

Inżynieria produkcji domów ze szkieletem drewnianym

Mikołaj Malesza

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Katedra Konstrukcji Budowlanych
e-mail: m.malesza@wp.pl

Czesław Miedziałowski

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Katedra Mechaniki Konstrukcji
e-mail: c.miedzialowski@pb.edu.pl

Jarosław Malesza

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Katedra Mechaniki Konstrukcji
e-mail: j.malesza@pb.edu.pl

DOI: 10.12846/j.em.2015.01.17

Streszczenie

W artykule przedstawiono specyfikę, a także systematykę faz produkcji, realizacji i użytkowania domów ze szkieletem drewnianym. Zastosowano praktyczno-teoretyczną metodykę badawczą, czyli praktyczną identyfikację faz i procesów oraz teoretyczny opis deformacji domów w trakcie użytkowania. Uzyskane rezultaty badawcze zobrazowano w formie schematów technologicznych i statycznych budynków oraz algorytmów obliczeniowych. Podano praktyczną systematykę faz realizacji budynków, zagrożenia i problemy techniczno-technologiczne oraz sposób obliczania deformacji pionowych.

Słowa kluczowe

konstrukcje drewniane, budownictwo szkieletowe, budownictwo modułowe, fazy realizacji, deformacje

Wstęp

Budynki o lekkim szkielecie drewnianym stanowią w wielu krajach znaczącą część realizowanych obiektów budownictwa mieszkalnego o zabudowie jednorodzinnej i wielorodzinnej oraz budownictwa usługowo-handlowego. Transformacja ustrojowa w Polsce wymusiła wzrost zainteresowania oszczędzaniem energii. Szukano tych oszczędności w budownictwie. Wynikiem poszukiwań są między innymi konstrukcje budynków o szkielecie drewnianym, które w wielu krajach uznawane są nie tylko za energooszczędne, ale i najbardziej ekologicznych. Budynki te powszechnie są stosowane w USA, Kanadzie i wielu krajach skandynawskich, jak również w Australii i Japonii. Ostatnio ten rodzaj budownictwa rozwija się również w Niemczech i Austrii. Drewno stosowane w konstrukcjach szkieletowych budynków drewnianych jest materiałem odnawialnym, pod warunkiem, że gospodarkę zasobami leśnymi prowadzi się zgodnie nie tylko z regułami ekonomii, ale także z zachowaniem działań proekologicznych. W krajach zawansowanych technologicznie około 47% produkcji materiałów stosowanych w budownictwie mieszkaniowym opiera się na drewnie i jego pochodnych, a na ich wytwarzanie zużywa się tylko 4% całej energii zużytej na wytworzenie wszystkich wyrobów budowlanych (Malesza, Miedziałowski, 2011). Wybór drewna jako materiału budowlanego i konstrukcyjnego jest więc uzasadniony. W artykule zostanie przedstawiona specyfika realizacji tego typu budynków, fazy ich powstawania oraz deformacje w trakcie użytkowania.

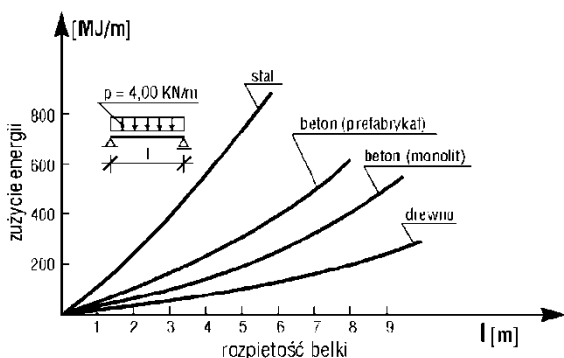
1. Drewno i jego rola w budownictwie

Drewno od początku dziejów człowieka jest znanym i powszechnie stosowanym materiałem budowlanym. Jest to jeden z najdoskonalszych pod względem konstrukcyjnym i zdrowotnym materiał budowlany pod każdą szerokością geograficzną, stosowany szczególnie w budownictwie mieszkaniowym i ogólnym. Nowe możliwości technologiczne użycia niższych klas drewna, rozwój produkcji materiałów drewnopochodnych pozwalających na wykorzystanie odpadów, drewna niekonstrukcyjnego, na przykład pochodzącego z wiatrołomów, stosowanie różnej formy drewna klejonego, rozszerzyły znacznie możliwości wykorzystania drewna jako materiału konstrukcyjnego.

W przeciwieństwie do betonu, parametry drewna w stosunku do ciężaru własnego, szybkość wznoszenia konstrukcji, szczególnie przy zastosowaniu współczesnych technologii, okres trwałości nieodbiegający od innych materiałów przy zacho-

waniu wymagań w zakresie utrzymania budowli, wreszcie szybki demontaż i utylizacja po rozbiórce czynią ten rodzaj budownictwa coraz powszechniejszym. Zapoczątkowany w Polsce w latach siedemdziesiątych XX wieku rozwój uprzemysłowionego budownictwa drewnianego został zahamowany w latach osiemdziesiątych, ale już na początku lat dziewięćdziesiątych otrzymał nowy impuls i stale się rozwija. Stosowane są najczęściej konstrukcje elementów szkieletowo-płytowe, ale coraz szerzej wchodzi na rynek elementy typu płytowo-tarczowego i przestrzenne trójwymiarowe typu modułowego. Budynki tego typu są obecnie stosowane do wysokości czterech kondygnacji w budownictwie wielorodzinnym i użyteczności publicznej.

