Wojciech Terlikowski, Martyna Gregoriou-Szczepaniak,
Ewa Sobczyńska, Kacper Wasilewski, Jarosław Kopiasz

Identyfikacja i analiza numeryczna konstrukcji obiektów budowlanych zabudowy grodu z wczesnej epoki żelaza na stanowisku 4 w Biskupinie

Identification and numerical analysis of the construction of buildings and ramparts in the fortified settlement from the Early Iron Age at Biskupin, site 4

I. WPROWADZENIE

Badania techniczne, realizowane przez Zespół Budownictwa Ogólnego i Zrównoważonego Rozwoju (ZBOZR) Instytutu Inżynierii Budowlanej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, są częścią działań obejmujących realizację głównego celu projektu, jakim jest opracowanie zabudowy grodu na podstawie archiwalnej dokumentacji wykopaliskowej z lat 1934–1939. Badania techniczne wykonywane przez pracowników ZBOZR, będące badaniami konstrukcyjno-materiałowymi, dotyczą analizy konstrukcji budynków mieszkalnych oraz wału w odniesieniu do faz istnienia osiedla obronnego w Biskupinie. Głównym celem przeprowadzonych badań była:

– weryfikacja zidentyfikowanych ustrojów konstrukcyjnych stosowanych w trakcie funkcjonowania osiedla obronnego;

– weryfikacja zidentyfikowanych elementów budowlanych je tworzących;

– weryfikacja rozwiązań konstrukcyjnych przyjmowanych dotychczas w omawianiu zabudowy osiedla obronnego w Biskupinie.

Niemal od samego początku badań w Biskupinie, a także w okresie powojennym kierownictwo Ekspedycji Wykopaliskowej w Biskupinie realizowało *in situ* projekty związane z upowszechnianiem wiedzy o odkryciach i popularyzacją archeologii, czego przejawem była rekonstrukcja „chat" biskupińskich oraz odcinków wału, ulicy okrężnej (Rajewski 1938, s. 1, 1950a, s. 5 i n.; Żurowski 1950, s. 327). Przed wojną nawiązano kontakty z prof. Oskarem Sosnowskim i jego ówczesnym asystentem, inż. Zbigniewem Dmochowskim z Zakładu Architektury Politechniki Warszawskiej, specjalistą w dziedzinie budownictwa drewnianego Polesia. Profesor Sosnowski i inż. Dmochowski pomagali archeologom we właściwej interpretacji odkrytych elementów konstrukcji. Owocem współpracy były liczne szkice i rysunki, które miały posłużyć do opracowania zabudowy od strony architektonicznej (Rajewski 1950a, s. 14). Zapewne pokłosiem tych kontaktów z warszawskim środowiskiem architektów była rekonstrukcja budynku wg rysunku Tadeusza Andrzejaczka (Kostrzewski 1936, ryc. na s. 11; Kostrzewski 1938, s. 16 i n.). Dalsze spostrzeżenia na temat budownictwa w Biskupinie nie ograniczały się do „modelowych" budynków (12 łątek, 2 łątki-sochy i wewnętrzna socha). Przykładem może być artykuł Tomasza Szczygielskiego (1935, s. 8 i n.), w którym autor wskazuje również na inne niż sumikowo-łątkowe systemy konstrukcyjne, które

stosowano w młodszej fazie zabudowy w Biskupinie.

Po wojnie badania zmierzające w kierunku architektonicznego opracowania zabudowy grodowej kontynuował Tadeusz Żurowski, które zaowocowały wydaniem obszernej publikacji (1950).

Przedstawiony krótki zarys dorobku w zakresie opracowań zabudowy przez specjalistów reprezentujących nauki ścisłe wskazuje na dominujący nurt badań architektonicznych podpartych obserwacjami etnograficznymi.

Dotychczasowe podejście do rekonstrukcji ustrojów konstrukcyjnych zakładało występowanie pewnych układów architektoniczno-konstrukcyjnych, które zostały przyjęte bez technicznego i merytorycznego zweryfikowania przyjętych założeń. Merytoryczne uzasadnienie przyjętych rozwiązań jest konieczne z punktu widzenia prawdy historycznej oraz działań podjętych po wojnie, których efektem jest rekonstrukcja zabudowy grodu. Jest również pomocne we właściwej interpretacji rzeczywistych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych zrealizowanych w trakcie budowy i użytkowania grodu świadczących o poziomie kultury technicznej i budownictwa mieszkańców grodu w poszczególnych fazach rozwoju.

Przeprowadzone badania konstrukcyjno-materiałowe obejmowały identyfikację ustrojów konstrukcyjnych oraz elementów konstrukcyjnych pod kątem materiałowym, konstrukcyjnym i inżynierskim. Identyfikacja istniejących w rzeczywistości układów konstrukcyjnych zakładała określenie pierwotnych schematów statycznych, w jakich pracowały elementy konstrukcyjne, a także sposobów ich łączenia. Identyfikacja dotyczyła parametrów fizycznych i mechanicznych zastosowanych materiałów, parametrów geometrycznych (takich jak długość i przekrój poprzeczny) elementów konstrukcyjnych. Na bazie zidentyfikowanych układów konstrukcyjnych i tworzących je elementów budowlanych, takich jak łątka, łątka-socha, sumik, krokwie, belka kalenicowa, socha, sporządzone zostały modele numeryczne konstrukcji istniejących budynków mieszkalnych oraz wału. Wykonano obliczenia statyczno-wytrzymałościowe uwzględniające oddziaływania środowiskowe występujące w otoczeniu Jeziora Biskupińskiego, obciążenia działające na badane obiekty budowlane, wpływ analizowanych warunków posadowienia, a także warianty rozwiązań konstrukcyjnych wpływających na pracę ustroju nośnego. Modele numeryczne budynków mieszkalnych fazy starszej i młodszej zabudowy w obszarze rzędów oraz obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wykonano przy pomocy programu komputerowego ABC Obiekt 3D, a model numeryczny i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe wału przy pomocy programu Autodesk Robot Structural Analysis.

Celem drugorzędnym badań techniczno-konstrukcyjnych była ocena wpływu warunków gruntowych na pracę ustroju nośnego konstrukcji badanych obiektów budowlanych. Weryfikacja rozwiązań konstrukcyjnych została przeprowadzona na podstawie szeregu modeli numerycznych. Dodatkowo przeprowadzono ocenę wpływu niektórych rozwiązań konstrukcyjnych na wyniki analiz – wpływ uwzględnienia sumików na sztywność przestrzenną budynku, wpływ uwzględnienia ciągłości zabudowy i konstrukcji sąsiadujących budynków w rzędzie oraz wpływ obecności półpiętra na nośność na wyboczenie słupa wewnętrznego (sochy wewnętrznej). Ocenę wpływu warunków gruntowych wykonano w oparciu o analizy numeryczne budynków z uwzględnieniem różnych podatności podpór. Tego typu podejście w odpowiedni sposób odzwierciedla rzeczywisty wpływ podłoża gruntowego na sztywność przestrzenną budynków.

II. ANALIZOWANE OBIEKTY BUDOWLANE

Głównym przedmiotem analizy i badań były budynki mieszkalne istniejące w fazie starszej zabudowy rzędowej, a także dwa typy budynków późniejszych z fazy młodszej oraz wał oddzielający wnętrze grodu od jeziora. Ze względu na lepszy stan zachowania elementów tworzących układ konstrukcyjny budynków z fazy starszej (wcześniejszej) ich identyfikacja, przeprowadzona w oparciu o dokumentację rysunkową i fotograficzną oraz produkty fotogrametryczne, była łatwiejsza od identyfikacji elementów z fazy młodszej (późniejszej). Czytelność elementów młodszych budowli ogranicza nie tylko ich słabszy stan zachowania w porównaniu z obiektami starszymi, ale

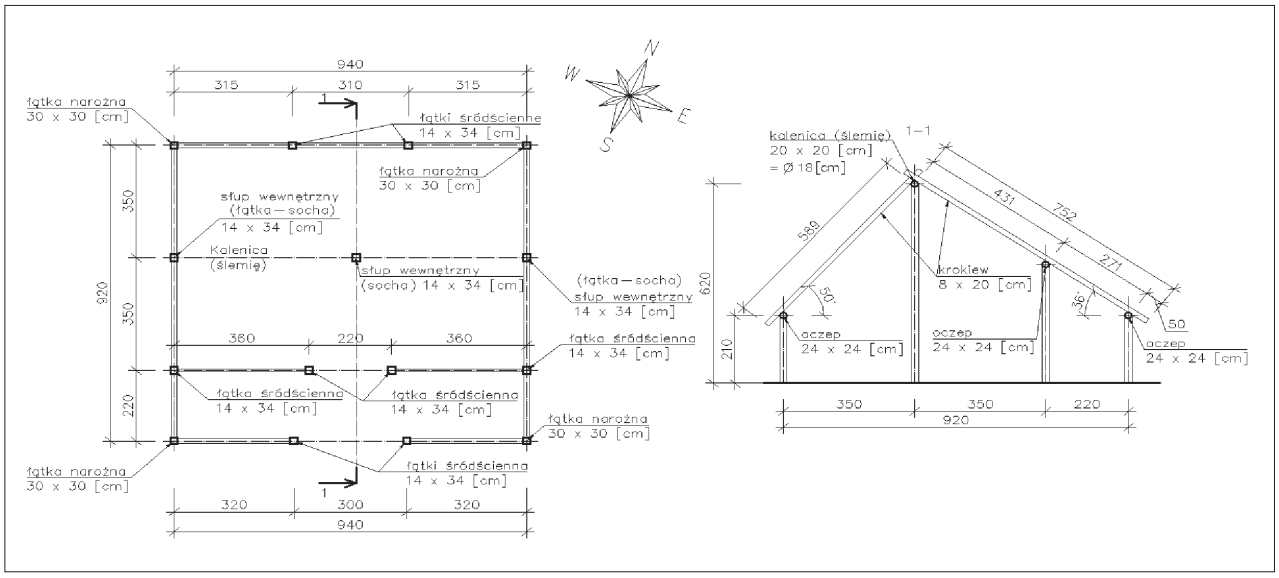
także niejednolity ustrój konstrukcyjny (odcinki ścian sumikołowo-łątkowych łączone ze ścianami systemu „zastępczej łątki" (w tym tomie: J. Kopiasz). Obiekty młodsze różnią się od starszych mniejszą powierzchnią zabudowy, niekiedy inną lokalizacją ścian szczytowych. Analiza konstrukcji wykazała, że poziom techniczny wykonania budynków znacznie się różnił. Lepiej pod względem technicznym i inżynierskim wykonane były budynki z fazy starszej.

II.1. Budynki mieszkalne fazy starszej zabudowy rzędowej

Uwzględniając ustalenia dotyczące budowli fazy starszej (Kostrzewski 1936 ryc. na s. 11; Rajewski 1950b, s. 261–277; 1961, ryc. na s. 67; Żurowski 1950, s. 321–352), a także na podstawie przeprowadzonych analiz dokumentacji rysunkowej i fotografii stworzono dokumentację rysunkową – rzuty poziome i przekrojów dwóch budynków, które następnie poddano numerycznej weryfikacji.

W przyjętych założeniach do analizy pierwszego z budynków posłużono się zmodyfikowanym planem wg Józefa Kostrzewskiego (Kostrzewski 1936, ryc. na s. 11) (ryc. 1). Bardzo szczegółowa analiza dokumentacji fotograficznej i rysunkowej wykazała, że ów plan powstał w oparciu o odkrycia dokonane w 1934 roku, w trakcie których odsłonięto znakomicie zachowane przyziemie budynku V/5/S („dom" 19). Na rysunku w publikacji wspomnianego autora bardzo wiernie oddano wszystkie szczegóły konstrukcyjne budynku V/5/S, także „zwielokrotnioną" w stosunku do analogicznych ścian większości budynków z fazy starszej (w których były dwie łątki) liczbę łątek śródściennych w ścianie północnej (cztery łątki). Istotnym elementem odróżniającym tę budowlę od innych budynków sumikowo-łątkowych ze starszej fazy jest socha wewnętrzna, która znajduje się niemal w połowie odległości pomiędzy dwoma łątkami-sochami w ścianach szczytowych.

W przyjętej koncepcji poddanego analizie pierwszego z budynków uwzględniono mniejszą liczbę łątek w ścianie północnej (dwie symetrycznie rozmieszczone łątki śródścienne) i ustalono położenie sochy wewnętrznej w punkcie centralnym, wyznaczonym przez obie osie budynku. Budynek poddany numerycznej weryfikacji uwzględniał zarówno rzeczywistą wielkość budynku V/5/S (w przybliżeniu 9,4 × 9,2 m), jak i kształt przyziemia w rzucie poziomym (prostokątny).



Ryc. 1. Rzut i przekrój „modelowego" budynku biskupińskiego (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski na podstawie Kostrzewski 1936, ryc. na s. 11)

Fig. 1. Projection and cross-section of "model" Biskupin building (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski, based on Kostrzewski 1936, fig. on p. 11)

Kolejnym obiektem poddanym numerycznej weryfikacji był budynek II/6/S („dom” 7; ryc. 2), odkryty na wschodnim skraju drugiego rzędu zabudowy rzędowej. Przyziemie tego obiektu ma dość czytelne kontury, najbardziej wyrazistymi elementami było czternaście łątek, w tym dwie łątki-sochy oraz wewnętrzna socha. W ścianie wschodniej należało wytypować właściwą łątkę spośród kilku, z których niektóre, prawdopodobnie wtórnie użyte, stabilizowały jej konstrukcję. Pewnym utrudnieniem było ustalenie pierwotnego położenia niektórych łątek, gdyż część z nich w momencie odkrycia była przechylona. Na podstawie dokonanych analiz powstał plan tego obiektu, który został wzniesiony na planie zbliżonym do trapezu o wymiarach około 9,70 × 8,80 m (ściany północna i południowa) × 8,20 × 8,60 m (ściany zachodnia i wschodnia).

