANEGO

Mikołaj MALESZA, Czesław MIEDZIAŁOWSKI\*, Jarosław MALESZA

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące kształtowania, analiz statycznych i wykonawstwa budynków w konstrukcji lekkiego szkieletu drewnianego. Zaprezentowano rodzaje konstrukcji powiązanej z technologią realizacji budynków. Następnie podano kierunki modelowania statycznego konstrukcji z przykładową analizą badanego w skali naturalnej budynku. W drugiej części pracy przedstawiono metody produkcji i realizacji tego typu budynków, zarówno wytwarzanych fabrycznie, jak i bezpośrednio na budowie, wraz z przykładami z praktyki.

**Słowa kluczowe:** szkieletowe budynki drewniane, projektowanie, wytwarzanie, realizacja.

### 1. Wstęp

Budynki o szkielecie drewnianym mogą być realizowane w postaci prefabrykatów wielkowymiarowych (ściany, stropy, dach) lub bezpośrednio na budowie z wcześniej przygotowanych pojedynczych elementów jak słupki, belki, nadproża, podwaliny, oczepy, krokwie. Obecnie coraz częściej realizuje się budynki z prefabrykatów wielkowymiarowych, dzięki czemu uzyskuje się krótszy cykl pracy na budowie i lepszą jakość przygotowanych fabrycznie prefabrykatów. Z konstrukcyjnego punktu widzenia najbardziej wrażliwym elementem są tu połączenia wykonywane na placu budowy (Breyer, 1993; Schulze, 1996).

Zapewnienie właściwego poziomu bezpieczeństwa oczekiwanego przez użytkowników budynków staje się w tym przypadku szczególnie istotne. Poznanie zachowań i odpowiedzi konstrukcji jest również niezbędne dla rozważań takich jak kontrola uszkodzeń, na przykład między elementowych połączeń czy wpływ czasu użytkowania. Rozwój szkieletowego budownictwa drewnianego wymaga rozwoju i opracowywania zaawansowanych i ulepszonych narzędzi projektowych opartych na dokładniejszym poznaniu odpowiedzi na naturalne obciążenia (w tym i wyjątkowe) konstrukcji całego budynku. Takie narzędzia projektowe powinny być analitycznie poprawne i stosunkowo proste dla zwykłego uczestnika projektowania (Holzrahmenbau, 1992; Miedziałowski i Malesza, 2006; Uniform Building Code, 1991).

Szkieletowe budynki drewniane cechują się bardziej nierównomierną deformacją przestrzennej konstrukcji aniżeli budynki wykonane z betonu czy też murowane ze stropami płytowymi lub nawet gęstożebrowymi (Lewicki, 1979; Mielczarek, 2001). W ich analizie nie znajduje zastosowania założenie o nieskończonej sztywności stropu w jego płaszczyźnie. Ważną rolę w pracy statycznej szkieletowych konstrukcji drewnianych odgrywają podatne połączenia. Stąd wielość modeli obliczeniowych o różnym stopniu odwzorowania rzeczywistej pracy konstrukcji, co ma znaczenie dla wiarygodności uzyskanych wyników.

W referacie przedstawione zostaną i porównane wyniki analizy statycznej szkieletowych budynków drewnianych przy zastosowaniu modeli o różnej dokładności odwzorowania.