Mały ciężar własny konstrukcji szkieletowych drewnianych zawierający się w granicach $0,30 \div 1,00 \text{ kN/m}^2$ i jego korzystna proporcja w stosunku do przenoszonych obciążeń użytkowych (Miedziałowski, Malesza, 2006) zwiększa efekt energooszczędności o czynnik zmniejszania zużycia energii w trakcie realizacji budynku. Porównanie energochłonności konstrukcji belkowych z różnych materiałów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wpływ rodzaju materiału na energochłonność konstrukcji belkowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie (American ...).

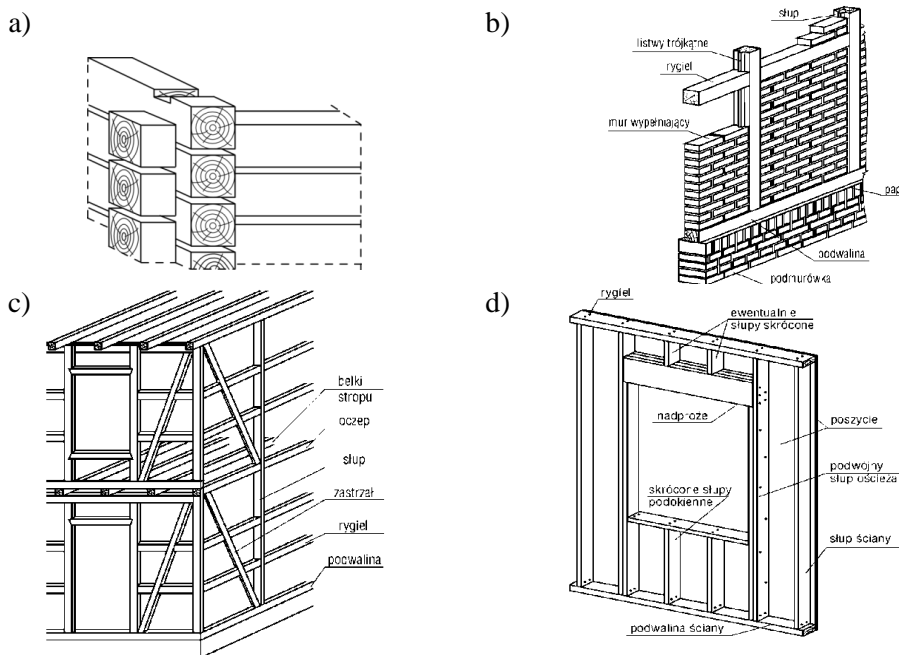
Pewnym miernikiem energooszczędności jest również uzyskiwana wielkość współczynnika przenikania ciepła u dla przegród pionowych i dachów. W budynkach o lekkim szkielecie drewnianym współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne kształtuje się w granicach $0,15 \div 0,30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, (Miedziałowski, Malesza, 2006).

Lekkość tego typu konstrukcji umożliwia ich pełną prefabrykację, a więc fabryczne wykonawstwo elementów ścian, stropów i dachu, co wydatnie poprawia jakość wykonania konstrukcji i skraca czas realizacji budynków. Ponadto umożliwia produkcję masową i wdrażanie nowych rozwiązań konstrukcyjno-technologicznych.

Ważnym czynnikiem jest stabilizacja pracowników i możliwość ciągłego podnoszenia ich kwalifikacji. Asortyment i różnorodność produkcji fabrycznej drewnianych szkieletowych elementów wielkowymiarowych nie wymaga pracochłonnych procesów i skomplikowanych form lub deskowań, niezbędnych w żelbetowych konstrukcjach szkieletowych lub ścianowych.

2. Rodzaje budynków i systemów o konstrukcji drewnianej

Najbardziej znanymi są budynki ze ścianami o konstrukcji wieńcowej lub dyłowej – rys. 2a, ze ścianami szkieletowymi wypełnionymi cegłą lub bloczkami (mur pruski) – rys. 2b, ze ścianami szkieletowo – ryglowymi i ze stężeniami ukośnymi w postaci zastrzałów rys. 2c oraz ze ścianami szkieletowymi i stężącym poszyciem – rys. 2d (Malesza, Miedziałowski, 2011).



Rys. 2. Rodzaje konstrukcji budynków drewnianych: a) dyłowa, b) mur pruski, c) szkieletowa z zastrzałami, d) szkieletowa z poszyciem

Źródło: opracowanie własne (Miedziałowski, Malesza, 2006).

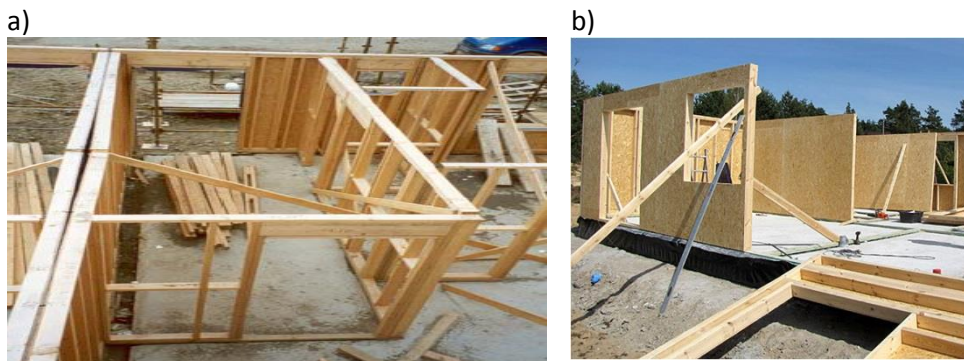
Obecnie realizuje się głównie budynki o konstrukcji szkieletowej z poszyciem, które okazały się najbardziej ekonomiczne, elastyczne w kształtowaniu i technologiczne. Będą one przedmiotem dalszej treści pracy.