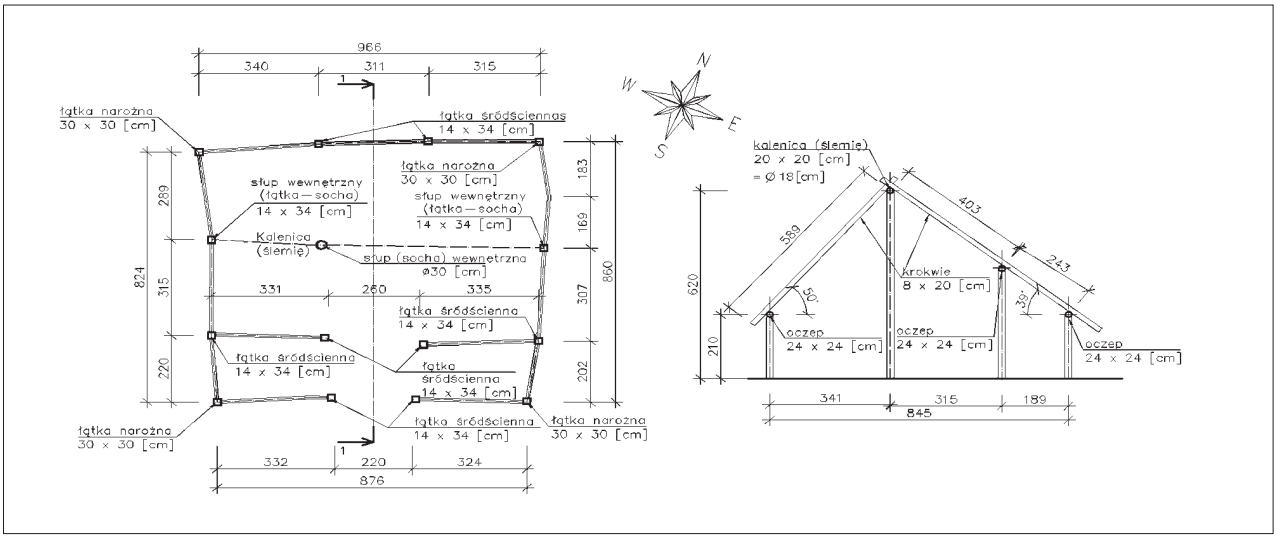
Z powodu braku odpowiednich danych dotyczących konstrukcji więźby dachowej należało zrekonstruować architekturę dachu i jego elementów na podstawie pośrednich danych i przyjętych norm obowiązujących we współczesnym budownictwie. Przyjęto, zgodnie z założeniami Tadeusza Żurowskiego (1950, s. 326), że budynki przykryte były dwuspadowym dachem, pokrytym najprawdopodobniej strzechą, choć na podstawie źródeł etnograficznych wiemy, że dach mógł być również kryty dłubanymi korytkami pnia, dranicami (Żurowski 1950, s. 328, ryc. 45a; Moszyński 1967, s. 498, fig. 438, 441; Tłoczek 1980, s. 74–76).

Przyjęto, że konstrukcję dachu budynków starszych stanowiły krokwie w rozstawie ok. 65 cm oparte na belce kalenicowej (ślemieniu) oraz belkach oczepowych w ścianach podłużnych. W analizie numerycznej uwzględniono prostokątne przekroje krokwi o wymiarach 8 × 20 cm. Z punktu widzenia pracy statycznej elementów konstrukcyjnych taki przekrój może być tożsamy z przekrojem kołowym o średnicy ok. 18 cm. Belki, na których oparte są krokwie, przyjęto jako prostokątne – kalenicę o wymiarach 20 × 20 cm oraz oczep o wymiarach 24 × 24 cm. Założono również, że kalenica opierała się na prostokątnych w przekroju łątkach-sochach o wymiarach 14 × 34 cm i wysokości 6,2 m oraz na słupie wewnętrznym (łątka-socha) o wymiarach:

– 14 × 34 cm i wysokości 6,2 m w pierwszym modelu budynku;

– o przekroju okrągłym o średnicy 30 cm i wysokości 6,2 m w modelu budynku II/6/S.

Na konstrukcje ścian składały się prostokątne sumiki o wymiarach 19 × 26 cm oraz łątki o przekroju prostokątnym i wymiarach w zależności od lokalizacji: łątki narożne 30 × 30 cm oraz łątki śródścienne 34 × 14 cm. Wysokość podłużnych ścian zewnętrznych (ściana północna i południowa – frontowa) wynosiła 2,1 m.



Ryc. 2. Rzut i przekrój budynku II/6/S („dom” 7) (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 2. Projection and cross-section of building II/6/S (“house” 7) (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

II.1.1. Obciążenia i oddziaływania środowiskowe

W celu przeprowadzenia analizy numerycznej konieczne było ustalenie wartości oddziaływań wpływających na konstrukcje. Do ich określenia wykorzystano współcześnie obowiązujące normy europejskie:

– PN-EN 1991-1-1 do ustalenia obciążeń stałych (ciężar własny),
– PN-EN 1991-1-3 do ustalenia obciążeń śniegiem,
– PN-EN 1991-1-4 do ustalenia obciążeń wiatrem.

Dla potrzeb analizy numerycznej przyjęto ciężar własny konstrukcji odpowiadający współczesnym konstrukcjom drewnianym wykonanym z drewna o klasie C27, wynoszący ρ_{mean} = 450 kg/m^3. Jako pokrycie dachowe przyjęto trzcinę jeziorną lub słomę na łatach o ciężarze 1,24 kN/m^2. Na potrzeby zebrania obciążeń przyjęto średni rozstaw krokwi równy 65 cm. W celu odwzorowania surowszych niż dzisiejsze warunków klimatycznych panujących w okresie budowy i użytkowania domostw w Biskupinie oraz biorąc pod uwagę lokalizację obiektów nad brzegiem jeziora, do obliczeń przyjęto najbardziej niekorzystne warunki, jakie odpowiadają budynkom zlokalizowanym bezpośrednio nad brzegiem morza. Te ustalenia mają przede wszystkim wpływ na wartość obciążenia wiatrem. Jednym z elementów analizy było sprawdzenie wpływu kierunku wiatru na konstrukcje. W tym celu analizowano dwa kierunki jego oddziaływania – równoległy i prostopadły do kalenicy. Ze względu na różny kąt pochylenia połaci dachowych wartości obciążenia śniegiem są ustalane oddzielnie dla każdej strony.

II.1.2. Podłoże gruntowe

Na podstawie wykonanych wcześniej badań geologicznych (Niewiarowski 1995) można stwierdzić, że w poziomie posadowienia konstrukcji drewnianych obiektów budowlanych tworzących zabudowę grodu w Biskupinie występowały grunty słabonośne, z dużą zawartością gruntów organicznych, w tym torfu, z dużą aktywnością akumulacji jeziornej (ryc. 3). W zależności od miejsca pobrania próbek do analizy, pod warstwą kulturową z wczesnej epoki żelaza ze stwierdzoną obecnością m.in. konstrukcji drewnianych zalegały zróżnicowane osady.

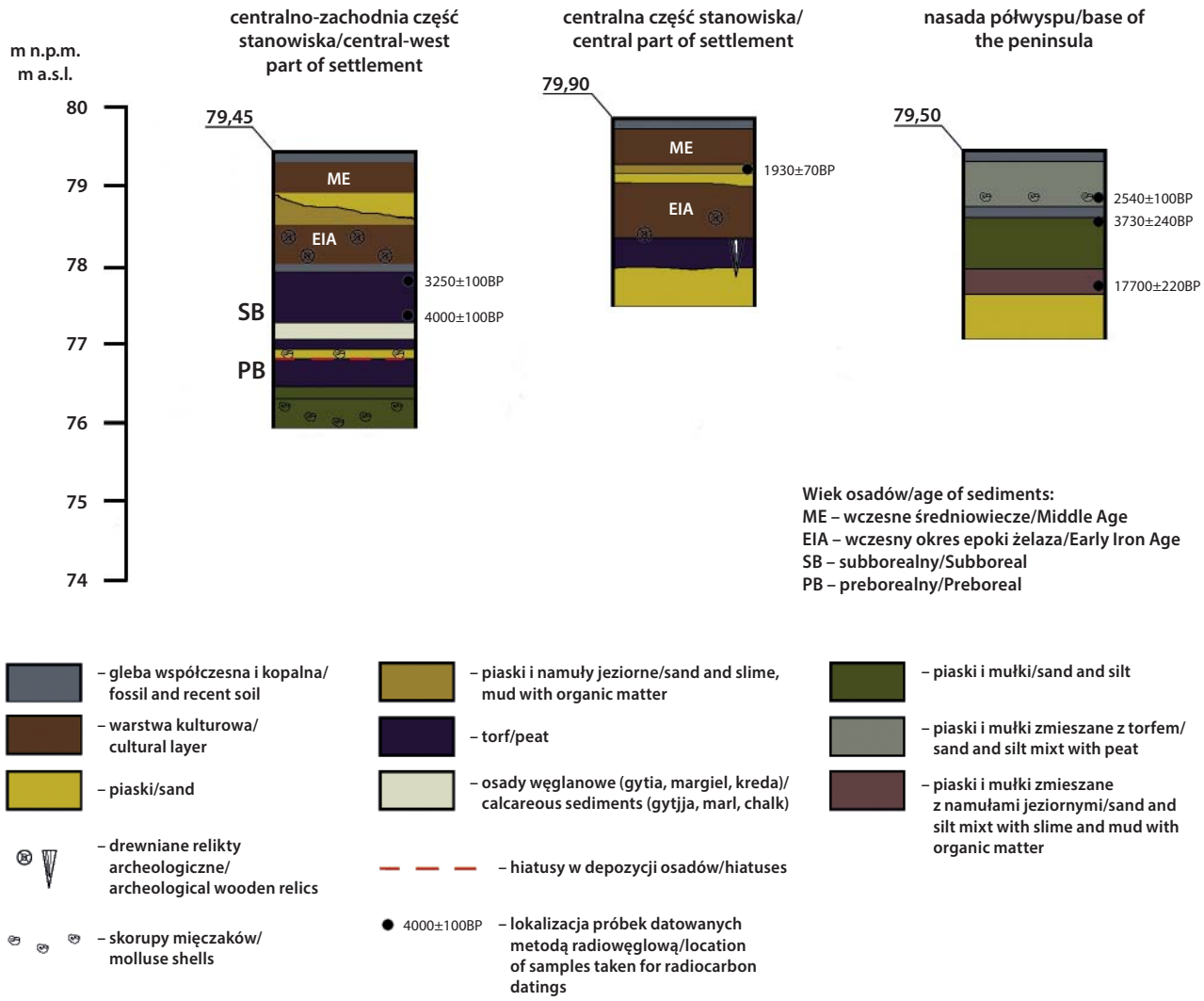
W centralno-zachodniej części stanowiska pod spągiem warstwy kulturowej zalegały torfy o miąższości ok. 0,5 m. Pod nimi spoczywały głównie warstwy węglanowe (gytie, margle, kreda) rozdzielone warstwą piasku (łącznie około 30 cm miąższości). Poniżej nich spoczywała kolejna warstwa torfu o grubości około 30 cm. Około 1,5 m od spągu warstwy kulturowej pojawił się strop nawarstwień piasków i mułków.

W centralnej części stanowiska pod warstwą kulturową zalegała gleba kopalna o miąższości około 30 cm, a poniżej niej natrafiono na piasek.

Optymalne warunki do posadowienia budowli stwierdzono w centralnej i południowej części stanowiska, gdzie stosunkowo płytko zalegały osady mineralne, o lepszych niż warstwy biogeniczne właściwościach nośnych. Grunty organiczne, w tym namuły i torfy, muły, osady kredy jeziornej mają najczęściej bardzo dużą wilgotność (100–2200%), małą wytrzymałość na ścinanie (Φ = 0–10°; c = 2–20 kPa) oraz dużą ściśliwość (Mo = 0,2–2 MPa). Grunty te charakteryzują się bardzo niewielką nośnością i mogą być podłożem dla lekkich konstrukcji wytrzymujących nierównomierne osiadanie, chociaż w wypadku podłoża biskupińskiego problematyczna jest mała miąższość tych warstw i głębokość ich występowania. Margle stanowią dość dobre podłoże gruntowe, posiadające nośność wystarczającą do wznoszenia na nich konstrukcji budowlanych, zwłaszcza lekkich konstrukcji drewnianych. Piaski drobne jeziorne mają stosunkowo dobre właściwości mechaniczne umożliwiające posadowienie lekkich konstrukcji drewnianych. Ich nośność wzrasta wraz ze stopniem konsolidacji. Przy dużej zawartości namułów mogą mieć właściwości wysadzinowe.

II.2. Modele numeryczne budynków fazy starszej

Modele budynków zróżnicowano ze względu na kierunek działania wiatru, uwzględnienie sumików oraz ich stopień uproszczenia, liczbę i rodzaj chat oraz podatność podpór. W przeprowadzonych analizach zastosowano zarówno rzeczywiste,

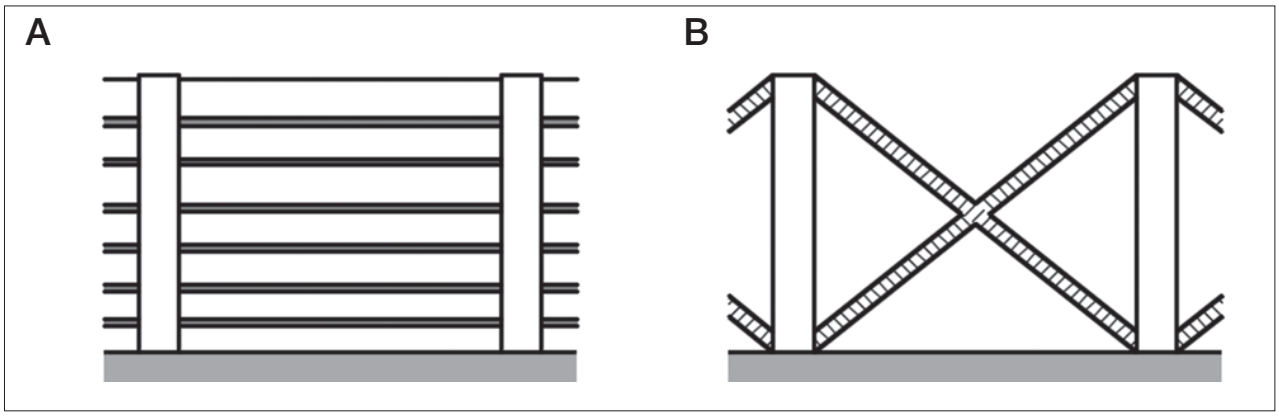


Ryc. 3. Profile geologiczne ze stanowiska 4 w Biskupinie (rys. J. Kopiasz na podstawie Niewiarowski 1995, ryc. 2)

Fig. 3. Geologic profiles from site 4 at Biskupin (drawn by J. Kopiasz, based on Niewiarowski 1995, fig. 2)

jak i zastępcze modelowanie sumików (ryc. 4). Usztywnienie zastępcze wprowadzono za pomocą krzyżulców (ryc. 4: A) o sztywności odpowiadającej sumarycznej sztywności sumików (ryc. 4: B). Nie wprowadzano usztywnienia zastępczego do ścian, które są obciążane ssaniem wiatru.

W pierwszym etapie analiz zostały stworzone modele numeryczne obiektu wzorowanego na budynku V/5/S (ryc. 1). Model 1 to konstrukcja bez sumików, z podtypami od 1.1 do 1.9, charakteryzującymi się zróżnicowanymi wartościami sztywności podpór na przesuw i obrót, mającymi na celu określenie wpływu wymienionych parametrów na pracę układu. Model 2, z prostopadłym obciążeniem wiatrem, zmodyfikowano, dodając uproszczone sumiki w poprzek budynku. W analogiczny sposób wprowadzono w modelu 3, obciążonym równoległym wiatrem, sumiki wzdłuż budynku. W modelach 4 i 5 zastąpiono uproszczone usztywnienie ścian rzeczywistym modelem sumików. W drugim etapie analiza dotyczyła szeregu domów biskupińskich, złożonego z trzech „modelowych chat" (tzn. wzorowanych na budynku V/5/S). Model 6 obciążony wiatrem prostopadłym, usztywniono rzeczywistymi sumikami w poprzek, model 7 zaś sumikami wzdłuż szeregu budynków.