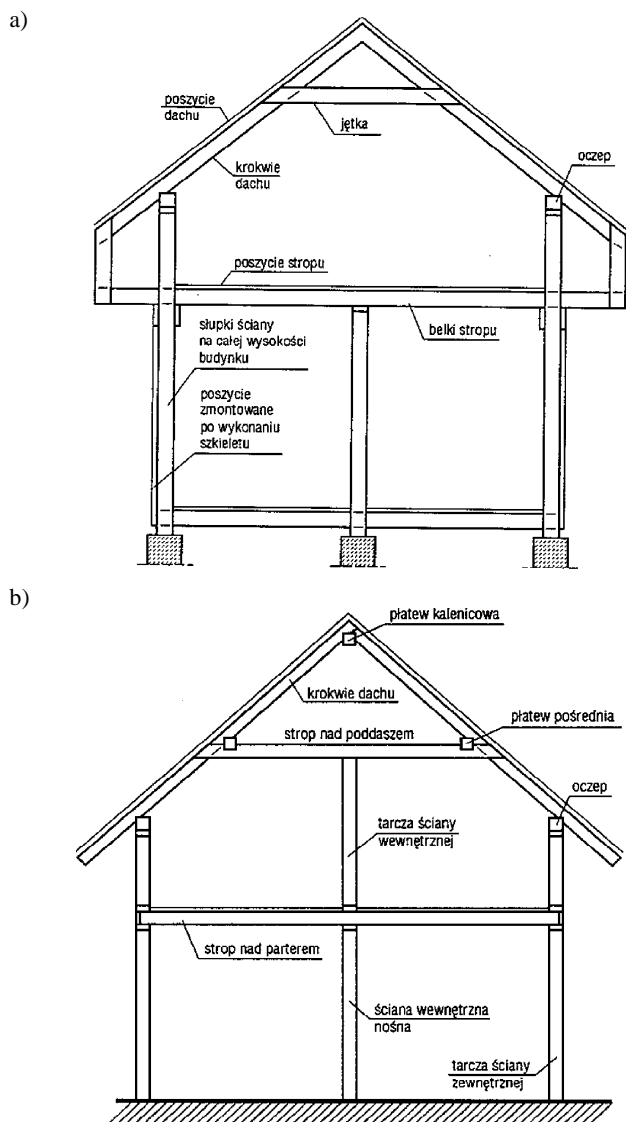
Zostaną przedstawione również przykłady produkcji elementów budynków i realizacji tego typu budynków w praktyce.

### 2. Kształtowanie budynków w technologii lekkiego szkieletu drewnianego

Z uwagi na ukształtowanie elementów nośnych wyróżnia się dwa rodzaje konstrukcji, a tym samym i dwie technologie wznoszenia budynków:

- a) system przelotowy (ang. *baloon framing*), w którym słupki ścian są wykonane od podwaliny do najwyższego oczepu (rys. 1);

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: cz.miedzialowski@kmb.pb.edu.pl



Rys. 1. Rodzaje konstrukcji i technologii realizacji budynków: a) budynek w systemie przelotowym, b) budynek w systemie platformowym

b) system platformowy (ang. *platform framing*), to jest z płaszczyzną roboczą, w którym stropy niższej kondygnacji stanowią platformę roboczą kondygnacji wyższej. System ten umożliwia w większym stopniu prefabrykowanie fragmentów budynku przed montażem.

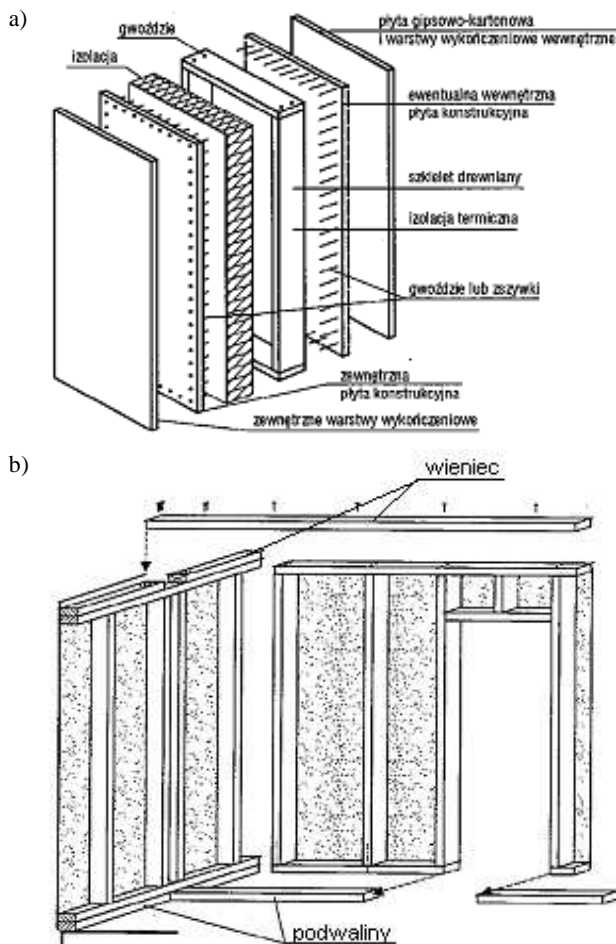
Jeżeli chodzi o wielkość prefabrykatów, to można wyróżnić budynki z tarczami ściennymi drobno- i wielkowymi.