Opracowuje się całe systemy konstrukcyjno-technologiczne tego typu budownictwa. Można je podzielić na trzy grupy:

- system budownictwa szkieletowego liniowego (wykonywanie konstrukcji na budowie z poszczególnych elementów: słupki, rygle, belki, krokwie, poszycie);
- system budownictwa z prefabrykatów płaskich (płyty ścienne, stropowe, dachowe), płytowych;
- system budownictwa z prefabrykatów przestrzennych, modułowych.

W Polsce produkowane były w przeszłości prefabrykaty płaskie pod nazwą Stalbud, Namysłów, Sępólno, Mikołajki.

Rosnące zapotrzebowanie na tego typu budynki z uwagi na ich praktyczną energooszczędność i możliwość swobodnego kształtowania jak również dążenie do skrócenia czasu realizacji budowy prowadzi do uprzemysłowienia wykonawstwa poprzez fabryczną realizację konstrukcji płyt ściennych, stropowych i dachów. W obecnych technologiach prowadzi do produkcji niemal całkowicie wykończonych elementów, transportowanych następnie i montowanych na budowie. Budynki realizowane w systemach liniowym i płytowym przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Budynek zrealizowany w technologii: a) liniowej, b) płytowej

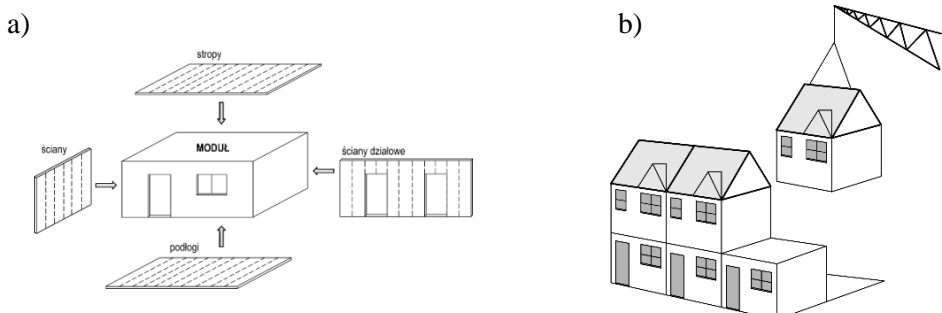
Źródło: (Lider budowlany ..., 2015).

Przemysłowa produkcja płyt ściennych, stropowych i elementów konstrukcji dachu (Karacabeyli, Desjardins, 2011; Schickhofer, Thiel, 2011; Gagnon, 2011; Asso-

cierede, 2001) wymaga przestrzegania reżimów technologicznych, które bardzo często w technologii tradycyjnej realizacji schodzą na plan dalszy, co niekorzystnie odbija się na trwałości i niezawodności konstrukcji i całego budynku zgodnie z wymaganiami PN-EN 1990 wymaga 50-letniego okresu użytkowania budynku przy zachowaniu klasy konsekwencji zniszczenia CC2 i klasy niezawodności RC2 i związanych z nią elementów inspekcji przy realizacji oraz wskaźnika niezawodności $\beta = 3,8$ dla stanu granicznego nośności. Narzuca to bardzo rygorystyczne wymagania zarówno w zakresie stosowanych materiałów, rozwiązań projektowych oraz zgodności rozwiązań z projektem w trakcie realizacji. Te wymagania mogą być zachowane tylko w warunkach przemysłowej produkcji w zakładzie spełniającym wymogi kontrolne.

Istnieje jednak część procesów, które muszą być technologicznie zrealizowane na budowie. Są to głównie połączenia między-elementowe typu ściana-ściana, ściana-strop i ściana-dach i ściana-fundament (Mohammad, 2006; NAHB, 2002). Poprawność zaprojektowania i realizacji na budowie decyduje o trwałości i niezawodności konstrukcji całego budynku; szczególnie uwzględniając efekt wysychania drewna w trakcie eksploatacji i zmniejszania (skurczu) przekroju a w następstwie powstawanie luzów technologicznych i dodatkowych deformacji.

Wady te częściowo eliminują budynki modułowe, które są przestrzennymi prefabrykowanymi obiektami zawierającymi tak zwane moduły, to znaczy prostopadłościennymi elementami trójwymiarowymi wytworzone w zautomatyzowanych zakładach, następnie transportowane na plac budowy i zmontowane w określony budynek (CSA, 1992; PATH, 2003; Schmidt, Goodman, 2000). Moduły są montowane na uprzednio przygotowanych fundamentach lub żelbetowym monolitycznym podziemiu łączone między sobą w pionie i poziomie tworząc wielorodzinne budynki mieszkalne, hotelowe, szkoły, budynki biurowe lub obiekty handlowe. Moduły montowane ściana-do-ściany lub ustawiane jeden na drugim do czterech lub nawet siedmiu kondygnacji wysokości, tworzą układy o zmiennej konfiguracji i w stylu określonym projektem architektonicznym budynku. Kompletację segmentu modułowego oraz fazę jego montażu przedstawiono na rys. 4 (Malesza, Miedziałowski, 2013).

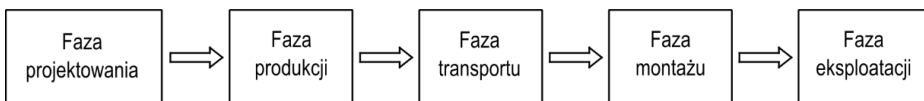


Rys. 4. Kompletacja i montaż segmentów modułowych

Źródło: opracowanie własne.

3. Fazy produkcji przemysłowej budynków

Główne fazy realizacji domów ze szkieletem drewnianym przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Fazy realizacji budynku

Źródło: opracowanie własne.

Poszczególne fazy wymagają w planowaniu wzajemnej koordynacji i zarządzania w trakcie realizacji. Ważną rolę odgrywają wyspecjalizowane brygady robocze, wykonujące poszczególne operacje techniczno-technologiczne.