Ryc. 4. Schemat zastępczego usztywnienia ścian (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 4. Diagram of substitute wall stiffening (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

W kolejnym etapie analiza rozszerzała szereg domów do czterech chat, model 8 z rzeczywistymi sumikami w poprzek oraz model 9 z rzeczywistymi sumikami wzdłuż budynków. Badanie miało na celu ustalenie zależności uzyskanych wyników od liczebności szeregu domów biskupińskich. Powyższe modele o geometrii zbliżonej do budynku V/5/S pozwoliły na analizę wpływu na pracę konstrukcji takich czynników jak: podatność gruntu, występowanie i stopień uproszczenia sumików oraz łączenie domów w szeregi. Powtarzanie danych analiz dla budynków o rzeczywistej geometrii nie było konieczne, ponieważ wpływ wymienionych powyżej aspektów nie zależy od geometrii konstrukcji. Wyniki tych analiz były punktem wyjściowym do dalszych badań prowadzonych na modelach chat. W dalszej kolejności został stworzony model budynku o rzeczywistej geometrii odtworzonej na podstawie archiwalnej dokumentacji rysunkowej (ryc. 2). Zamodelowano konstrukcję obciążoną wiatrem prostopadłym z sumikami rzeczywistymi w poprzek budynku – model 10, oraz obciążoną wiatrem równoległym z sumikami rzeczywistymi wzdłuż budynku – model 11, ze sztywnymi podporami. W modelu 12, będącym również „wzorcowym budynkiem" o rzeczywistej geometrii, odtworzonym z dokumentacji archiwalnej starszej fazy grodu, skrajną w zabudowie rzędu II, wprowadzone zostały rzeczywiste sumiki w poprzek budynku, z obciążeniem wiatrem prostopadłym, z podatnymi podporami; w modelu 13 sumiki ustawiono wzdłuż budynku. W modelu 14 i 15 wykonano analogiczne badania, przy czym sumiki ustawiono w poprzek budynku, a podpory przyjęto odpowiednio jako sztywne i podatne.

Kolejny etap miał na celu analizę budynku o maksymalnym rozstawie podpór kalenicy według zachowanych źródeł archiwalnych, biorąc pod uwagę zróżnicowanie ze względu na kierunek działania wiatru, jak i podatność podpór. Model 16 i 17 stanowi konstrukcyjną interpretację reliktów budynku II/6/S o rzeczywistej geometrii i największych wymiarach (wśród pozostałości budynków ze starszej fazy z zachowanymi wszystkimi elementami konstrukcyjnymi), i wydłużonej o 40 cm wzdłuż kalenicy, w której rzeczywiste sumiki usytuowano wzdłuż budynku, z obciążeniem wiatrem równoległym, z podporami sztywnymi i podatnymi.

Ostatnim etapem było sprawdzenie nośności słupa wewnętrznego na wyboczenie, w przypadku występowania i braku półpiętra z podciągiem, stanowiącego jego usztywnienie. W modelu 18 sprawdzono nośność słupa wewnętrznego na wyboczenie bez podpory na wysokości półpiętra, przy obciążeniu wiatrem prostopadłym i podporze sztywnej, a w modelu 19 z podporą na wysokości półpiętra. W modelach 20 i 21 sprawdzono nośność słupa przy analogicznych założeniach, przy czym przyjęto obciążenie wiatrem o kierunku równoległym. W obliczeniach przyjęto geometrię chaty modelowej ze słupem o przekroju kołowym.

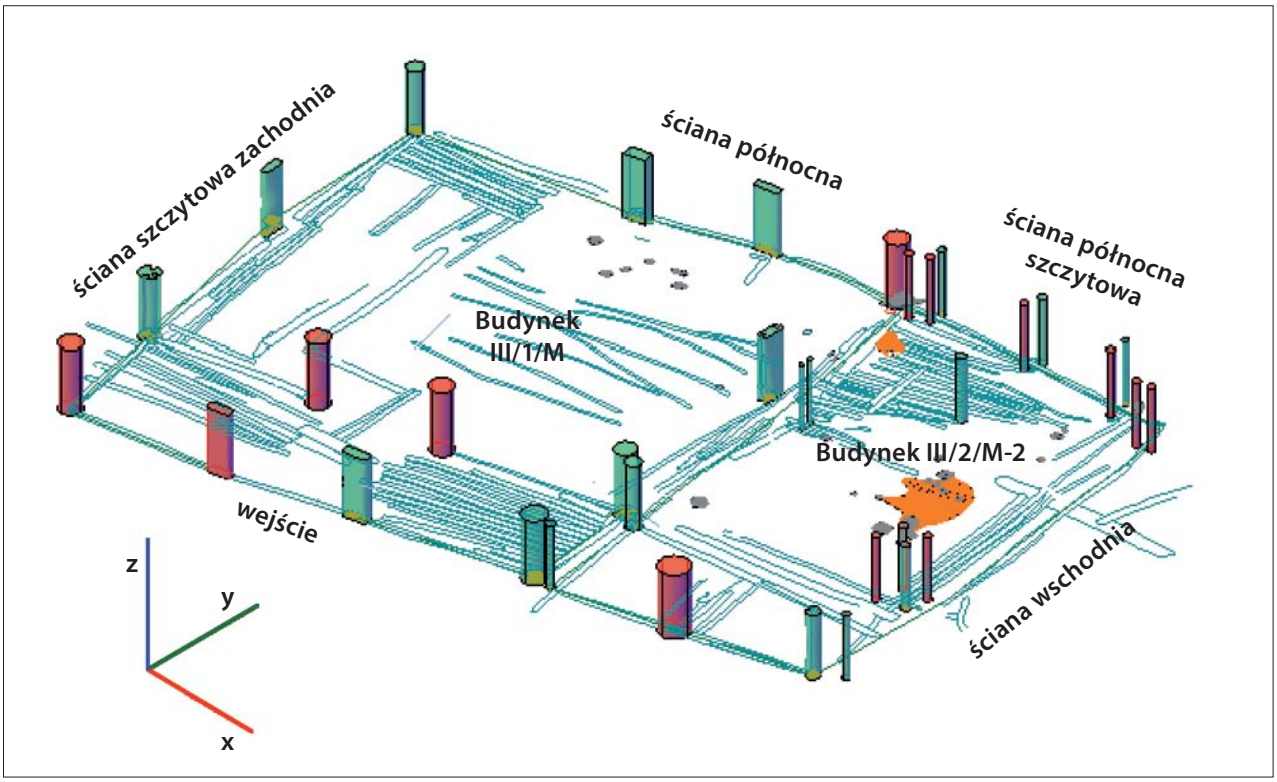
Schematy, główne założenia i wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych opisanych powyżej modeli przedstawiono w specjalnie przygotowanych tabelach – metrykach modeli, zamieszczonych w tabl. 1–30.

II.3. Budynki mieszkalne fazy młodszej

Budynki mieszkalne pochodzące z późniejszej fazy rozwoju grodu zachowały się w gorszym stanie od budynków fazy wcześniejszej. Może to świadczyć o gorszych właściwościach fizycznych i mechanicznych elementów drewnianych, z których wykonane były ustroje nośne budynków lub o gorszej jakości wykonania obiektów budowlanych. Przeanalizowano dwa budynki: – III/1/M i III/2/M-2 (ryc. 5–7). Oba obiekty wzniesiono w trzecim rzędzie zabudowy (w tym tomie: J. Kopiasz).

Pierwszy budynek miał kształt zbliżony do prostokątnego. Pod względem konstrukcyjnym, rozmieszczenia łątek, łątek-soch, wewnętrznego rozplanowania nawiązywał do budynków z fazy starszej. Nie natrafiono na ślady sochy wewnętrznej, która w analogicznych obiektach znajdowała się w odległości około 2,20–2,60 m na wschód od łątki-sochy w ścianie zachodniej.

Drugi budynek miał w rzucie poziomym kształt nieregularny, zbliżony do trapezowatego. Obiekt ten wzniesiono prawdopodobnie w niejednolitym systemie konstrukcyjnym: sumikowo-łątkowym i „zastępczej łątki". Ściany szczytowe znajdowały się po stronie północnej i południowej, gdzie odkryto również potencjalne ślady zewnętrznych podpór kalenic. Kalenica opierała się na:



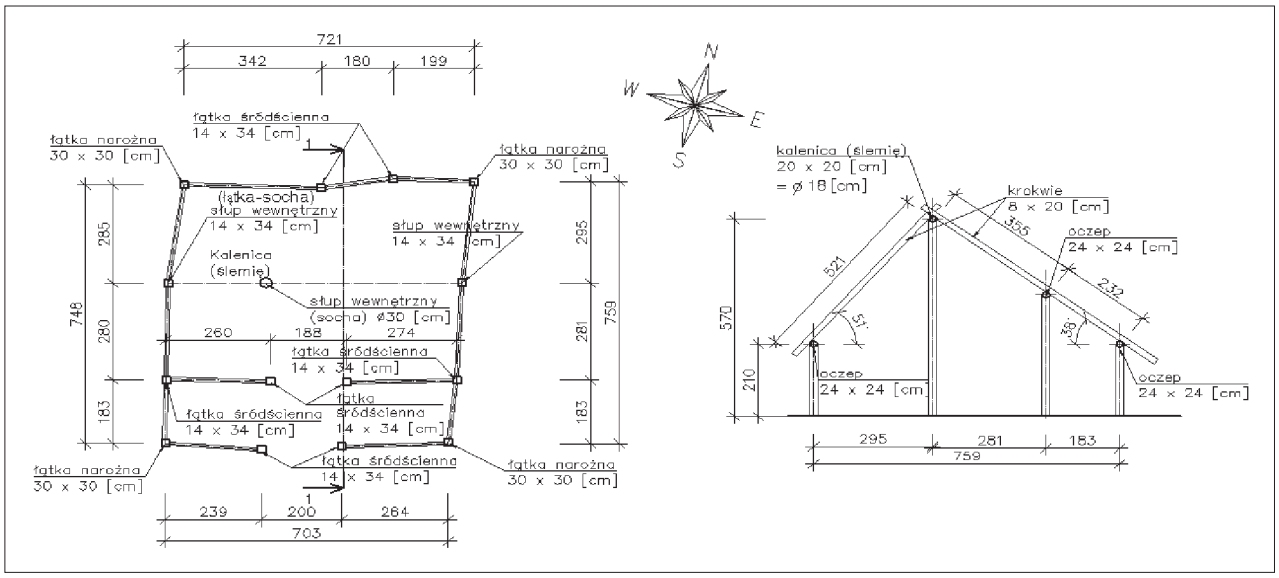
Ryc. 5. Widok perspektywiczny (z góry, z południowego-wschodu) na zarysy reliktów budynków z fazy młodszej w trzecim rzędzie zabudowy: III/1/M i III/2/M-2. Walec koloru niebieskiego – zidentyfikowane elementy konstrukcyjne; walec koloru czerwonego – zrekonstruowany element konstrukcyjny (rys. J. Kopiasz)

Fig. 5. Perspective view (from above, from south-east) of outlines of house remains from the younger phase; third row of buildings: III/1/M and III/2/M-2. Blue cylinder – identified structural elements; red cylinder – reconstructed structural element (drawn by J. Kopiasz)

– łątce-sosze w ścianie szczytowej południowej; podpora ta na dole zamocowana była w sumiku-podwalinie (w jej centralnej części stwierdzono obecność otworu);

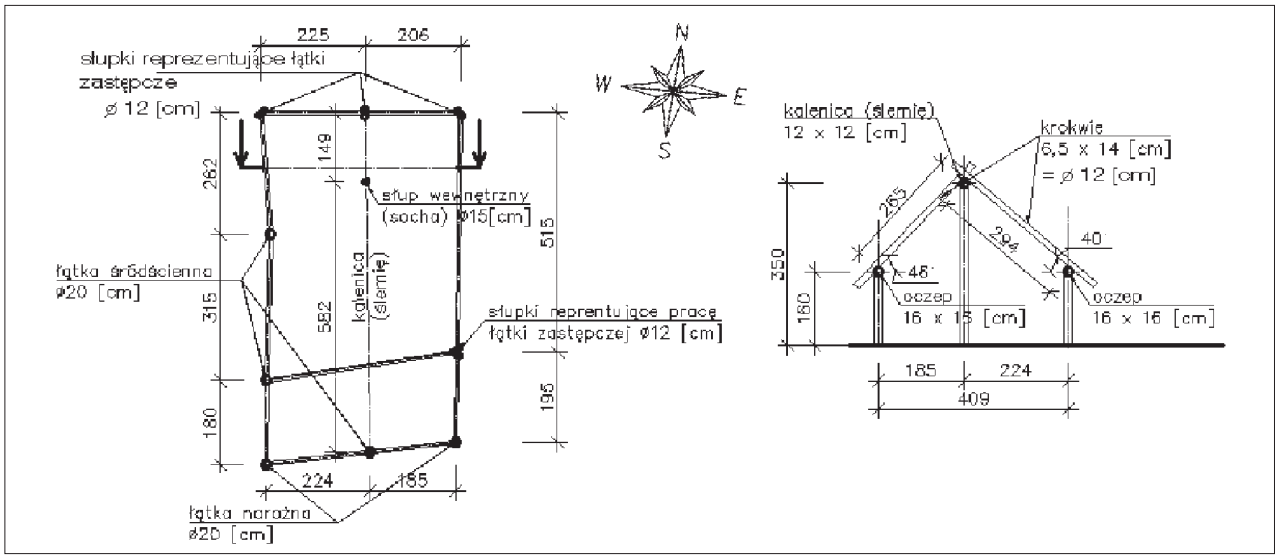
– na słupie w ścianie szczytowej północnej, który jednocześnie podpierał ją od zewnątrz. Prawdopodobnie sochą wewnętrzną był słup zlokalizowany w odległości około 1,60 m na południe od ściany północnej. Istniała teoretyczna możliwość podparcia kalenicy za pomocą półsochy, opartej na ścianie wewnętrznej południowej.

W celu uwzględnienia pracy statycznej tzw. „łątki zastępczej" w modelu przyjęto zmodyfikowany schemat statyczny sumików. Przyjęto, że na końcach



Ryc. 6. Rzut i przekrój budynku III/1/M (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 6. Projection and cross-section of building III/1/M (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)



Ryc. 7. Rzut i przekrój budynku III/2/M-2 (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

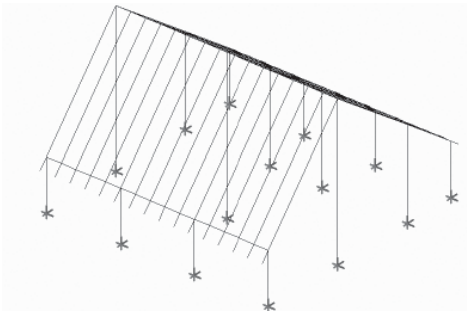
Fig. 7. Projection and cross-section of building III/2/M-2 (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

sumików w systemie „zastępczej łątki" przemieszczenia poziome z płaszczyzny ściany zablokowane są przez drewniane słupki po obu stronach sumika. Przemieszczenia poziome w płaszczyźnie ściany zablokowane były przez oparcie na ścianie budynku sąsiadującego lub wolne w przypadku sumików w narożniku ściany. Dodatkowo ściana północna została zabezpieczona „łątkami zastępczymi" w połowie długości, co zostało zamodelowane jako blokada przemieszczeń poziomych z płaszczyzny ściany.