Posadowienie budynków ze szkieletem drewnianym nie różni się w sposób istotny od posadowienia budynków o innych rozwiązaniach konstrukcyjno-materiałowych, z tym że przy szkielecie drewnianym należy uwzględnić następujące dodatkowe czynniki:

- ze względu na lekkość konstrukcji budynków ze szkieletem drewnianym wymagane są odpowiednie zakotwienia w fundamentach;
- wrażliwość drewna na zmienne warunki wilgotnościowe, możliwość wystąpienia korozji biologicznej wymaga starannego zaprojektowania

izolacji przeciwwilgotnościowych, odpowiednio wysokiego posadowienia i zapewnienia możliwości osychania drewna (w szczególności podwalin i belek stropowych).

Konstrukcje dachowe mogą być typu krokwiowego, ze ścianką kolankową i bez tej ścianki, oraz typu dźwigarowego. Przykład warstw w konstrukcji płyty ściennej pokazano na rysunku 2a, a połączenie sąsiednich ścian na rysunku 2b:



Rys. 2. Przykładowe konstrukcje ścian: a) konstrukcja jednopolewej płyty ściennej, b) połączenie sąsiednich ścian wieńcem

Ponadto w kształtowaniu budynków w technologii lekkiego szkieletu drewnianego należy wziąć pod uwagę wpływ czasu w postaci: zjawisk reologicznych, degradacji właściwości materiałowych oraz wpływ zmian wilgotności i temperatury.

### 3. Modelowanie konstrukcji budynków

Przestrzenne konstrukcje budynków mogą być modelowane w sposób przybliżony jako układy jednowymiarowe (belkowe) lub płaskie ze sprężystymi podporami. Sprężyste podpory uwzględniają podatność ścian. Udokładnione modele opisują konstrukcję budynku w postaci przestrzennych układów belkowych lub przestrzennych układów tarczowo-płytkowych

(Miedziałowski i Malesza, 2006; Schulze, 1996). Belki, płyty lub tarcze czy powłoki opisują dokładnie położenie i właściwości tych elementów lub w sposób uśredniony (zastępczy). Pierwszy sposób prowadzi zazwyczaj do bardzo dużej liczby niewiadomych, a sposób drugi pozwala na zmniejszenie wielkości zadania obliczeniowego.

Rysunek 3 przedstawia budynek, który był badany w skali naturalnej oraz analizowany z zastosowaniem trzech modeli obliczeniowych, o różnym stopniu złożoności (Malesza i in., 2007).