3.1. Faza projektowania

Zapewnienie bezpieczeństwa i odpowiednich warunków użytkowania są podstawowymi wymaganiami stawianymi w trakcie projektowania konstrukcji. Sprawdzenie spełnienia tych wymagań jest przedmiotem obliczeń statycznych i wymiarowania przekrojów oraz połączeń (Lewicki, 1964; Malesza, Miedziałowski, 2011).

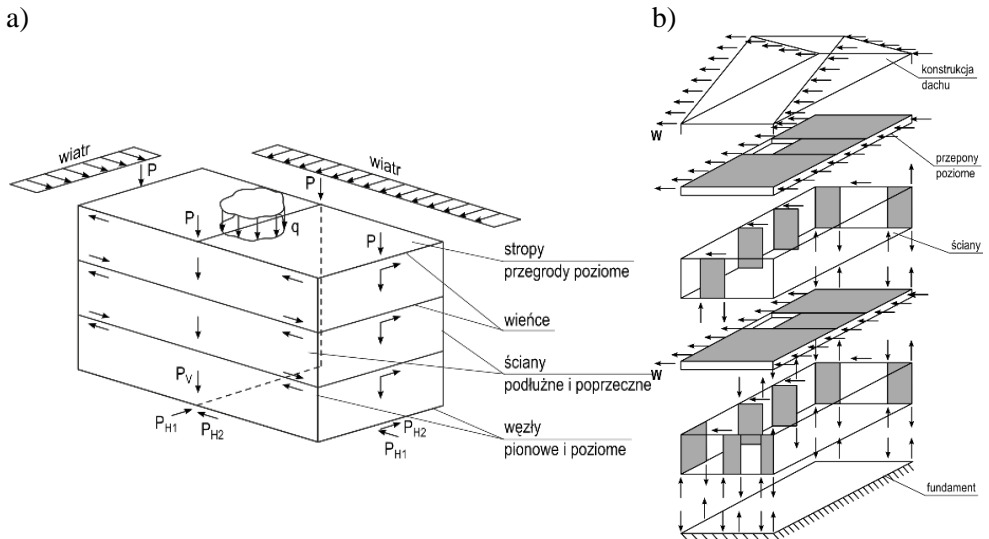
Budynek powinien stanowić sztywny przestrzennie i niezmienny geometrycznie ustrój. Odkształcenia i przemieszczenia elementów tego ustroju w trakcie realizacji, a następnie w całym okresie jego eksploatacji powinny być możliwie małe i nie powinny im towarzyszyć nadmierne rysy szczególnie w złączach. Pierwszym etapem projektowania ustroju nośnego jest określenie układu konstrukcyjnego budynku

i wybór schematów statycznych właściwie odwzorowujących pracę tego układu, a następnie dobór wymiarów wszystkich elementów, ich ukształtowanie i sposób wzajemnych połączeń.

Projektując elementy konstrukcji należy uwzględnić nie tylko przyjęty schemat statyczny, ale także możliwe odchyłki i błędy wykonawstwa, uproszczenia lub pominięcie niektórych oddziaływań na przykład wynikających z odkształceń lub poślizgów w węzłach. Oddziaływaniami takimi mogą być na przykład nieosiowe oparcie belek stropów na ścianach, niedokładne osiowo usytuowanie tarcz ściennych wyższej kondygnacji w stosunku do kondygnacji niższej, punktowe połączenie w węzłach ścian. Wymagania akustyczne, ciepłno-wilgotnościowe, czy ogniowe mają również istotny wpływ na kształtowanie tych elementów. W obliczeniach statycznych rozróżniane są ściany konstrukcyjne uwzględniane w przyjętym modelu pracy budynku i ściany niekonstrukcyjne będące jedynie przegrodami wewnętrznymi przenoszącymi swój ciężar na elementy konstrukcji budynku. Stropy współpracują ze ścianami spełniają funkcję przepon poziomych zapewniających równomierny udział ścian w przejmowaniu obciążeń poziomych. Zasady rozdziału obciążeń pionowych i poziomych na poszczególne elementy konstrukcji budynku przedstawiono na rys. 6.

Istotnym parametrem decydującym o zastosowaniu drewna, jak i jego przyszłym zachowaniu się w konstrukcji budynku jest wilgotność. Zmiany wilgotności powodują pęcznienie lub skurcz elementów drewnianych. Skurcz jest największy w kierunku stycznym do słoików, w kierunku promieniowym jest o około połowę mniejszy, a w kierunku wzdłuż włókien jest często pomijalnie mały (Burch, Thomas, 1991).

Pomiar wilgotności według wymagań PN-EN 336:2004 jest istotny nie tylko w procesie wytwarzania konstrukcji i doboru surowca o odpowiedniej wilgotności, ale i w trakcie eksploatacji. Ten monitoring wilgotności powinien być prowadzony przez okres realizacji, a następnie okres dostosowania budynku do pełnej eksploatacji i doprowadzenia do stanu równowagi wilgotnościowej w elementach. Za wilgotność odniesienia przyjmowane jest 20% (według PN-EN 336:2004). Zakłada się praktycznie, że wysokość i szerokość przekroju elementu maleją o 0,25% na każdy 1% zmniejszenia wilgotności poniżej 20%.



Rys. 6. Obciążenia i siły w konstrukcji budynku od obciążeń zewnętrznych

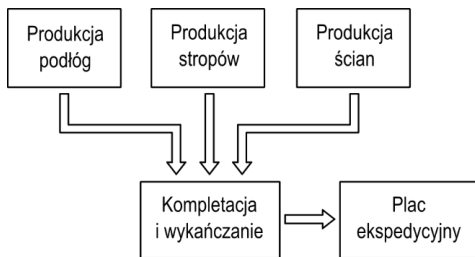
Źródło: opracowanie własne.