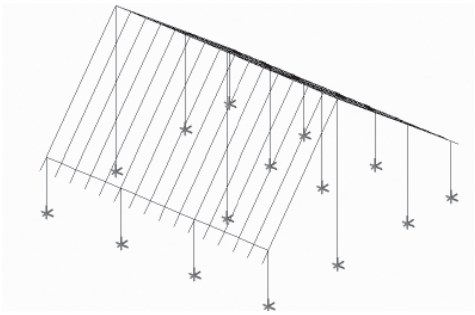
Konstrukcję dachu stanowiły krokwie w rozstawie ok. 65 cm, przekroje przyjęto mniejsze w stosunku to starszej fazy grodu, również prostokątne, o wymiarach 6,5 × 14 cm, z punktu widzenia pracy statycznej elementów konstrukcyjnych taki przekrój może być tożsamy z przekrojem kołowym o średnicy ok. 12 cm. Belkę kalenicową oraz oczep także przyjęto mniejszą w stosunku do wcześniejszych konstrukcji, o wymiarach odpowiednio 12 × 12 cm i 16 × 16 cm. Kalenica opierała się na okrągłym słupie położonym w ścianie południowo-zachodniej o średnicy 20 cm i wysokości 3,5 m oraz na słupie wewnętrznym (socha) o średnicy 15 cm i wysokości 3,5 m. Na konstrukcje ścian składały się prostokątne sumiki o założonych wymiarach 10 × 16 cm oraz w układzie sumikowo-łątkowym łątki o średnicy 20 cm, w układzie „łątki zastępczej" sumiki podparte były przez słupki o średnicy 12 cm. Wysokość podłużnych ścian zewnętrznych wynosiła 1,6 m.

Modelując prace konstrukcji obu budynków przyjęto założenia dotyczące materiałów, obciążeń i oddziaływań środowiskowych analogiczne jak w przypadku modeli numerycznych budynków z fazy starszej. Schemat modeli numerycznych budynków fazy młodszej oraz wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych umieszczono w tablicy 31 i 32.

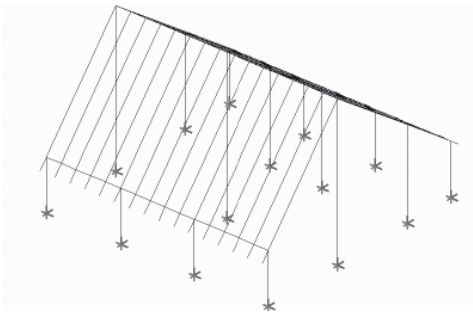
Tabl. 1. Metryka modelu numerycznego 01

DANE MODELU						
Numer modelu	**01**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	19,21		Wartość obliczona [mm]		26,64	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,27		słup wewnętrzny		0,59	
łątka narożna	0,33		łątka narożna		0,53	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,72		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,54**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,49		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,05**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,50		krokiew		**1,11**	
kalenica	0,25		kalenica		0,80	
oczep	0,25		oczep		0,61	

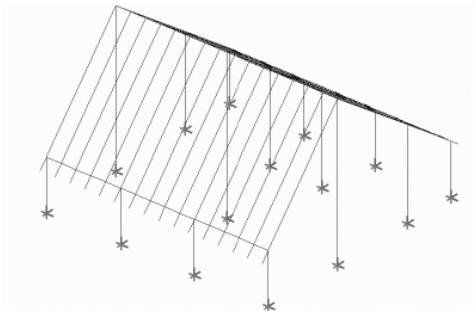
Tabl. 2. Metryka modelu numerycznego 1.1

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.1**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	1	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	1	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	1	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	41,16		Wartość obliczona [mm]		46,87	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	NIE		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,31		łątka narożna		0,65	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,54		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,33**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,49		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,12**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,53		krokiew		**1,09**	
kalenica	0,32		kalenica		0,63	
oczep	0,32		oczep		0,65	

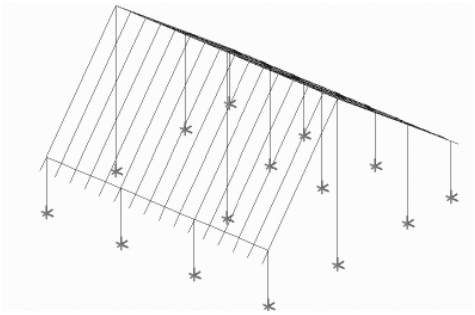
Tabl. 3. Metryka modelu numerycznego 1.2

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.2**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	10	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	10	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	10	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	21,52		Wartość obliczona [mm]		30,34	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,25		łątka narożna		0,57	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,69		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,46**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,45		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,88	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,49		krokiew		**1,06**	
kalenica	0,36		kalenica		0,71	
oczep	0,31		oczep		0,62	

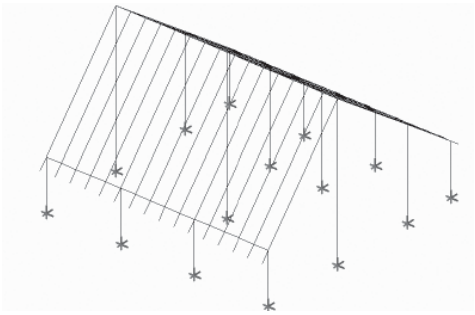
Tabl.4. Metryka modelu numerycznego 1.3

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.3**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	50	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	50	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	50	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	19,30		Wartość obliczona [mm]		29,44	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,24		łątka narożna		0,53	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,69		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,48**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,46		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,98	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,49		krokiew		**1,06**	
kalenica	0,39		kalenica		0,78	
oczep	0,31		oczep		0,62	

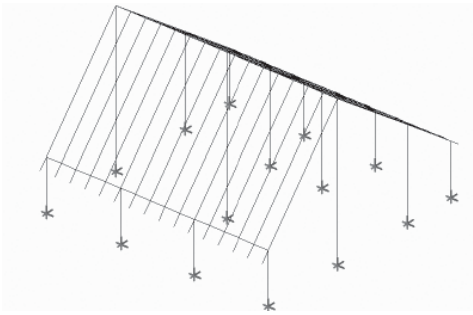
Tabl.5. Metryka modelu numerycznego 1.4

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.4**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	100	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	100	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	100	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	19,01		Wartość obliczona [mm]		29,82	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,25		łątka narożna		0,61	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,69		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,68**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,53		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,13**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,75		krokiew		**1,07**	
kalenica	0,43		kalenica		0,80	
oczep	0,74		oczep		0,61	

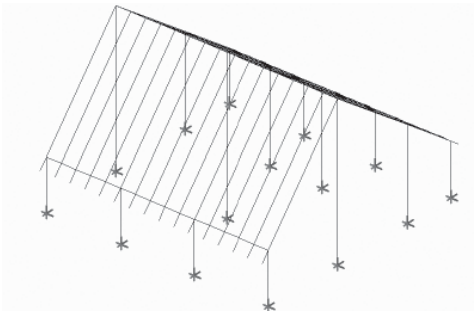
Tabl. 6. Metryka modelu numerycznego 1.5

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.5**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	500	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	500	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	500	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	18,94		Wartość obliczona [mm]		29,26	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,25		łątka narożna		0,46	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,69		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,49**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,53		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,13**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,52		krokiew		**1,07**	
kalenica	0,43		kalenica		0,80	
oczep	0,74		oczep		**1,46**	

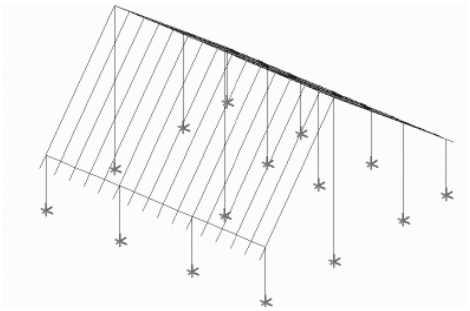
Tabl. 7. Metryka modelu numerycznego 1.6

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.6**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	500	względem X	1
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	500	względem Y	1
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	500	względem Z	1
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	494,9		Wartość obliczona [mm]		280,0	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	NIE		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,26		łątka narożna		0,55	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,50		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,06**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,87		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,87**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	1,15		krokiew		**2,44**	
kalenica	0,44		kalenica		0,88	
oczep	0,33		oczep		0,67	

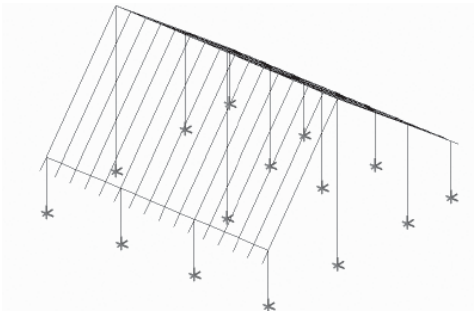
Tabl. 8. Metryka modelu numerycznego 1.7

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.7**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	500	względem X	10
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	500	względem Y	10
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	500	względem Z	10
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element	krokiew		
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter	wzdłuż budynku		
Wartość obliczona [mm]	65,3		Wartość obliczona [mm]	92,3		
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		
Spełniony warunek ugięcia	NIE		Spełniony warunek ugięcia	NIE		
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		
łątka narożna	0,27		łątka narożna	0,58		
łątka śródścienna (w poprzek)	0,36		łątka śródścienna (w poprzek)	0,78		
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,78		łątka śródścienna (wzdłuż)	**1,68**		
sumik	–		sumik	–		
krokiew	0,77		krokiew	**1,63**		
kalenica	0,44		kalenica	0,88		
oczep	0,33		oczep	0,66		

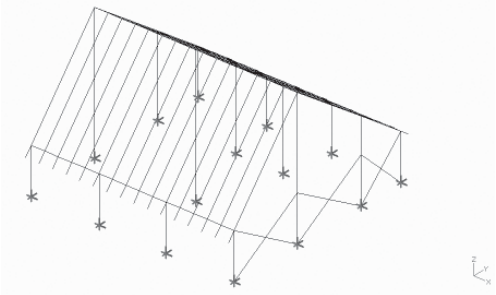
Tabl. 9. Metryka modelu numerycznego 1.8

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.8**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	500	względem X	50
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	500	względem Y	50
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	500	względem Z	50
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	28,76		Wartość obliczona [mm]		48,53	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	NIE		Spełniony warunek ugięcia		NIE	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,25		łątka 54arożna		0,54	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,54		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,15**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,57		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,25**	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,55		krokiew		**1,13**	
kalenica	0,42		kalenica		0,84	
oczep	0,31		oczep		0,63	

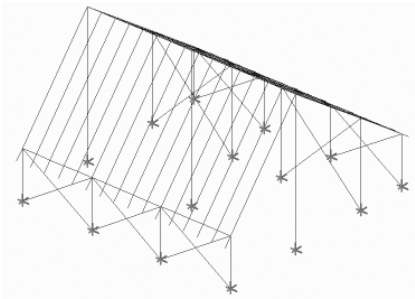
Tabl. 10. Metryka modelu numerycznego 1.9

DANE MODELU						
Numer modelu	**1.9**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Brak sumików					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	500	względem X	100
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	500	względem Y	100
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	500	względem Z	100
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	17,14		Wartość obliczona [mm]		15,04	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,38		łątka 54arożna		0,54	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,77		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,12**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,63		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,96	
sumik	–		sumik		–	
krokiew	0,60		krokiew		**1,29**	
kalenica	0,84		kalenica		**1,34**	
oczep	0,41		oczep		0,59	

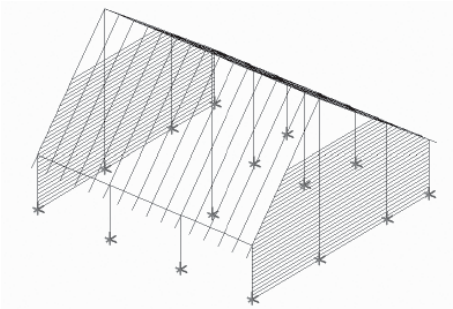
Tabl. 11. Metryka modelu numerycznego 02

DANE MODELU						
Numer modelu	**02**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki uproszczone, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	19×26	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	21.17		Wartość obliczona [mm]		12,08	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,51		słup wewnętrzny		0,70	
łątka narożna	0,36		łątka narożna		0,78	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,05		łątka śródścienna (w poprzek)		0,07	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,72		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,53**	
sumik	0,01		sumik		0,03	
krokiew	0,70		krokiew		0,99	
kalenica	0,28		kalenica		0,77	
oczep	0,27		oczep		0,60	

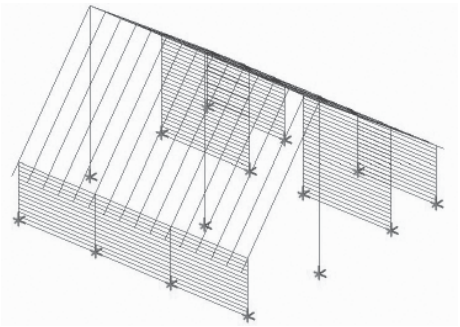
Tabl. 12. Metryka modelu numerycznego 03

DANE MODELU						
Numer modelu	**03**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki uproszczone, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			×
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element	krokiew		
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter	wzdłuż budynku		
Wartość obliczona [mm]	7,52		Wartość obliczona [mm]	51,27		
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia	NIE		
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,90		słup wewnętrzny	**1,02**		
łątka narożna	0,11		łątka narożna	0,23		
łątka śródścienna (w poprzek)	**1,45**		łątka śródścienna (w poprzek)	**2,17**		
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,34		łątka śródścienna (wzdłuż)	0,72		
sumik	0,02		sumik	0,02		
krokiew	0,82		krokiew	**1,54**		
kalenica	0,89		kalenica	**1,36**		
oczep	0,25		oczep	0,62		

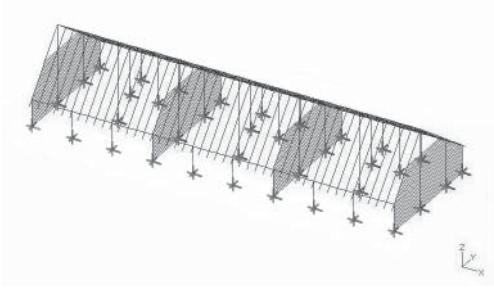
Tabl. 13. Metryka modelu numerycznego 04

DANE MODELU						
Numer modelu	**04**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	18,51		Wartość obliczona [mm]		12,65	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,11		słup wewnętrzny		0,23	
łątka narożna	0,18		łątka narożna		0,39	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,50		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,06**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,52		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,10**	
sumik	0,03		sumik		0,06	
krokiew	0,46		0krokiew		0,99	
kalenica	0,24		kalenica		0,75	
oczep	0,26		oczep		0,61	

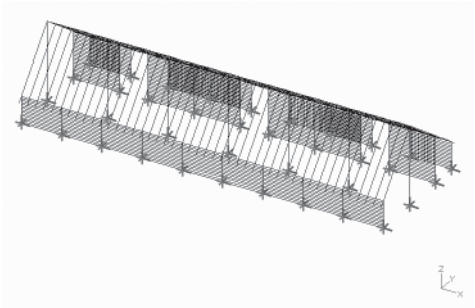
Tabl. 14. Metryka modelu numerycznego 05

DANE MODELU						
Numer modelu	**05**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, model obiektu uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element	krokiew		
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter	wzdłuż budynku		
Wartość obliczona [mm]	7,62		Wartość obliczona [mm]	51,80		
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia	NIE		
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	**1,63**		słup wewnętrzny	**2,37**		
łątka narożna	0,11		łątka narożna	0,31		
łątka śródścienna (w poprzek)	**1,27**		łątka śródścienna (w poprzek)	**2,18**		
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,13		łątka śródścienna (wzdłuż)	0,27		
sumik	0,03		sumik	0,05		
krokiew	0,82		krokiew	**1,28**		
kalenica	0,64		kalenica	**1,36**		
oczep	0,18		oczep	0,61		