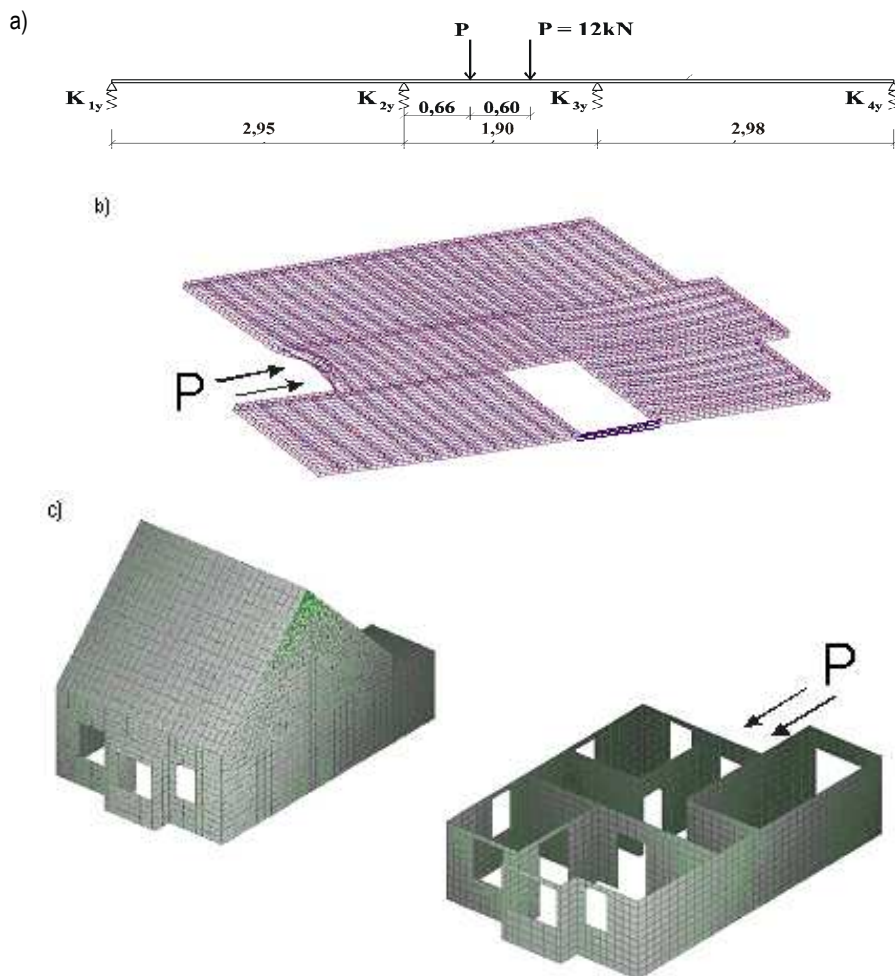
Rys. 3. Badany budynek

Konstrukcję budynku stanowi szkielet drewniany z poszyciem z płyt wiórowych typu OSB. Ściany wykonano ze słupków z drewna klasy C24 o przekroju  $50 \times 150$  mm z poszyciem grubości 12 mm. Budynek zaprojektowano w konstrukcji prefabrykowanej, płytowo-tarczowej.

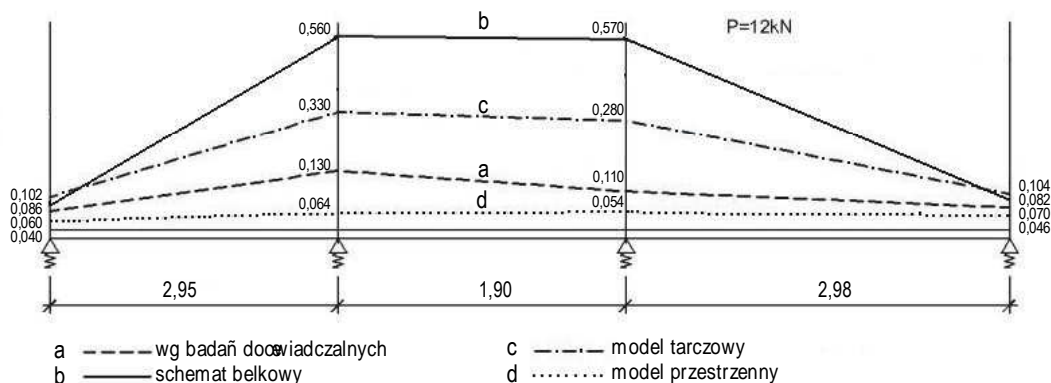
Analizy obliczeniowe przeprowadzono dla następujących modeli: belka na sprężystych podporach, tarcza podparta sprężystością i przestrzenny układ dyskretny. Przyjęte modele obliczeniowe przedstawiono na rysunku 4:

- belka na sprężystych podporach, usytuowana prostopadle do kierunku działania obciążenia o zastępczej sztywności  $EJ = 115300 \text{ kNm}^2$ ; współczynniki sztywności podpór  $K = P / \delta$  przyjęto na podstawie badań ścian w skali naturalnej;
- tarcza w poziomie stropu nad parterem podparta sprężystością; jednostkowe wzdłuż krawędzi, współczynniki sztywności podpór również przyjęto z badań doświadczalnych tarcz ściennych jako  $k = K / l$ ;
- przestrzenny układ dyskretny opisany za pomocą metody elementów skończonych.

Do opisu przyjęto elementy powłokowe o zastępczych sztywnościach, obliczonych z warunku równych przemieszczeń.



Rys. 4. Modele obliczeniowe konstrukcji budynku: a) belkowy, b) tarczowy, c) przestrzenny



Rys. 5. Porównanie deformacji poziomych stropu nad parterem uzyskanych z badań i dla analizowanych schematów statycznych

Zestawienie deformacji budynku uzyskane z badań i z obliczeń analitycznych pokazano na rysunku 5.

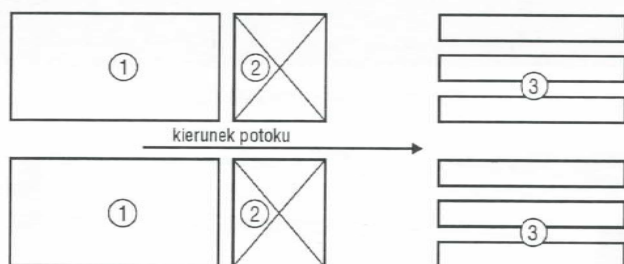
Część linii ze stanowiskami poziomymi pokazano na rysunku 7a, a ze stanowiskami pionowymi – na rysunku 7b.

#### 4. Produkcja i realizacja budynków

Jak podano wyżej, budynki w szkielecie drewnianym można wykonywać z prefabrykatów wielkowymiarowych (ściany, stropy, dach) lub bezpośrednio na budowie z wcześniej przygotowanych pojedynczych elementów, takich jak słupki, belki, nadproża, podwaliny, oczepy, krokwie (Miedziałowski i Malesza, 2006). Jak podano na wstępie obecnie coraz częściej realizuje się budynki z prefabrykatów wielkowymiarowych.

Powstały specjalistyczne linie lub całe zakłady prefabrykacji elementów składowych budynków. Zasady organizacji pracy w tych zakładach opierają się na metodzie potokowej, na metodzie stacjonarnej lub metodach mieszanych. W metodzie potokowej produkcja odbywa się na zasadzie przechodzenia kolejno uzupełnianych elementów przez szereg stanowisk roboczych. Na kolejnych stanowiskach wykonuje się poszczególne operacje robocze kompletujące element.

Operacje na poszczególnych stanowiskach wykonywane są w pozycji poziomej, szczególnie w pierwszej fazie kompletowania szkieletu nośnego a następnie w pozycji pionowej w fazie wykończenia elementu. Schemat metody potokowej przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat metody potokowej: 1 – stół do kompletowania szkieletu drewnianego, ułożenia ocieplenia i montażu poszycia, 2 – stół uchylny do zmiany położenia elementu, 3 – regały pionowe do montażu stolarki i robót wykończeniowych

a)



b)



Rys. 7. Stanowiska produkcyjne: a) poziome potokowej linii produkcyjnej, b) regały pionowe potokowej linii produkcyjnej

W metodzie stacjonarnej produkcja odbywa się na jednym stanowisku, gdzie wykonuje się wszystkie operacje. Stanowiska mogą być poziome lub uchylny.