Modele obliczeniowe mogą być budowane z inżynierskim stopniem szczegółowości lub z uwzględnieniem możliwie wszystkich elementów składowych (Creighton, 1997; Mi, 2005; Schmidt, Goodman, 2000; Smith, Asiz, 2006).

W pierwszym przypadku stosuje się głównie schematy złożone z elementów prętowych, zarówno płaskich jak i przestrzennych. W drugim przypadku stosuje się metody dyskretne, głównie metodę elementów skończonych (Miedziałowski, Małsza, 2006; Smith, Asiz, 2006).

3.2. Faza produkcji

Produkcja odbywa się w stacjonarnych zakładach produkcyjnych (fabrykach). Produkcja poszczególnych elementów: podłoga, ściany, strop prowadzona jest na specjalizowanych liniach produkcyjnych, a następnie wykonuje się kompletowanie, według poniższego schematu (rys. 7), (Schmidt, Goodman, 2000; Smith, Asiz, 2006).



Rys. 7. Schemat produkcji w fabryce

Źródło: opracowanie własne.

Produkcję i kompletację konstrukcji, w tym przypadku modułowej pokazano na rys. 8.

a)



b)



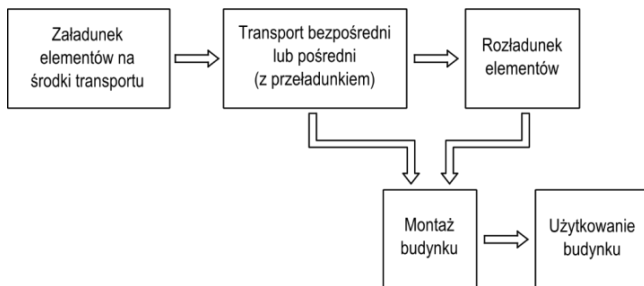
Rys. 8. Etapy produkcji modułów: a) produkcja elementów, b) kompletacja modułu

Źródło: (Unibep S.A.).

Produkcja na poszczególnych liniach może odbywać się w systemie stacjonarnym lub potokowym. Najczęściej podłogi i stropy produkuje się w systemie stacjonarnym, a ściany w systemie potokowym.

3.3. Faza transportu

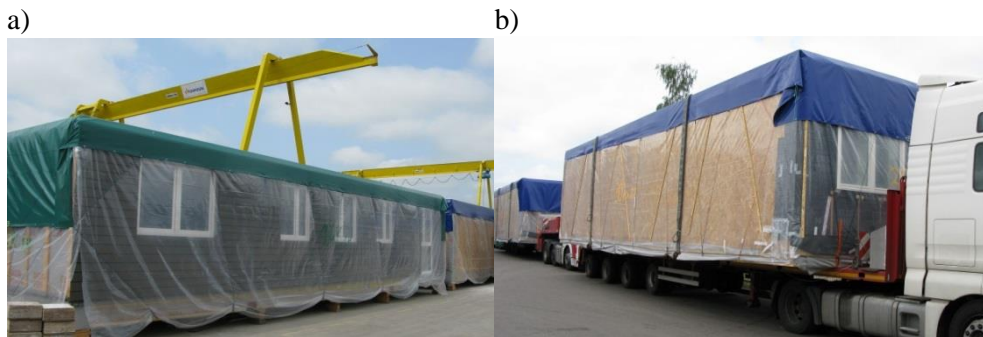
Transport realizuje się za pomocą samochodów i ewentualnie statków. Występują tu dodatkowe etapy załadunku i rozładunku co związane jest ze zmianą środków transportu i montażem budynku (rys. 9).



Rys. 9. Fazy transportu elementów

Źródło: opracowanie własne.

Faza transportu jest bardzo często porównywana do wielokrotnych oddziaływań typu dynamicznego pomimo, że wielkości tych oddziaływań nie są najwyższej skali. Oprócz typowych warunków transportowych, mogą wystąpić przypadki deformacji naczepy, zsunięcia się modułu z naczepy lub na przykład uczestniczenie w kolizji drogowej (Asiz, Iranpour, 2005; Marcondes, Singh, 1992). Zwykle najdłuższym odcinkiem przewozu jest 400-600 km. Bardzo często trasa oczekiwanych przewozów i przeszkody limitują i ograniczają wielkości elementów. Zwykle wymiar 485 cm jest maksymalnym dla szerokość i 410 cm jest granicznym wymiarem dla wysokości, z uwagi na konieczność zachowania skrajni drogowej w ruchu kołowym. Długość jest ograniczana wymiarem 1830-1980 cm. Na rys. 10 przedstawiono etap załadunku i przygotowania do transportu modułów.



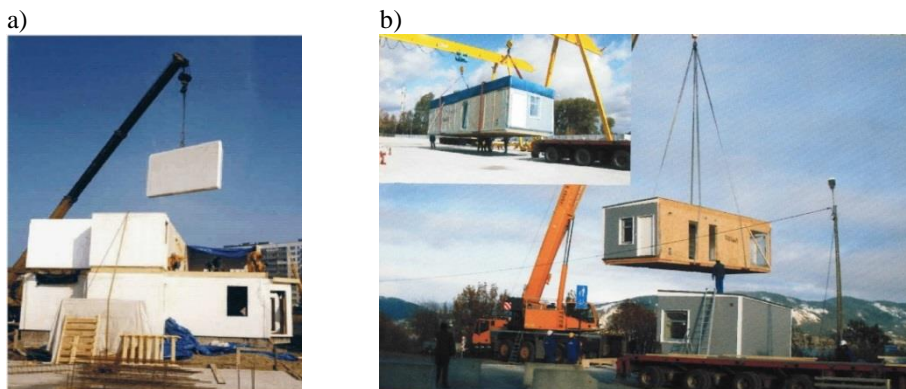
Rys. 10. Załadunek i transport modułów na miejsce wbudowania

Źródło: (Unibep S.A.).