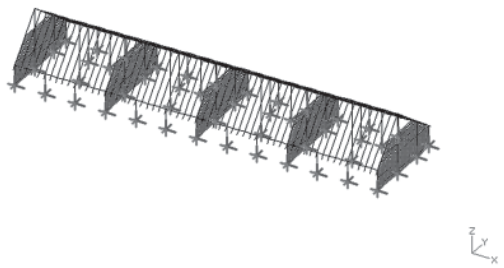
Tabl. 15. Metryka modelu numerycznego 06

DANE MODELU						
Numer modelu	**06**		Schemat 			
Modelowane obiekty	szereg trzech budynków uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek szeregu budynków					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	15,13		Wartość obliczona [mm]		12,04	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,35		słup wewnętrzny		0,83	
łątka narożna	0,17		łątka narożna		0,32	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,39		łątka śródścienna (w poprzek)		0,83	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,39		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,81	
sumik	0,26		sumik		0,53	
krokiew	0,68		krokiew		**1,01**	
kalenica	0,29		kalenica		0,57	
oczep	0,36		oczep		0,73	

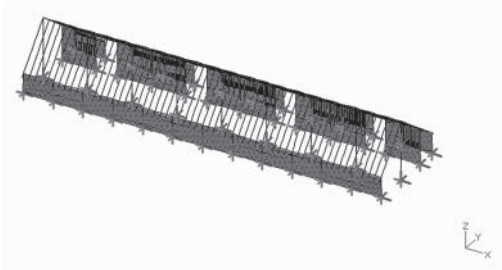
Tabl. 16. Metryka modelu numerycznego 07

DANE MODELU						
Numer modelu	**07**		Schemat 			
Modelowane obiekty	szereg trzech budynków uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż szeregu budynków					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	10,24		Wartość obliczona [mm]		16,12	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,93		słup wewnętrzny		**1,34**	
łątka narożna	0,11		łątka narożna		0,22	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,99		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,25**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,26		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,53	
sumik	0,03		sumik		0,06	
krokiew	0,24		krokiew		0,70	
kalenica	0,42		kalenica		0,87	
oczep	0,20		oczep		0,62	

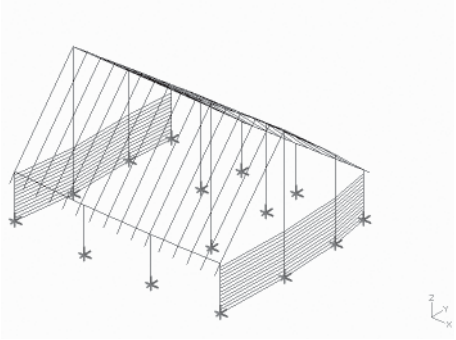
Tabl. 17. Metryka modelu numerycznego 08

DANE MODELU						
Numer modelu	**08**		Schemat 			
Modelowane obiekty	szereg trzech budynków uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Model wg Żurowskiego, sumiki rzeczywiste, w poprzek szeregu budynków					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	Śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		Krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	15,12		Wartość obliczona [mm]		11,86	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,36		słup wewnętrzny		0,78	
łątka narożna	0,21		łątka narożna		0,45	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,36		łątka śródścienna (w poprzek)		0,78	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,79		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,81	
sumik	0,25		sumik		0,51	
krokiew	0,71		krokiew		**1,01**	
kalenica	0,29		kalenica		0,57	
oczep	0,36		oczep		0,73	

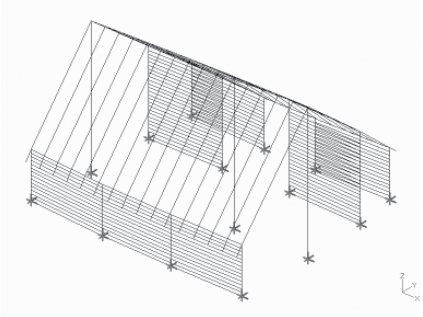
Tabl. 18. Metryka modelu numerycznego 09

DANE MODELU						
Numer modelu	**09**		Schemat 			
Modelowane obiekty	szereg trzech budynków uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Model wg Żurowskiego, sumiki rzeczywiste, wzdłuż szeregu budynków					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny	prostokątny	14×34	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30×30	Śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	10,24		Wartość obliczona [mm]		12,71	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		29,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,58		słup wewnętrzny		0,68	
łątka narożna	0,11		łątka narożna		0,18	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,55		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,18**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,25		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,53	
sumik	0,02		sumik		0,06	
krokiew	0,20		krokiew		0,66	
kalenica	0,43		kalenica		0,87	
oczep	0,20		oczep		0,66	

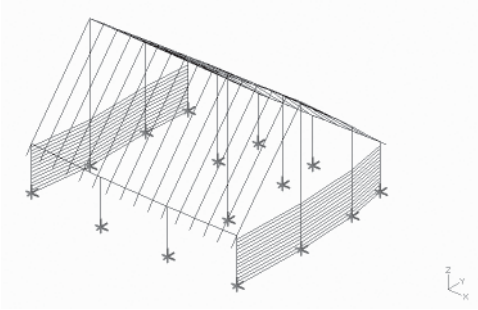
Tabl. 19. Metryka modelu numerycznego 10

DANE MODELU						
Numer modelu	**10**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	Śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	11,32		Wartość obliczona [mm]		2,62	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,77		słup wewnętrzny		**1,08**	
łątka narożna	0,21		łątka narożna		0,30	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,31		łątka śródścienna (w poprzek)		0,44	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,85		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,25**	
sumik	0,03		sumik		0,08	
krokiew	0,47		krokiew		0,58	
kalenica	0,62		kalenica		0,87	
oczep	0,28		oczep		0,33	

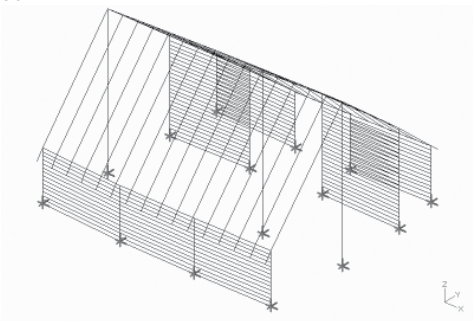
Tabl. 20. Metryka modelu numerycznego 11

DANE MODELU						
Numer modelu	**11**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	9,52		Wartość obliczona [mm]		19,29	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	**1,01**		słup wewnętrzny		**1,46**	
łątka narożna	0,03		łątka narożna		0,07	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,83		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,22**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,12		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,27	
sumik	0,01		sumik		0,02	
krokiew	0,25		krokiew		0,54	
kalenica	0,52		kalenica		0,94	
oczep	0,14		oczep		0,30	

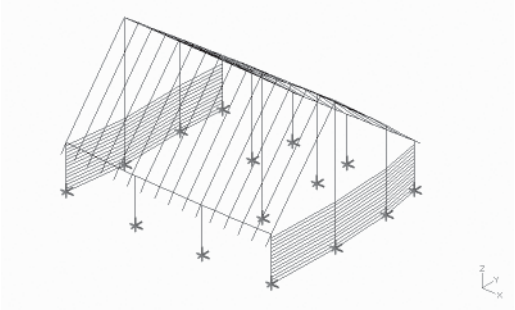
Tabl. 21. Metryka modelu numerycznego 12

DANE MODELU						
Numer modelu	**12**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	50	względem X	500
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	50	względem Y	500
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	50	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	11,55		Wartość obliczona [mm]		2,7	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,21		łątka narożna		0,31	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,33		łątka śródścienna (w poprzek)		0,46	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,78		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,54**	
sumik	0,03		sumik		0,08	
krokiew	0,52		krokiew		0,76	
kalenica	0,62		kalenica		0,83	
oczep	0,29		oczep		0,33	

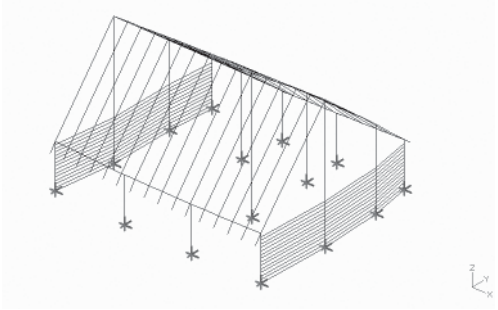
Tabl. 22. Metryka modelu numerycznego 13

DANE MODELU						
Numer modelu	**13**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	50	względem X	500
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	50	względem Y	500
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	50	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	10,06		Wartość obliczona [mm]		21,83	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,02		łątka narożna		0,05	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,42		łątka śródścienna (w poprzek)		0,93	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,17		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,39	
sumik	0,01		sumik		0,02	
krokiew	0,23		krokiew		0,49	
kalenica	0,52		kalenica		0,92	
oczep	0,11		oczep		0,24	

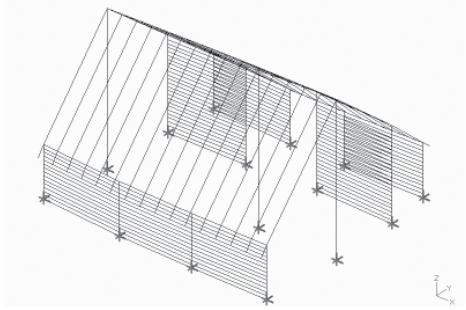
Tabl. 23. Metryka modelu numerycznego 14

DANE MODELU						
Numer modelu	**14**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	11,32		Wartość obliczona [mm]		2,62	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,77		słup wewnętrzny		**1,08**	
łątka narożna	0,21		łątka narożna		0,30	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,31		łątka śródścienna (w poprzek)		0,44	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,88		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,29**	
sumik	0,03		sumik		0,08	
krokiew	0,47		krokiew		0,76	
kalenica	0,62		kalenica		0,87	
oczep	0,28		oczep		0,40	

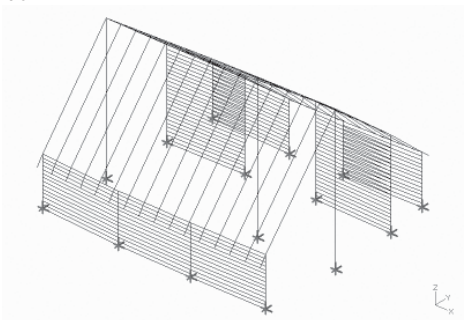
Tabl. 24. Metryka modelu numerycznego 15

DANE MODELU						
Numer modelu	**15**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	$\varphi = 30$	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30×30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14×34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8×15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8×20	w kierunku X	50	względem X	500
kalenica	prostokątny	20×20	w kierunku Y	50	względem Y	500
oczep	prostokątny	24×24	w kierunku Z	50	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		Krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	11,77		Wartość obliczona [mm]		2,8	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,21		łątka narożna		0,31	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,33		łątka śródścienna (w poprzek)		0,46	
łątka śródścienna (wzdłuż)	**1,06**		łątka śródścienna (wzdłuż)		**1,58**	
sumik	0,03		sumik		0,08	
krokiew	0,52		krokiew		0,76	
kalenica	0,62		kalenica		0,85	
oczep	0,29		oczep		0,33	

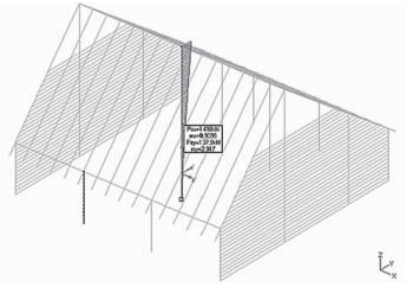
Tabl. 25. Metryka modelu numerycznego 16

DANE MODELU						
Numer modelu	**16**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		Krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	9,52		Wartość obliczona [mm]		19,29	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	1,00		słup wewnętrzny		**1,44**	
łątka narożna	0,03		łątka narożna		0,07	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,88		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,23**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,12		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,27	
sumik	0,01		sumik		0,02	
krokiew	0,25		krokiew		0,54	
kalenica	0,53		kalenica		0,95	
oczep	0,14		oczep		0,30	

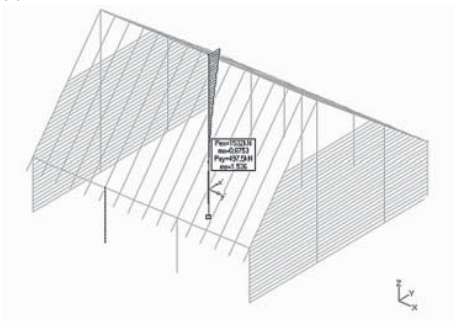
Tabl. 26. Metryka modelu numerycznego 17

DANE MODELU						
Numer modelu	**17**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek – II/6/S					
Charakter rzutu	Trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	50	względem X	500
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	50	względem Y	500
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	50	względem Z	500
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	Krokiew		Element		Krokiew	
Charakter	w poprzek budynku		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	10,06		Wartość obliczona [mm]		21,83	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	Przekroczona smukłość		słup wewnętrzny		Przekroczona smukłość	
łątka narożna	0,02		łątka narożna		0,05	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,96		łątka śródścienna (w poprzek)		**1,46**	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,17		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,39	
sumik	0,01		sumik		0,02	
krokiew	0,23		krokiew		0,49	
kalenica	0,53		kalenica		0,93	
oczep	0,11		oczep		0,24	

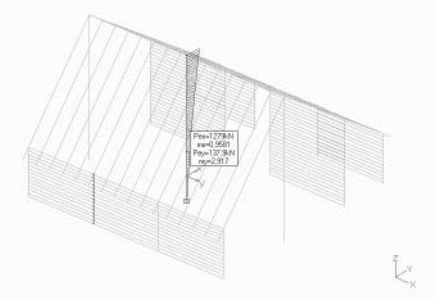
Tabl. 27. Metryka modelu numerycznego 18

DANE MODELU						
Numer modelu	**18**		Schemat 			
Modelowane obiekty	słup wewnętrzny bez podpory na półpiętrze uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Słup o przekroju okrągłym, sumiki rzeczywiste w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Strzałka ugięcia [mm]	6,30					
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	31,0					
Spełniony warunek ugięcia	TAK					
Smukłość	**165**					
Wytężenie przekroju	0,15					
Wytężenie elementu	0,67					

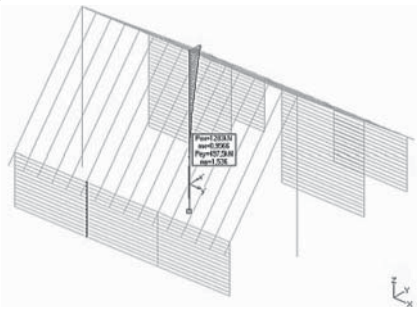
Tabl. 28. Metryka modelu numerycznego 19

DANE MODELU						
Numer modelu	**19**		Schemat 			
Modelowane obiekty	słup wewnętrzny z podporą na półpiętrze uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Słup o przekroju okrągłym, sumiki rzeczywiste w poprzek budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✓
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✗
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Strzałka ugięcia [mm]	10,46					
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	31,0					
Spełniony warunek ugięcia	TAK					
Smukłość	**123**					
Wytężenie przekroju	0,20					
Wytężenie elementu	0,50					