Wyprodukowane w zakładzie elementy transportowane są na budowę i tam bezpośrednio ze środków transportowych wbudowywane w sposób pokazany na rysunku 8.



Rys. 8. Montaż budynku z elementów prefabrykowanych bezpośrednio ze środków transportowych

Kiedy realizacja budynku odbywa się bezpośrednio na budowie, pojedyncze elementy powinny być dostarczone z wytwórni w stanie przygotowanym wymiarowo i zaimpregnowane przeciwko korozji biologicznej. Ważne jest aby ewentualnych pasowań i związanych z tym cięć elementów konstrukcji było na budowie możliwie najmniej.

Przykład realizowanego obiektu bezpośrednio na budowie pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Realizacja budynku z pojedynczych elementów liniowych bezpośrednio na budowie

## 5. Podsumowanie

Przedstawione w pracy zagadnienia obejmują problemy kształtowania, analiz statycznych i realizacji budynków w konstrukcji lekkiego szkieletu drewnianego. Z uwagi na specyfikę tego rodzaju konstrukcji zarówno w fazie realizacji jak i eksploatacji wszystkie zagadnienia powinny być traktowane łącznie. Szczególną uwagę należy zwrócić na lekkość oraz na podatność na deformacje tego typu budynków, a także na ich wrażliwość na wpływy atmosferyczne, palność itd. Ważnym zagadnieniem jest w tej sytuacji dobór właściwych modeli obliczeniowych konstrukcji jak też modeli procesów ciepło-wilgotnościowych. W związku ze stosowaniem w coraz większym stopniu prefabrykacji, dodatkowym problemem jest zapewnienie takiej jakości montażu na budowie, aby był on porównywalny do jakości wyprodukowanych fabrycznie elementów składowych budynku.

## Literatura

- Breyer D. E. (1993). Design of Wood Structures. *Mc Graw-Hill, Inc.* Third Edition.
- Holzrahmenbau Teil I (1992). Bund Deutcher Zimmermeister. *Z. Auflage*, Karlsruhe.
- Lewicki B. (1979). Budynki wznoszone metodami uprzemysłowionymi. *Arkady*, Warszawa.
- Malesza M., Miedziałowski Cz., Chyży T. (2007). Modelowanie płaskich i przestrzennych konstrukcji szkieletowych budynków drewnianych z weryfikacją doświadczalną.

- W: Materiały LIII Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, *Problemy naukowo-badawcze budownictwa, T. 2, Krynica*.
- Miedziałowski Cz., Malesza M. (2006). Budynki o szkielecie drewnianym z poszyciem. Podstawy mechaniki konstrukcji oraz zagadnienia konstruowania i realizacji. PAN, Warszawa-Białystok.
- Mielczarek Z. (2001). Nowoczesne konstrukcje w budownictwie ogólnym. *Arkady*, Warszawa.
- Uniform Building Code (1991). *Edition*, USA.
- Schulze H. (1996). *Holzbau, Wände-Decken-Dächer. B. G. Teubner*, Stuttgart.

#### **BUILDINGS IN THE LIGHT WOOD-FRAMED TECHNOLOGY FORMATION AND CONSTRUCTION**

**Abstract:** Selected problems of formation, static analysis and construction of buildings in the light wood-framed technology are presented in the paper. Paper presents different methods corresponding to technologies of construction of the wood-framed with sheathing buildings. Modern directions and tendencies in modelling of the wood-framed structures and an exemplified analysis of investigated in natural scale building are also included in the paper. The second part of the paper presents methods of building production and assembling in the form of traditional element-to-element setting as well as the method of the large panel industrially manufactured and then assembled on the site, creating whole building structures.