3.4. Faza montażu

Przetransportowane na plac budowy elementy montowane są poprzez ustawienie „jeden na drugim” tworząc bryłę realizowanego budynku. W tej fazie wykorzystuje się te same zawiesia co i w fazie transportowej. Najczęściej prowadzi się montaż tak zwanych „z kół”, to znaczy bezpośrednio ze środków transportowych. Na budowie elementy wymagają użycia dźwigów lub żurawi, zależnie od liczby kondygnacji i zasięgu.

Elementy łączone są wkrętami lub śrubami wzdłuż belek sufitu i stropu, a bliźniacze ściany są łączone wkrętami. Ustalone i zmontowane zgodnie z programem elementy są gotowe do wejścia podwykonawcy robót wykończeniowych. Moduły z ich wyposażeniem zwykle stanowią 80-90% całości robot. Montaż budynków z elementów płytowych i z modułów pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Montaż budynku z elementów płytowych i z modułów

Źródło: opracowanie własne (Malesza, Miedziałowski, 2011; Unibep S.A.).

Ciężar pojedynczego elementu płytowego wynosi około 1,5 – 3 ton, a modułu 15 – 16 ton (około 150 kN). Każdy element musi być zaprojektowany tak by spełniał warunki stanów granicznych nośności i użyteczności. We wszystkich etapach i w fazie montażu, uwzględniając podnoszenie i transport, występujące naprężenia zwykle przekraczające wyężenia stanów eksploatacyjnych. Wymaga to w niektórych strefach konstrukcji użycia więcej materiału niż w przypadku tradycyjnej konstrukcji. Tym większą wagę należy przywiązywać do zaawansowanych analiz statycznych przestrzennej konstrukcji elementu i jego obciążeń. Trzeba jednak mieć świadomość faktu, że często pozornie nieistotne uszkodzenia i przerwane ciągłości

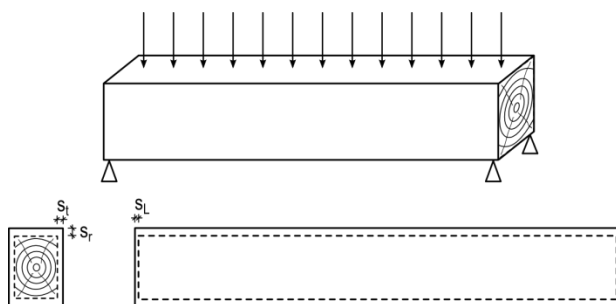
połączeń mogą prowadzić do eksploatacyjnych niekorzystnych efektów dla całego budynku (Peleg, 1984).

3.5. Faza eksploatacji

W fazie eksploatacji oprócz kompletnej konstrukcji i jej ciężaru dochodzą obciążenia użytkowe. Można tu również wyróżnić dodatkowe etapy:

- zasiedlenia budynku;
- eksploatacja w kontrolowanej temperaturze i stabilizującej się wilgotności;
- degradacja w czasie parametrów techniczno-użytkowych budynku.

W wyniku wysychania drewna w budynku występuje jego skurcz, który powoduje zmiany wymiarów konstrukcji, szczególnie, jak podano wyżej, w kierunku stycznym do słoików (rys. 12).



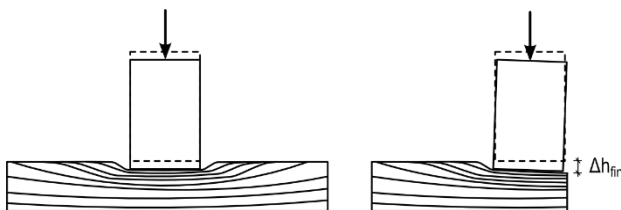
Rys. 12. Zmiany wymiarów elementu w wyniku wysychania drewna

Źródło: opracowanie własne.

Te zmiany wymiarów powodują w budynku dodatkowe przemieszczenia i deformacje pionowe konstrukcji. Wymagana specyfikacją i zastosowaniem w 2 klasie użytkowania wilgotność drewna wynosi 15%. Stosowane drewno KVH o wymiarach przekrojów poprzecznych do 300 mm wysokości ma według CE; również pomierzoną wilgotność w zakładzie produkcji elementów odpowiedni 15 (+2)%. Faza transportu na odległości rzędu 600-700 km drogowe i dodatkowo transport morski oraz skład portowy niewątpliwie podnoszą tą wilgotność, pomimo zabiegów zabezpieczających w postaci w miarę szczelnego zabezpieczania (owijania) elementów przestrzennych foliami. Ta wyższa wilgotności wynosi zdaniem autorów około 5%. Można więc przyjąć, że wilgotność drewna wbudowanego w elementy wynosi 20 do 23%.

Po montażu i przystąpieniu do robót wykończeniowych wewnętrznych budynek stopniowo poddany jest ogrzewaniu i oddziaływaniu klimatyzacji zmieniającej układ ciepłno-wilgotnościowy zmieniający elementy drewna litego. Skurcz według (Breyer, 1993; Neuhaus 2004) jest zróżnicowany i wynosi 8 do 12% zależnie od kierunku wycinania elementów (radialnie lub stycznie do układu słoï), (Kozakiewicz, 2013).

Lokalny docisk w drewnie powoduje dodatkowe znaczące deformacje. Szczególnie są one duże dla kierunku obciążeń prostopadłego do kierunku włókien, co obrazuje rys. 13.