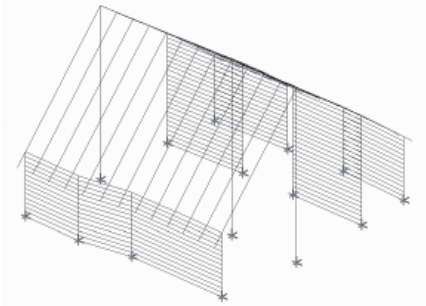
Tabl. 29. Metryka modelu numerycznego 20

DANE MODELU						
Numer modelu	**20**		Schemat 			
Modelowane obiekty	słup wewnętrzny bez podpory na półpiętrze uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Słup o przekroju okrągłym, sumiki rzeczywiste wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Strzałka ugięcia [mm]	**31,63**					
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	31,0					
Spełniony warunek ugięcia	NIE					
Smukłość	**165**					
Wytężenie przekroju	0,72					
Wytężenie elementu	**1,53**					

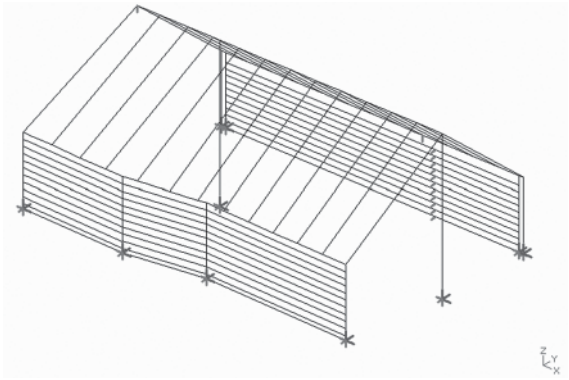
Tabl. 30. Metryka modelu numerycznego 21

DANE MODELU						
Numer modelu	**21**		Schemat 			
Modelowane obiekty	słup wewnętrzny z podporą na półpiętrze uwzgl. budynek wg J. Kostrzewskiego (1936, ryc. na s. 11) i V/5/S					
Charakter rzutu	Prostokąt					
Wysokość konstrukcji [m]	6,2					
Uwagi	Słup o przekroju okrągłym w budynku jw. z sumikami rzeczywistymi, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	8 × 15	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Strzałka ugięcia [mm]	**46,95**					
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	31,0					
Spełniony warunek ugięcia	NIE					
Smukłość	**123**					
Wytężenie przekroju	0,90					
Wytężenie elementu	**1,36**					

Tabl. 31. Metryka modelu numerycznego III/1/M

DANE MODELU						
Numer modelu	**III/1/M**		Schemat 			
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek III/1/M					
Charakter rzutu	trapez					
Wysokość konstrukcji [m]	5,7					
Uwagi	Sumiki rzeczywiste, wzdłuż budynku					
Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha wewnętrzna)	okrągły	φ = 30	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna	prostokątny	30 × 30	śnieg			✓
łątka śródścienna	prostokątny	14 × 34	Sztywność podpór			
sumik	–	–	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	8 × 20	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	20 × 20	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	24 × 24	w kierunku Z	brak	względem Z	brak
OTRZYMANE WYNIKI						
Maksymalne ugięcia						
Element	krokiew		Element		Krokiew	
Charakter	w poprzek budynku (YZ)		Charakter		wzdłuż budynku	
Wartość obliczona [mm]	5,82		Wartość obliczona [mm]		14,21	
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95		Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]		26,95	
Spełniony warunek ugięcia	TAK		Spełniony warunek ugięcia		TAK	
Wytężenia						
Wartości charakterystyczne			Wartości obliczeniowe			
słup wewnętrzny	0,75		słup wewnętrzny		1,09	
łątka narożna	0,10		łątka narożna		0,21	
łątka śródścienna (w poprzek)	0,82		łątka śródścienna (w poprzek)		1,17	
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,37		łątka śródścienna (wzdłuż)		0,55	
sumik	0,01		sumik		0,02	
krokiew	0,37		krokiew		0,60	
kalenica	0,23		kalenica		0,33	
oczep	0,28		oczep		0,52	

Tabl. 32. Metryka modelu numerycznego III/2/M-2

Numer modelu	**III/2/M**	Schemat 
Modelowane obiekty	pojedynczy, rzeczywisty budynek III/2/M-2	
Charakter rzutu	trapez	
Wysokość konstrukcji [m]	3,5	
Uwagi	Sumiki rzeczywiste wzdłuż dwóch ścian, układ z „łątką zastępczą" wzdłuż dwóch pozostałych	

Przekroje			Zadane obciążenia			
Materiał	Drewno C27		ciężar własny			✓
Element	Rodzaj przekroju	Wymiary [cm]	pokrycie strzechą			✓
			wiatr prostopadły (kierunek NW)			✗
słup wewnętrzny (socha)	okrągły	φ = 15	wiatr równoległy (kierunek SW)			✓
łątka narożna i śródścienna	okrągły	φ = 20	śnieg			✓
„łątka zastępcza"	okrągły	φ = 12	Sztywność podpór			
sumik	prostokątny	16 × 10	Przesuw	[kN/mm]	Obrót	[kNm/°]
krokiew	prostokątny	6,5 × 14	w kierunku X	brak	względem X	brak
kalenica	prostokątny	12 × 12	w kierunku Y	brak	względem Y	brak
oczep	prostokątny	16 × 16	w kierunku Z	brak	względem Z	brak

OTRZYMANE WYNIKI			
Maksymalne ugięcia			
Element	krokiew	Element	Krokiew
Charakter	w poprzek budynku (YZ)	Charakter	wzdłuż budynku
Wartość obliczona [mm]	1,04	Wartość obliczona [mm]	0,70
Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95	Wartość dopuszczalna wg PN-EN 1995 [mm]	26,95
Spełniony warunek ugięcia	TAK	Spełniony warunek ugięcia	TAK
Wytężenia			
Wartości charakterystyczne		Wartości obliczeniowe	
słup wewnętrzny	**2,71**	słup wewnętrzny	**2,71**
łątka narożna	0,23	łątka narożna	0,45
łątka śródścienna (w poprzek)	0,02	łątka śródścienna (w poprzek)	0,05
łątka śródścienna (wzdłuż)	0,44	łątka śródścienna (wzdłuż)	0,70
sumik	0,05	sumik	0,10
krokiew	0,42	krokiew	0,98
kalenica	0,59	kalenica	0,89
oczep	0,64	oczep	0,90

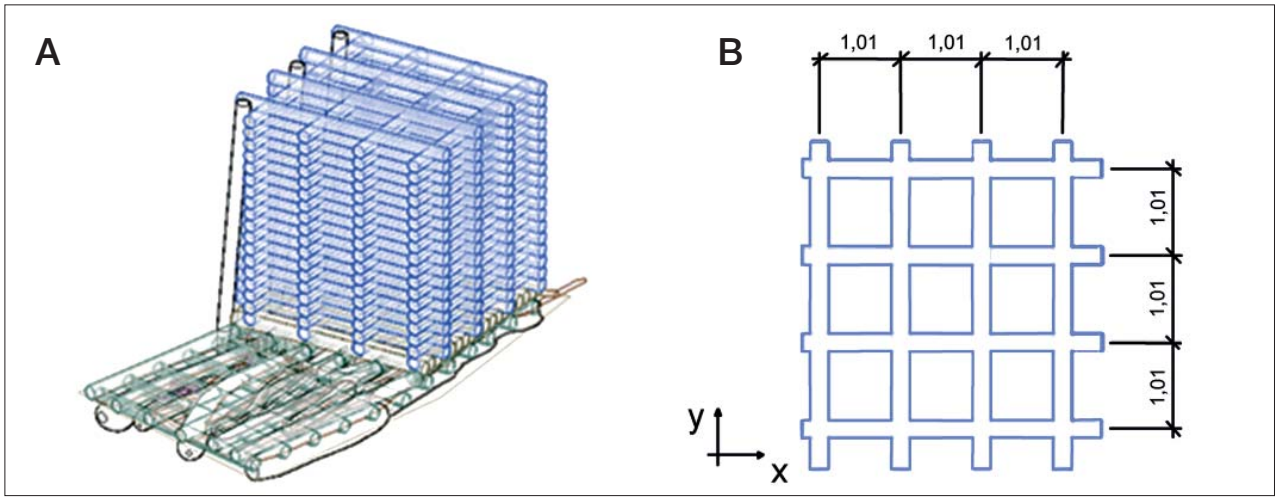
II.4. Wał

II.4.1. Opis konstrukcji wału

Przedmiotem opracowania jest tzw. wał starszy W2, którego obecność stwierdzono na znacznym odcinku północnej części stanowiska. Zróżnicowany stan zachowania tego obiektu pozwolił na zrekonstruowanie jego dolnej części, na której posadowiona była konstrukcja kaszycowa/skrzyniowa (w tym tomie: J. Kopiasz). Wał wykonany był w przestrzennej konstrukcji drewniano-gruntowej. Jest to konstrukcja skrzynkowa – kaszycowa (ryc. 5). Do wykonania przestrzennej drewnianej konstrukcji kaszyc/szkrzyń konieczne jest stosowanie drewna odpornego na butwienie. Stąd rekomendowane jest wykorzystanie do tego celu pni gatunków twardych drzew. Przyjęto, że do budowy wału w Biskupinie wykorzystane zostały bale dębowe. Typową średnicą drewnianych bali jest wielkość ok. 15 cm. Konstrukcja kaszyc/skrzyń posiada dużą odkształcalność, co wpływa znacząco na odporność na nierównomierne osiadanie. Nawet kilkudziesięciocentymetrowe różnice osiadania nie powodują uszkodzeń konstrukcji oporowej. Zaletą takiej cechy jest możliwość posadowienia kaszyc/skrzyń w strefie przemarzania gruntów. Zaleca się jednak zagłębienie konstrukcji kaszycy w grunt do około 60 cm (Krzemiński, Terlikowski 2015, s. 213). Konstrukcja wału w Biskupinie prawdopodobnie nie była zagłębiona w gruncie, chociaż pojedyncze elementy ją tworzące mogły być w nim kotwione. Nie wpływa to w sposób znaczący na prace tego typu konstrukcji oporowej.

Wał, oprócz funkcji obronnej, stanowił przede wszystkim zabezpieczenie grodu od strony jeziora, osłaniając zabudowania i wnętrze grodu przed napływem wody i uderzeniami fal oraz wiatrem. Wnętrze wału – kaszycy/skrzyni wypełnione było gruntem spoistym i piaszczystym. Grunt spoisty, ze względu na małą przepuszczalność wody, stanowił jednocześnie zabezpieczenie konstrukcji drewnianej przed szybkim butwieniem. Wypełnienie kaszycy/skrzyni gruntem stabilizowało ją statecznie, zapobiegając obrotowi i przesunięciu. Konstrukcja kaszyc/skrzyń tworzących wał przypominała skrzynki o długościach boków ok. 1 m i 1,5 m (w przyjętych obliczeniach – 1,01 × 0,95 m) (ryc. 8).

Na ryc. 8 przedstawiono model 3D oraz rozstawy elementów palisady. W pierwszym etapie analizy przeprowadzono weryfikację przyjętych rozmiarów drewnianych elementów konstrukcji kaszycowej/skrzyniowej. W tym celu utworzono model numeryczny skrajnego fragmentu wału o długości ok. 3 m (ryc. 9), który obciążono parciem gruntu będącego wypełnieniem kaszyc/skrzyń.



Ryc. 8. A – model 3D analizowanej konstrukcji kaszycowej (skrzyniowej); B – rozstawy elementów kaszycy [m] (rys. J. Kopiasz)

Fig. 8. A – 3D model of crib (box) construction; B – span between crib elements [m] (drawn by J. Kopiasz)

II.4.2. Obciążenia wału

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono, uwzględniając wewnętrzne parcie gruntu będącego wypełnieniem kaszyc/skrzyń oraz parcie statyczne wody. Celem obliczeń była weryfikacja przyjętych założeń geometrycznych i materiałowo-konstrukcyjnych kaszycowej/skrzyniowej konstrukcji wału. Wartość parcia gruntu stanowiącego wypełnienie palisady można ustalić jako parcie spoczynkowe gruntu, korzystając ze wzoru:

$$e_0 = \gamma \cdot K_0 \cdot h \tag{1}$$

gdzie: γ – ciężar objętościowy gruntu $[kN/m^3]$,
K_0 – współczynnik parcia spoczynkowego $[-]$,
h – głębokość (wysokość zasypki) $[m]$.

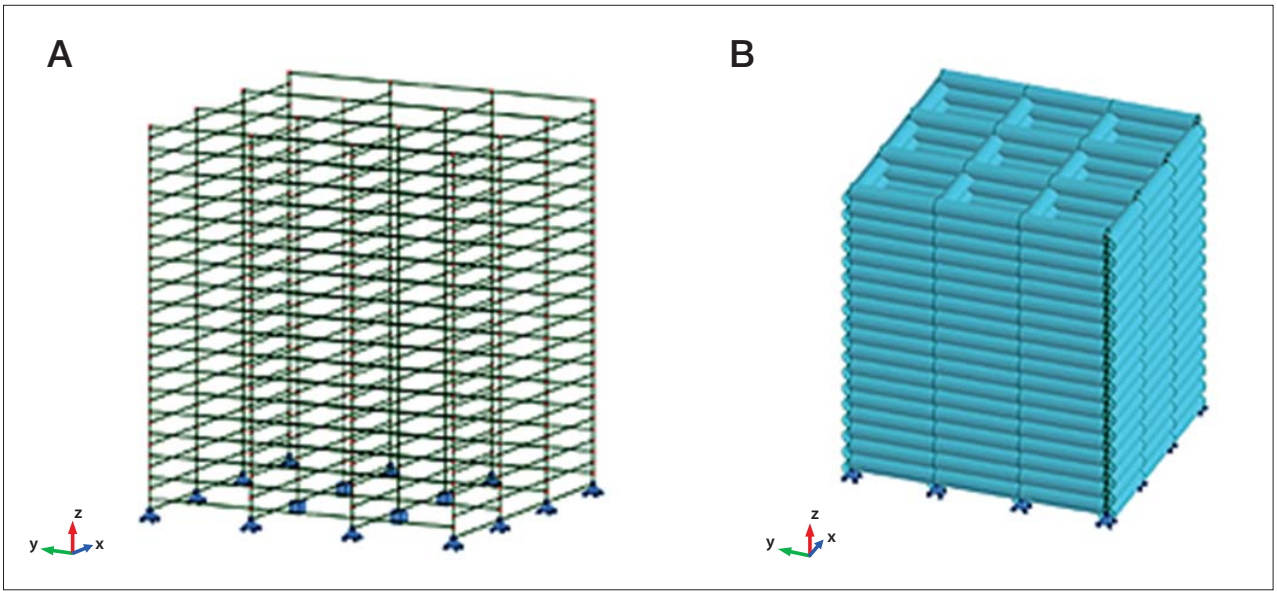
Na ryc. 10 pokazano wykres parcia gruntu stosowany do projektowania ścian oporowych oraz analogiczny rozkład parcia gruntu na ściany zewnętrzne i palisadę. Współczynnik parcia spoczynkowego obliczono ze wzoru Jáky'ego:

$$K_0 = 1 - \sin\phi \tag{2}$$

gdzie: ϕ – kąt tarcia wewnętrznego gruntu $[°]$,

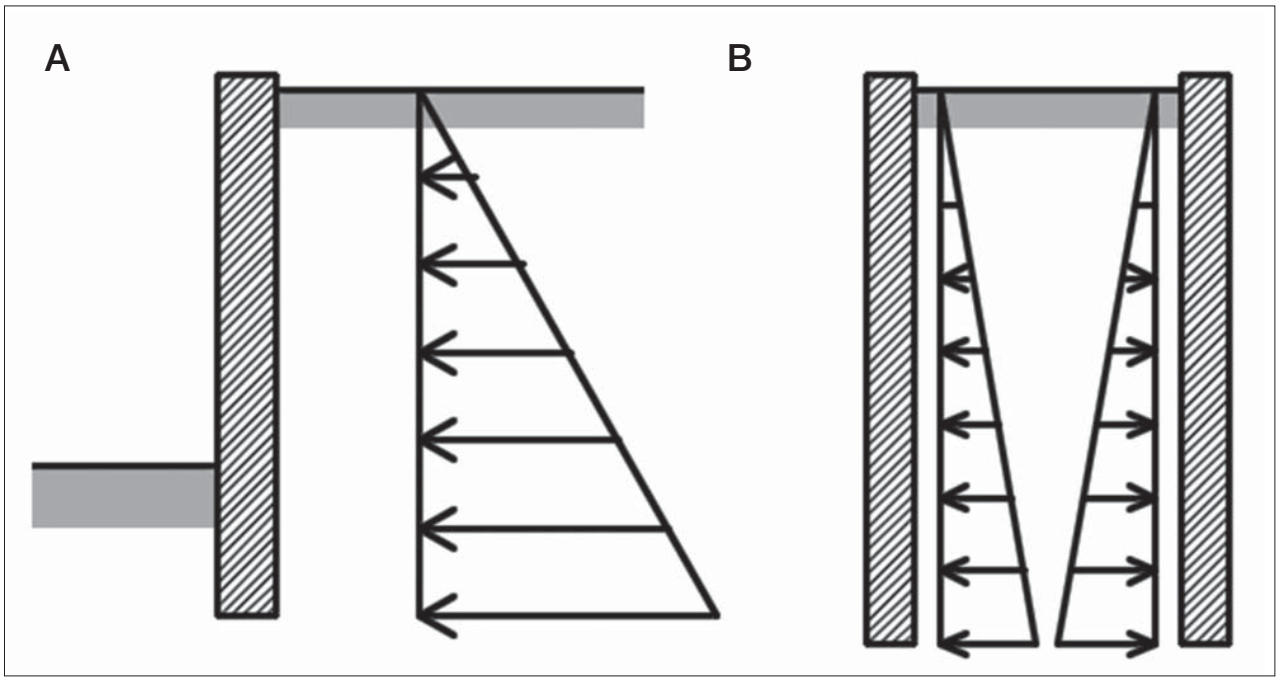
Do analiz obliczeniowych przyjęto bardziej niekorzystny wariant obciążeniowy w postaci wypełnienia kaszyc piaskiem sypkim. Wartość obliczona według wzoru (1) jest wielkością poziomego parcia gruntu niezależną od analizowanego kierunku. W celu ustalenia obciążenia poszczególnych elementów kaszycy/skrzyni przyjęto trójkątny rozkład parcia gruntu na poszczególne elementy konstrukcji. Podział na pola, z których parcie uwzględniano jako obciążenie elementów w odpowiednim kierunku (x i y) dla pojedynczej „skrzyni" kaszycy, pokazano na ryc. 11: A. Na ryc. 11: B pokazano obciążenia zgodne z kierunkami x i y, działające na poszczególne elementy kaszycy. Dodatkowo różnice w parciu gruntu na poszczególne elementy będą wynikały z różnic wysokości, na których znajdują się elementy ułożone w kierunkach x i y.

Korzystając ze wzoru (1) oraz rozdziału na pola obciążeń z ryc. 11: A można ustalić wartość wypadkowego obciążenia od gruntu na każdy element kaszycy, na odpowiednim poziomie, a następnie obliczyć wartość obciążenia rozłożonego w postaci obciążenia trójkątnego. Wzory konieczne do ustalenia wartości obciążeń w kierunkach x i y mają następującą postać:



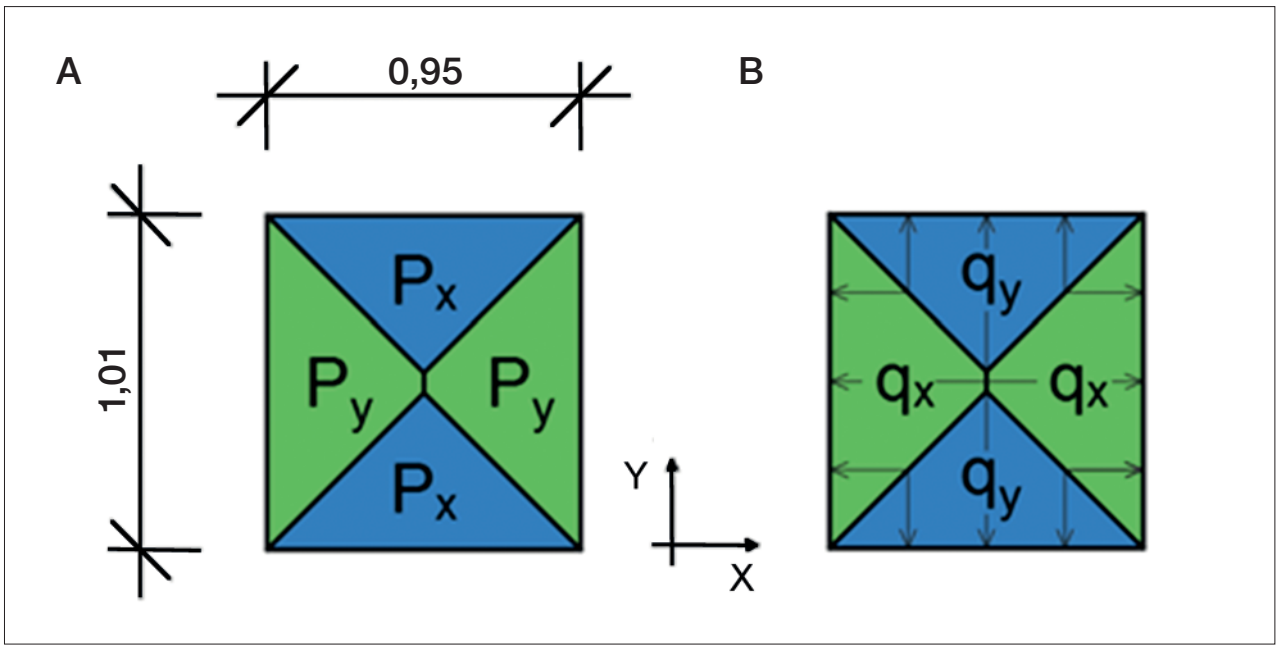
Ryc. 9. Model numeryczny kaszycy (skrzyni wału): A – schemat statyczny, B – schemat z uwzględnieniem przekrojów elementów (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 9. Numeric model of crib (rampart box): A – static scheme, B – diagram with cross-sections of elements (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)



Ryc. 10. A – Parcie gruntu na ścianę oporową, B – parcie gruntu na ściany zewnętrzne kaszycy (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 10. A – Earth pressure on the retaining wall, B – earth pressure on external walls of crib (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)



Ryc. 11. A – rozdział na pola, z których zbierano obciążenie parciem gruntu na elementy kaszycy (skrzyni wału); B – obciążenie elementów kaszycy (skrzyni wału) parciem gruntu (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 11. A – division into areas from which data was collected about earth pressure on elements of crib (box of rampart); B – load on elements of crib (box of rampart) by earth pressure (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

$$F_x^R = e_{p,x} \cdot P_y \rightarrow q_x = \frac{2 \cdot F_x^R}{l_y},$$
$$F_y^R = e_{p,y} \cdot P_x \rightarrow q_y = \frac{2 \cdot F_y^R}{l_x}. \quad (3)$$

W celu sprawdzenia wytrzymałości elementów drewnianych na obciążenia wynikające z parcia gruntu znajdującego się wewnątrz kaszycy należy przyjąć rozkład jak na ryc. 12. W przedstawionym rozkładzie widoczne jest równoważenie się obciążeń (ryc. 11 – kolor niebieski) w wewnętrznych elementach. Część obciążeń działających na ściany boczne w poszczególnych, przylegających do siebie skrzyniach równoważy się, z tego powodu w modelu obliczeniowym przyjęto jedynie obciążenia, które nie są równoważone (ryc. 12 – kolor czerwony), czyli tylko obciążenie elementów zewnętrznych.

Schemat obciążeń przyjętych w analizie numerycznej pokazano na ryc. 13.

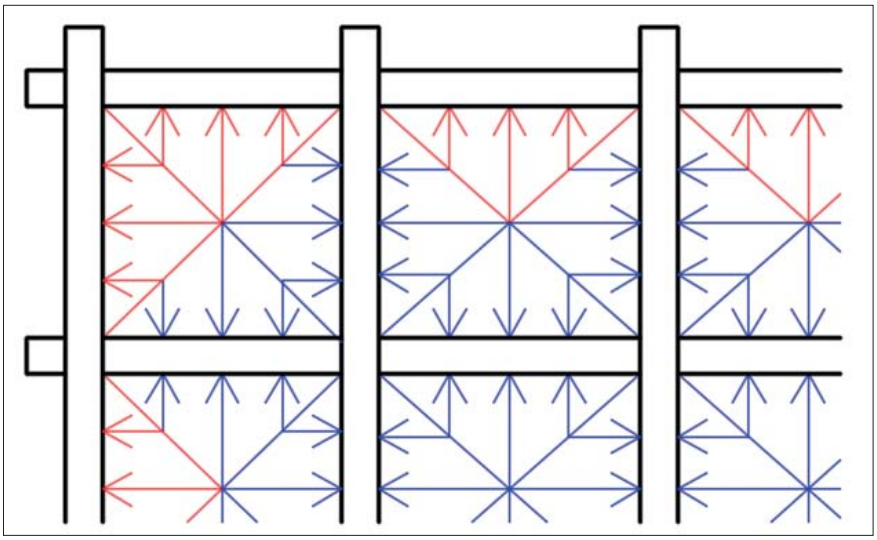
Przykładowe wyniki obliczeń w postaci wartości i wykresów sił wewnętrznych w modelu numerycznym konstrukcji kaszycowej/skrzyniowej wału, zamieszczono na ryc. 11. Uwzględniając parcie statyczne wody jeziora działające na ścianę zewnętrzną wału ustalono, że szacowana wysokość maksymalna wału 5–6 m była możliwa do zrealizowania. Zgodnie z obliczeniami, warunki stateczności ogólnej wału są spełnione przy maksymalnej wysokości konstrukcji 13,7 m.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza numeryczna modeli obiektów budowlanych występujących w biskupińskim grodzie w dwóch fazach jego rozwoju, dowiodła słuszności przyjmowanych dotychczas w badaniach założeń, potwierdzonych analizą archiwalnej dokumentacji rysunkowej i fotograficznej, dotyczącej geometrii budynków starszej i młodszej fazy grodu oraz konstrukcji wału.

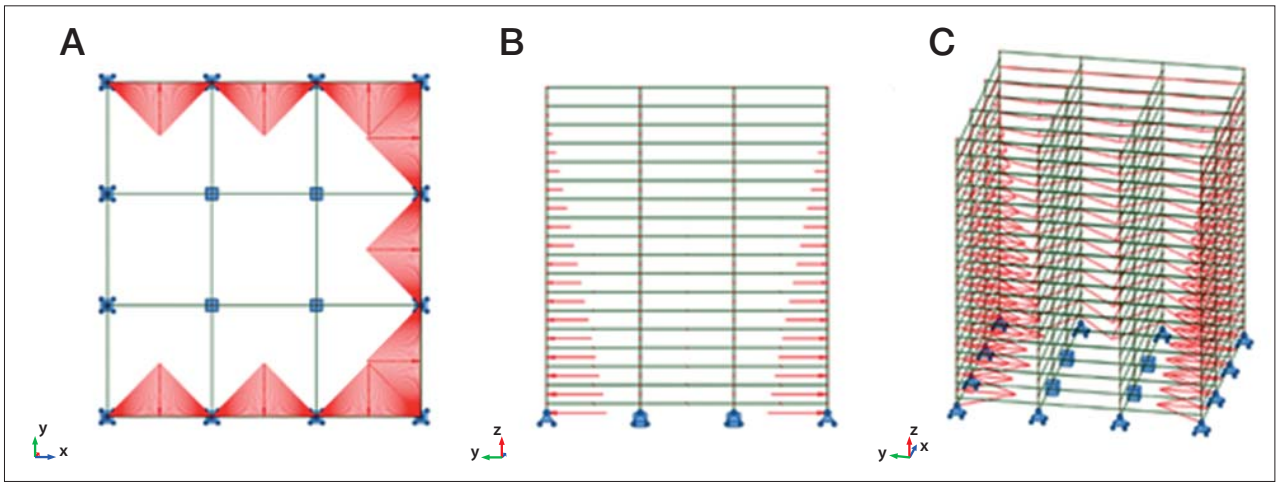
Wciąż nie jest jasny do końca sposób posadowienia budynków. Przedwojenne badania archeologiczne wykazały możliwość kotwienia pionowych elementów konstrukcyjnych budynków w gruncie, chociaż dokumentacja fotograficzna nie dała w tym względzie jednoznacznej odpowiedzi. Analizując przeprowadzone badania numeryczne, szczególnie budynki fazy starszej grodu – podtypy 1.1 do 1.9, można stwierdzić, że czynnikiem najsilniej oddziałującym na konstrukcję jest podatność jej podpór. Usztywnienie podpór w gruncie mogło być zrealizowane poprzez kotwienie łątek i soch w gruncie (istotna jest wówczas głębokość kotwienia oraz parametry geotechniczne gruntu, wpływające bezpośrednio na jego podatność) lub poprzez system poziomych rusztów, tworzących rodzaj płaskiej tratwy rozłożonej na podmokłym terenie Biskupina, przytrzymujących przy pomocy klinów i kamieni pionowe elementy konstrukcyjne budynku.

Badania konstrukcyjno-materiałowe wykazały, że konstrukcje budynków zarówno w fazie starszej, jak i młodszej były konstrukcjami przemyślanymi,



Ryc. 12. Rozkład obciążeń we fragmencie analizowanego wału (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 12. Load distribution in fragment of analyzed rampart (drawn by M. Gregoriou--Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)



Ryc. 13. Schemat obciążeń przyjęty w analizie: A – widok z góry, B. – widok z boku, C – widok 3D (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 13. Load diagram adopted in the analysis: A – view from above, B – view from side, C – 3D view (drawn by M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

wykonanymi właściwie oraz zgodnie ze sztuką budowlaną. Poziom technologiczny obiektów budowlanych był bardzo zaawansowany, świadczy o wysokim poziomie ówczesnych budowniczych.

Modele numeryczne budynków (tabl. 1–5) fazy starszej pokazały, w jaki sposób sumiki wpływają na pracę konstrukcji całej chaty. Są one nie tylko wypełnieniem ścian, chroniącym przed zmiennymi warunkami atmosferycznymi, ale też ważnymi elementami usztywniającymi konstrukcję.