Rys. 13. Deformacje elementów drewnianych spowodowane lokalnym dociskiem

Źródło: opracowanie własne.

Deformacje z uwzględnieniem efektów czasowych można wyrazić zależnością:

$$\Delta h_{fin} = \Delta h_{inst} + \Delta h_{creep} \quad (1)$$

gdzie:

- h_{inst} – deformacje chwilowe;
- h_{creep} – deformacje wywołane pełzaniem.

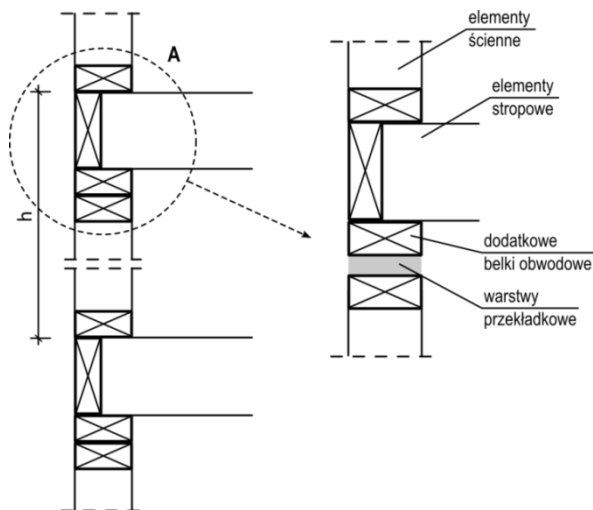
Wielkość deformacji czasowej czyli pełzania określa się zależnością:

$$\Delta h_{creep} = \Delta h_{inst} \cdot (1 + \psi_{21} \cdot k_{def} \cdot t) \quad (2)$$

gdzie:

- ψ_{21} – współczynnika uwzględniający czasowe działanie obciążenia;
- k_{def} – współczynnik uwzględniający przyrost deformacji w wyniku pełzania.

Deformacje w budynkach wielokondygnacyjnych podane wyżej sumują się powodując znaczące dodatkowe deformacje konstrukcji (rys. 14).



Rys. 14. Przekrój przez ściany i elementy, które wpływają na dodatkowe osiadanie konstrukcji
 Źródło: opracowanie własne.

$$\Delta h_i = \Delta h_w + \Delta h_{fin} \quad (3)$$

gdzie:

- Δh_w – dodatkowe deformacje od skurczu elementów drewnianych;
- Δh_{fin} – dodatkowe deformacje od docisku

$$\Delta h_w = \Delta w \cdot \alpha_s \cdot h_i \quad (4)$$

gdzie:

- Δw – obniżanie się wilgotności w elementach drewnianych budynku;
- α_s – współczynnik deformacji wilgotnościowych drewna,
- h_i – grubość warstwy.

$$\Delta h_{inst} = \frac{\sigma_d}{E_{90,mean}} \cdot h_i \quad (5)$$

gdzie:

- σ_d – naprężenia docisku w warstwie;
- $E_{90,mean}$ – moduł sprężystości prostopadły do kierunku włókien;
- h_i – grubość warstwy.

Jeśli przyjmie się sumę wymiarów przekroju poprzecznego na każdym poziomie stropu, czyli rygli obwodowych, belek stropowych oraz warstw przekładkowych

630 mm i zmianę wilgotności wynoszącą $\Delta w = 12\%$ to dodatkowe deformacje skurczowe będą wynosiły:

$$\Delta h_w = 12 \cdot \frac{0,25}{100} \cdot 630 = 18,90 \text{ mm} \quad (6)$$

Natomiast deformacje od docisku dla średniego obciążenia rygla 31,00 kN będą wynosiły:

$$\Delta h_i = \frac{31 \cdot 10^3}{2 \cdot 50 \cdot 120 \cdot 370} \cdot 630 = 4,40 \text{ mm} \quad (7)$$

Przykładowo, dla 3 kondygnacji suma deformacji górnej płaszczyzny budynku będzie wynosiła:

$$3 \cdot 18,90 + 4,40 = 61,1 \text{ mm} \quad (8)$$

Uwzględniając efekt pełzania przy docisku deformacja wzrośnie do:

$$56,7 + 4,40 \cdot (1 + 0,8) = 64,62 \text{ mm} \quad (9)$$

Podsumowanie

Produkcja i realizacja efektywnych energetycznie i ekologicznie domów ze szkieletem drewnianym jest skomplikowanym procesem produkcyjno-organizacyjnym z uwagi na drewno, które jest materiałem o wrażliwych i zmiennych parametrach. Organizacja produkcji powinna wykorzystywać wiedzę z zakresu techniki, zarządzania, ekonomii, informatyki i komunikacji społecznej. Przemysłowa produkcja w stacjonarnych zakładach produkcyjnych umożliwia zastosowanie systemowych zasad planowania i zarządzania produkcją. Ważnym czynnikiem jest stabilizacja pracowników i możliwość ciągłego podnoszenia ich kwalifikacji. Proces realizacji domów wymaga szczegółowego planowania i zarządzania w każdej jego fazie, czyli projektowania, produkcji, transportu i realizacji. Bardzo ważny jest dobór materiału o odpowiednich i znanych parametrach, uwzględnienie w projektowaniu wszystkich czynników konstrukcyjno-technologiczno-użytkowych, kontrolowanej produkcji, transportu, który jak najmniej wpłynie na konstrukcję oraz przewidzianego technologią montażu. Dodatkowe deformacje pionowe, będące sumą zmian wilgotnościowych, docisków i efektów reologicznych (czasowych), są znaczące i mogą sięgać przykładowo w budynku 3-kondygnacyjnym 64,62 mm.