Z modeli budynków w tabl. 6–9 można wnioskować, że drugim elementem usztywniającym konstrukcje było połączenie domów w szeregi. Dzięki temu poszczególne chaty wykazywały mniejsze ugięcia elementów konstrukcyjnych niż w przypadku modelu chaty wolnostojącej. Można więc stwierdzić, że układ szeregowy był układem zaplanowanym i przemyślanym przez biskupińskich budowniczych, nie było to działanie przypadkowe.

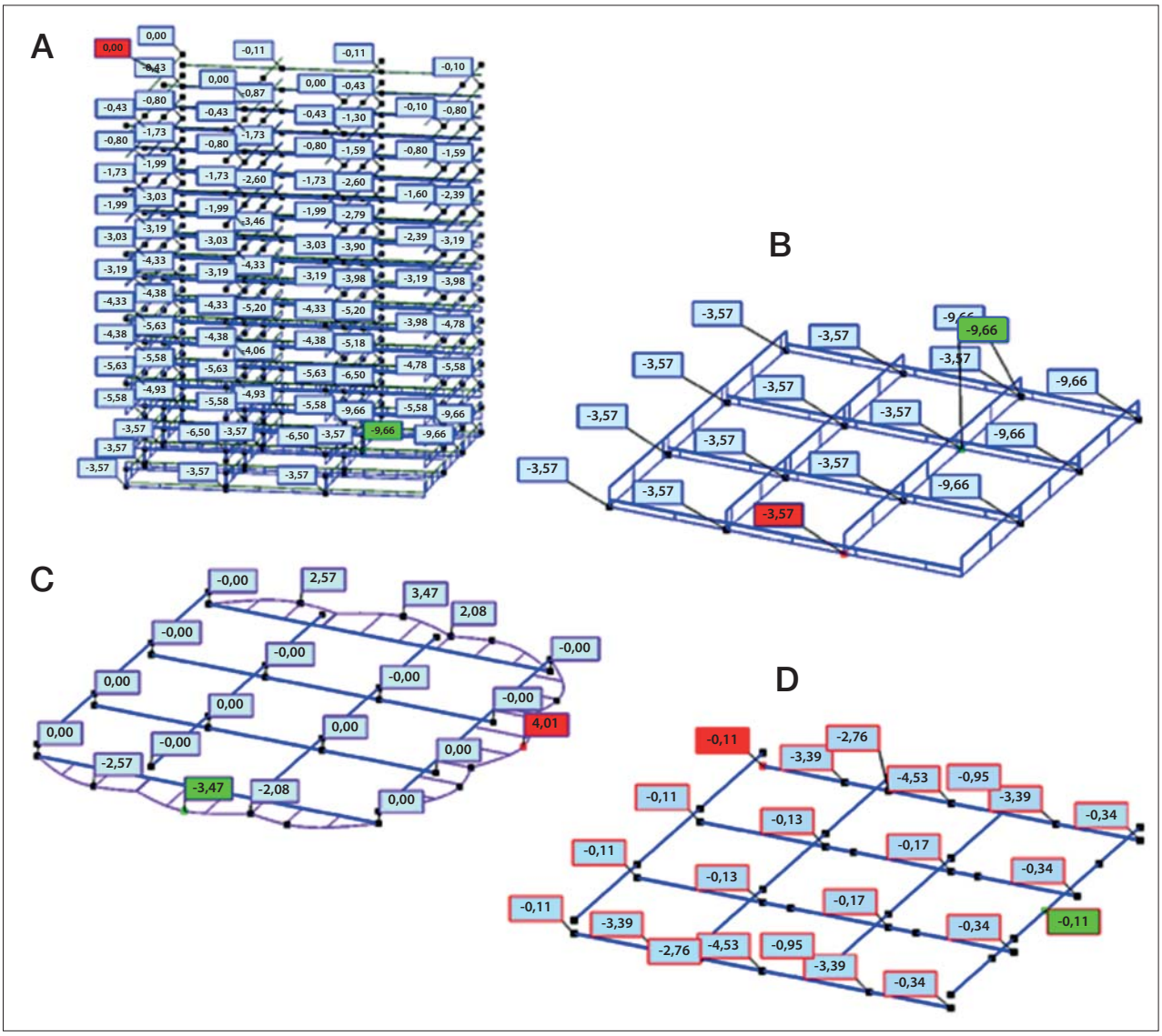
Znaczącym parametrem wpływającym na konstrukcję obiektów budowlanych był kierunek wiatru. Analiza modeli wykazała, że znacznie bardziej niekorzystne było obciążenie wiatrem równoległym, a więc wiejącym z południowego zachodu lub północnego wschodu.

Obliczenia dotyczące smukłości słupa wewnętrznego (sochy wewnętrznej), zarówno w budynkach fazy starszej, jak i młodszej, wskazały, że przy założonej geometrii chaty konieczne było występowanie pośredniego rygla podpierającego słup na wysokości półpiętra. Badania potwierdziły też silną zależność nośności słupa od podatności jego podpory. Na tej podstawie można dojść do wniosku, że jeżeli w Biskupinie w czasie istnienia grodu grunt był silnie podatny (tzn. nie zapewniał zakotwionemu w nim elementem trwałego oparcia), słupy, a szczególnie socha wewnętrzna, musiały być stabilizowane dodatkowymi elementami np. kamieniami lub dodatkową belką podwalinową, w której osadzony był słup.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe potwierdziły, że przynajmniej słupy wewnętrzne (sochy wewnętrzne) musiały być wykonane z drewna dębowego (posiadającego lepsze właściwości mechaniczne, w tym wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien i zginanie lub, w wypadku wykonania z drewna sosnowego, mieć przekrój o średnicy większej niż 30 cm. Alternatywą do tego jest stwierdzenie, że ich wysokość musiała być mniejsza niż założona w badaniach.

Słabszą jakość wykonania budynków w fazie młodszej może potwierdzać mniejsza wysokość budynków, gwarantująca mniejsze wytężenie wszystkich elementów konstrukcyjnych budynku.

Analiza numeryczna, statyczno-wytrzymałościowa kaszycowej konstrukcji wału wykazała, że przyjęte do analiz założenia, bazujące na ustaleniach badań wcześniejszych (np. wysokość pierwotna wału, były również właściwe. Konstrukcja



Ryc. 14. Przykładowe wydruki z wartościami i wykresami sił wewnętrznych w modelu numeryczny konstrukcji wału: A – siły poprzeczne w całej konstrukcji, B – siły poprzeczne w najniższym przekroju, C – momenty zginające w najniższym przekroju, D – siły podłużne w najniższym przekroju (rys. M. Gregoriou-Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

Fig. 14. Sample printouts with values and graphs of internal forces in the numerical model of the rampart's structure: A – transverse forces in the whole structure, B – lateral forces in the lowest cross-section, C – bending moments in the lowest cross-section, D – longitudinal forces in the lowest cross-section (drawn by M. Gregoriou--Szczepaniak, E. Sobczyńska, K. Wasilewski)

taka wypełniona gruntem, zwłaszcza gruntem spoistym, jest konstrukcją stabilną, spełniającą zasadę stateczności na przesuw i obrót. Jest to jednocześnie konstrukcja na tyle elastyczna, że nierównomierne osiadanie nie wpływa znacząco na jej stan techniczny (bezpieczeństwo konstrukcji).

Drewniane elementy konstrukcyjne tworzące kaszyce były rozciągane i zginane. Najbardziej obciążone byłe elementy zewnętrzne – siły oddziałujące na wewnętrzne elementy równoważyły się.

Zagadnieniami, które stwarzały najwięcej problemu w trakcie budowy i użytkowania takich konstrukcji, mogły być:

– posadowienie konstrukcji – najprawdopodobniej na rusztach, dzięki czemu ciężar konstrukcji rozkładał się na większej powierzchni;

– bieżące utrzymanie i konserwacja – stały kontakt elementów drewnianych z gruntem (wilgocią) był czynnikiem destrukcyjnym, co potęgował fakt występowania największych sił wewnętrznych w dolnej części konstrukcji kaszyc. Stosowanym środkiem zapobiegawczym było oblepianie wału od zewnątrz gliną (Rajewski 1950b, s. 241). Mimo to tego typu konstrukcje nie mogły istnieć bardzo długo bez napraw lub wymiany elementów;
– naprawy uszkodzonych elementów – stosunkowo łatwe były naprawy prowizoryczne, ale aby uzyskać pełną wytrzymałość i nośność po naprawie, potrzebne były bardziej skomplikowane prace (odsłonięcie całych elementów drewnianych i ich wymiana).

Wszystkie powyższe wnioski potwierdzają, że analiza numeryczna, statyczno-wytrzymałościowa obiektów budowlanych dwóch faz rozwoju, znajdujących się w Biskupinie jest dobrym i skutecznym narzędziem weryfikującym prace badawcze archeologów i historyków, a analogiczne badania interdyscyplinarne powinny być kontynuowane.

BIBLIOGRAFIA

Kostrzewski J.

1936 *Osada bagienna w Biskupinie, w powiecie żnińskim*, (w:) J. Kostrzewski, E. Lubicz-Niezabitowski, B. Jaroń, *Osada bagienna w Biskupinie, w pow. żnińskim. Tymczasowe sprawozdanie z prac wykopaliskowych Instytutu Prehistorycznego U.P. w latach 1934 i 1935*, Poznań s. 1–20

1938 *Kilka uwag uzupełniających o budowlach mieszkalnych i obronnych kultury łużyckiej w Biskupinie* (w:) J. Kostrzewski (red.), *Gród prasłowiański w Biskupinie w powiecie żnińskim. Sprawozdanie z badań w latach 1936 i 1937 z uwzględnieniem wyników z lat 1934–1935*, Poznań, s. 15–24.

Krzemiński R., Terlikowski W.

2015 *Kaszyce drewniane-historycznym elementem rewitalizacji zabytków*, (w:) *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, wyd. 62 nr 2, s. 207–220.

Moszyński K.

1967 *Kultura ludowa słowian*. Tom I. *Kultura materialna*, wyd. II, Warszawa.

Niewiarowski W.

1995 *Wahania poziomu wody w Jeziorze Biskupińskim i ich przyczyny, (w:) W. Niewiarowski* (red.), *Zarys zmian środowiska geograficznego okolic Biskupina pod wpływem czynników naturalnych i antropogenicznych w późnym glacjale i holocenie*, Toruń, s. 215–234.

Rajewski Z.A.

1938 *Sprawozdanie z organizacji badań w latach 1936 i 1937*, (w:) J. Kostrzewski (red.), *Gród prasłowiański w Biskupinie, w powiecie żnińskim. Sprawozdanie z badań w latach 1936 i 1937 z uwzględnieniem wyników z lat 1934–1935*, Poznań, s. 1–14.

1950a *Sprawozdanie z organizacji prac w Biskupinie w powiecie żnińskim w latach 1938–1939 i 1946–1948* (w:) J. Kostrzewski (red.), *III Sprawozdanie z prac wykopaliskowych w grodzie kultury łużyckiej w Biskupinie, w powiecie żnińskim za lata 1938–1939 i 1946–1948*, Poznań, s. 1–18.

1950b *Budowle kultury łużyckiej na półwyspie jeziora biskupińskiego w powiecie żnińskim*, (w:) J. Kostrzewski (red.), *III Sprawozdanie z prac wykopaliskowych w grodzie kultury łużyckiej w Biskupinie, w powiecie żnińskim za lata 1938–1939 i 1946–1948*, Poznań, s. 239–283.

Szczygielski T.

1935 *Rewelacyjne przyczynki etnograficzne do poznania przedhistorycznego budownictwa w Biskupinie*, Kuryer Literacko-Naukowy", Dodatek do nr 44 z dnia 4 listopada 1935 roku, Kraków, s. 8–9.

Tłoczek I.

1980 *Polskie budownictwo drewniane*, Wrocław.

Żurowski T.

1950 *Budowle kultury łużyckiej w Biskupinie. Próba rekonstrukcji*, (w:) J. Kostrzewski (red.), *III Sprawozdanie z prac wykopaliskowych w grodzie kultury łużyckiej w Biskupinie, w powiecie żnińskim za lata 1938–1939 i 1946–1948*, Poznań, s. 286–360.

Publikację Polskiego Komitetu Normalizacyjnego:

PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1–1: Oddziaływania ogólne – Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.

PN-EN 1991-1-3 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1–3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem.

PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 1–4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.

Summary

The technical studies carried out by the Division of Fundamentals of Building and Sustainable Development (ZBOiZR) at the Institute of Building Engineering, Faculty of Civil Engineering, Warsaw Technical University were concerned with analyzing the structure of the Biskupin houses and rampart, taking into account the phases of the fortified settlement. The main purpose of the research was to identify the structural systems used initially in the Biskupin constructions, to identify the building elements constituting them and to verify the construction solutions adopted to date in discussions of the settlement architecture Biskupin. The secondary objective of the technical and construction studies was to assess the impact of ground conditions on the work of the load-bearing structure of the analyzed features. In addition, an assessment of the influence of some structural solutions on the results of analyses was carried out – the effect of taking into account the uprights on the spatial rigidity of the building, the effect of taking into account the building continuity and the construction of neighboring buildings in the row and the influence of the mezzanine on the buckling of the internal post. The verification was carried out on the basis of a series of numerical models, differentiated with regard to wind direction, taking into account the uprights and their degree of simplification, the number and type of houses and the flexibility of the supports. The analyses were compiled in the form of metrics. The second part of the research was the analysis of the spatial structure of the box and crib rampart. Static and endurance calculations were carried out, taking into account the internal pressure of the soil filling of the cribs and the static pressure of the water. The purpose of the calculations was to verify the adopted assumptions as to the geometric and material construction elements of the rampart.

The numerical analyses of the models of building structures occurring in the Biskupin fortified settlement in two phases of its development confirmed the validity of the assumptions adopted so far, supported by archival photographic documentation, as to the geometry and cross-sections of construction elements of the row houses and ramparts from both the older and younger phases of the settlement. They also confirmed that the factor most strongly affecting the structure was the so-called susceptibility, i.e. the stiffness value of its supports.

Translated by Alicja Petrus-Zagroba

Afiliacja

Wojciech Terlikowski
Instytut Inżynierii Budowlanej Politechnika Warszawska
Al. Armii Ludowej 16
00-637 Warszawa
e-mail: w.terlikowski@il.pw.edu.pl
tel.: +48 22 234 57 48

Martyna Gregoriou-Szczepaniak
Instytut Inżynierii Budowlanej Politechnika Warszawska
Al. Armii Ludowej 16
00-637 Warszawa
tel.: +48 22 234 57 48

Ewa Sobczyńska
Instytut Inżynierii Budowlanej Politechnika Warszawska
Al. Armii Ludowej 16
00-637 Warszawa
e-mail: esob@il.pw.edu.pl
tel.: +48 22 234 65 80

Kacper Wasilewski
Instytut Inżynierii Budowlanej Politechnika Warszawska
Al. Armii Ludowej 16
00-637 Warszawa
e-mail: k.wasilewski@il.pw.edu.pl
tel.: +48 22 234 57 48

Jarosław Kopiasz
Muzeum Archeologiczne w Biskupinie
Dział Naukowo-Badawczy
Biskupin 17
88-410 Gąsawa
e-mail: jarrek3@op.pl