Literatura

1. American Plywood Association, <http://www.apawood.org/> [01.03.2015]
2. Asiz A., Iranpour M., Smith I. (2005), *Analysis Of Structural Stresses During Handling And Transportation Of Factory-built Housing Construction*, Proceedings of 33rd Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineers 2, CD-ROM
3. Associerede Ingeniører ApS: *Massivtrae i byggeriet* (2001), Denmark Kingdom
4. Breyer D.E. (1993), *Design of Wood Structures*, Third Edition, McGraw – Hill, Inc. N.Y.
5. Burch D.M., Thomas W.C. (1991), *An Analysis of Moisture Accumulation In A Wood Frame Wall Subjected To Winter Climate*, Final Report, The U.S. National Institute of Standard and Technology, Gaithersburg, MD
6. Creighton J. (1997), *Finite Element Analysis Of Manufactured Homes Under Lateral Loading*, MS Thesis, Dept of Civil Engineering, Colorado State University, Ft. Collins, CO
7. CSA – Canadian Standard Association (1992), *Manufactured Housing/Mobile Homes*, Standard CAN/CSA Z240, CSA, Ottawa, ON
8. Gagnon S. (2011), *CLT-Structural Design*, Vancouver. BC, Symposium on CLT, February 8-9
9. Karacabeyli E., Desjardins R. (2011), *Cross Laminated Timber (CLT) in the Context of Wood Building Systems*, Vancouver. BC, Symposium on CLT, February 8-9
10. Kasal B., Leichti R.J. (1994), *Nonlinear finite element model of light-frame wood structures*, Journal of Structural Engineering 120 (12)
11. Kozakiewicz P., Krzosek S. (2013), *Inżynieria Materiałów Drzewnych*, Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa
12. Lewicki B. (1964), *Budynki mieszkalne z prefabrykatów wielkowymiarowych*, Arkady, Warszawa
13. Lider budowlany, http://www.liderbudowlany.pl/artukul/159/Prefabrykowane_konstrukcje_drewniane [01.03.2015]
14. Malesza J., Miedziałowski Cz., Malesza M. (2013), *Modułowe budynki o konstrukcji szkieletu drewnianego*, Materiały Budowlane 12
15. Malesza M., Miedziałowski Cz., Malesza J. (2011), *Kształtowanie i projektowanie współczesnych konstrukcji drewnianych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok
16. Marcondes J., Singh P. (1992), *Use Of Road Roughness To Predict Vertical Acceleration In Truck Shipments*, *Advances in Electronic Packing*, American Society of Mechanical Engineers, s. 999-1004
17. Mi H. (2005), *Behavior Of Unblocked Shear Wall*, *Master of Science Thesis*, Graduate Academic Unit of Forestry and Environmental Management, University of New Brunswick, Fredericton, NB

18. Miedziałowski Cz., Malesza M. (2006), *Budynki o szkieletcie drewnianym z poszyciem: podstawy mechaniki konstrukcji oraz zagadnienia konstruowania i realizacji*, Studia z Zakresu Inżynierii 55, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok
19. Mohammad M. (2006), *Connection Systems For Prefabricated Wall Panels, Final Report*, No.FCC25, Natural Resources Canada, Ottawa, ON
20. NAHB – National Association of Home Builders Research Center (2002), *Advanced Panelized Construction – Year One Progress Report*, prepared for Partnership for Advancing Technology in Housing (PATH), Washington D.C.
21. Neuhaus H. (2004), *Budownictwo drewniane. Podręcznik inżyniera*, Polskie Wydawnictwa Techniczne, Rzeszów
22. PATH Inventory (2003), *Modular Multiple Dwellings*, Partnership for Advanced Technology In Housing, Washington, D.C.
23. Peleg K. (1984), *Impact And Vibration Testing of Shipping Containers*, Journal of Sound and Vibration 93 (3), s. 371-388
24. Schickhofer G., Thiel A. (2011), *CLT – Research and Testing at TU Graz*, Vancouver, BC, Symposium on CLT, February 8-9
25. Schmidt R.J., Goodman J.R., Richins W.D., Pandey A.K., Larson T.K. (2000), *Improved Design Of Manufactured Homes For Hazardous Winds*, Proceedings of World Conference on Timber Engineering, 31 July - 3 Aug, Whistler Resort, BC
26. Smith I., Asiz A., Dick K., Doudak G., Mohammad M. (2006), *Improving Design Concepts And Methods Through Field-Monitoring Of Timber Buildings*, World Conference on Timber Engineering, Aug. 7-10, Portland, OR, CD-ROM
27. UNIBEP S.A., Bielsk Podlaski, <http://unibep.pl> [01.03.2015]

Production engineering of wood-framed buildings

Abstract

Paper specifies the wood-framed with sheathing construction including systematic of realization phases and exploitation. Methods of investigation based on practice and theory has been employed where practical identification of processes and their phases were presented with theoretical description of structure deformation within the exploitation period. Obtained results of investigations are presented in the form of technological and mechanics of structure diagrams for buildings with adequate algorithms of analysis.

Paper presents practical systematic of construction stages, technological problems and hazards in respect of loading and construction technology with method of computation of vertical deformations of building.

Keywords

timber structure, wood-framed construction, modular buildings, construction phases, deformations

Author information

Mikołaj Malesza

Białystok University of Technology
Wiejska 45A, 15-351 Białystok, Poland
e-mail: m.malesza@wp.pl

Czesław Miedziałowski

Białystok University of Technology
Wiejska 45A, 15-351 Białystok, Poland
e-mail: c.miedzialowski@pb.edu.pl

Jarosław Malesza

Białystok University of Technology
Wiejska 45A, 15-351 Białystok, Poland
e-mail: j.malesza@pb.edu.pl