

dr inż. Kamil Słowiński¹⁾
ORCID: 0000-0002-4225-520X

Kształtowanie stalowego szkieletu budynku mieszkalnego zgodnie z normą amerykańską AISI S230-15 – część 2

Shaping the steel skeleton of a residential building based on the American standard AISI S230-15 – part 2

DOI: 10.15199/33.2021.07.07

Streszczenie. W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie o możliwość stosowania amerykańskiej normy AISI S230-15 w procesie wstępnego kształtowania lekkiego stalowego szkieletu budynku mieszkalnego, projektowanego w warunkach krajowych. Wykorzystano zapisy wskazanej normy w celu dobrania przekroju wybranych prętów projektowanego szkieletu, w tym m.in. słupków paneli ściennych, belek stropowych, krokwi dachowych oraz belek sufitowych. Przedstawiono wybrane aspekty analizy numerycznej oraz procedury weryfikacji stanów granicznych wybranych prętów projektowanego szkieletu wg wytycznych Eurokodów. Stwierdzono, że w procesie wstępnego kształtowania szkieletu budynku mieszkalnego, projektowanego w warunkach krajowych, można stosować wytyczne normy AISI S230-15, traktując je jednak jako zapisy wspomagające proces projektowania.

Słowa kluczowe: szkielet stalowy; kształtowniki cienkościenne; budynek mieszkalny.

Abstract. The article attempts to answer the question about the possibility of applying the provisions of the American AISI S230-15 standard in the process of initial shaping of a light steel skeleton of a residential building, designed in domestic conditions. The provisions of the indicated American standard were applied in order to select the cross-section of selected bars of the designed framework, including wall studs, joists, roof rafters and ceiling joists. Selected aspects of numerical analysis and the procedures of verification of the limit states of selected members of the designed skeleton were presented, based on the Eurocode guidelines. It was found that in the process of preliminary shaping of the skeleton of a residential building, designed in national conditions, the provisions of the AISI S230-15 standard can be used, treating them, however, as elements supporting the design process.

Keywords: steel skeleton; thin-walled sections; residential building.

Na popularności zyskują systemy umożliwiające wzniesienie obiektu w krótkim czasie. W tym kontekście bardzo korzystnie prezentuje się technologia lekkich szkieletów stalowych, w tym szkieletów scalanych z pojedynczych prętów na placu budowy. Ograniczenie czasu budowy wynika m.in. z niewielkiego ciężaru własnego prętów stosowanych na konstrukcję szkieletu, nieskomplikowanej technologii łączenia tych prętów przy użyciu wkretów samowiercących lub samogwintujących, a także z relatywnie małego wpływu warunków pogodowych na proces montażu. Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na zainteresowanie danym systemem konstrukcyjnym jest jego oddziaływanie na środowisko naturalne. Należy podkreślić, że materiały – w tym przede wszystkim stal – wykorzystywane do budowy budynków w technologii lekkiego szkieletu stalowego często pochodzą z recyklingu lub mogą zostać poddane recyklingowi. W aspekcie trwałości przedmiotowych konstrukcji można natomiast wskazać na wysoki poziom zabezpieczenia prętów przed korozją. Pręty wykonywane są z blachy ocynkowanej ogniowo, przy zawartości cyn-

ku 275 g/m² powłoki. Dostępne w literaturze wyniki badań *in situ* pokazują, że roczny ubytek masy powłoki cynkowej elementów konstrukcyjnych zlokalizowanych wewnątrz budynku nie przekracza 0,1 g/m². Ponadto, przegrody budynków w technologii lekkiego szkieletu charakteryzują się bardzo dobrą izolacyjnością termiczną, co przekłada się z kolei na zmniejszenie ilości energii zużywanej na etapie eksploatacji obiektu [5, 8].

Rosnącemu w kraju zainteresowaniu ze strony potencjalnych nabywców oraz wykonawców budynków mieszkalnych w technologii lekkiego szkieletu stalowego nie towarzyszy jednak odpowiedni postęp w zakresie regulacji zasad projektowania tego typu obiektów. Dostępne opracowania o charakterze podręcznikowym lub przeglądowym [1, 2, 3, 8, 9] stanowią dla projektanta wartościowe, lecz najczęściej niewystarczające źródło informacji [7]. Jak pokazano w pierwszym artykule [6], brak stosownych regulacji dotyczy szczególnie zasad kształtowania konstrukcji nośnej budynków mieszkalnych, które odgrywają kluczową rolę w procesie projektowania konstrukcji z kształtowników cienkościennych. To na tym etapie odbywa się wstępny dobór rozwiązań, przekładający się na pracochłonność i czas trwania zarówno kolejnych etapów procesu projektowania, jak i późniejszego montażu konstruk-

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa;
kamil.slowinski@polsl.pl

cji. W tym kontekście, w artykule [6], wskazano na normę amerykańską AISI S230-15 [11] jako opracowanie mogące wspomagać proces wstępnego kształtowania szkieletu budynku mieszkalnego, projektowanego w warunkach krajowych.

W tym artykule omówione zostaną procesy doboru przekroju wybranych prętów konstrukcji nośnej projektowanego budynku wg normy AISI [11] oraz procedura weryfikacji stanów granicznych nośności i użyteczności prętów szkieletu zaprojektowanego wg norm krajowych. Podjęta zostanie również próba odpowiedzi na pytanie, postawione także w pierwszym artykule [6], o możliwość zastosowania zapisów normy amerykańskiej AISI S230-15 w procesie wstępnego kształtowania stalowego szkieletu budynku mieszkalnego, projektowanego w warunkach krajowych. W artykule wykorzystano rezultaty pracy [4].

Projektowanie elementów szkieletu wg wytycznych normy AISI

W celu ułatwienia odbioru materiału, wielkości prezentowane w artykule wyrażane będą w jednostkach pochodnych układu SI, tj. stosowanych w obowiązujących normach krajowych. W normie [11] (jak również w pozostałych normach AISI) stosowany jest na ogół system jednostek imperialnych.

Asortyment kształtowników przeznaczonych na główne elementy konstrukcji nośnej ograniczony został w normie [11] do ceowników z usztywnieniami pasów – oznaczonych literą S oraz ceowników bez usztywnień pasów – oznaczonych jako T wg normy [10]. Ceowniki typu S przeznaczone są do stosowania przede wszystkim na belki stropowe, słupki paneli ściennych oraz krokwie dachowe. Z kolei ceowniki o przekrojach otwartych typu T wykorzystywane są przede wszystkim na prowadniki paneli ściennych i belki obwodowe stropów. Norma [11] podaje wymiary przekroju jedynie ceowników półzamkniętych typu S. Do wykonywania konstrukcji nośnej stosowane mogą być przekroje o pięciu zróżnicowanych wysokościach średnika, stałej szerokości pasa oraz pięciu zróżnicowanych grubościach ścianki (tabela 1). Przykładowe oznaczenie przekroju 350S162-33 składa się z: cyfry wskazującej stukrotność całkowitej wysokości średnika w calach; oznaczenia literowego wskazującego na typ kształtownika (S); liczby będącej stukrotnością zewnętrznego wymiaru pasa w calach oraz oznaczenia minimalnej bazowej grubości ścianki w jednostce „mil” (1 mil = 1/1000 cala). Należy jednak zaznaczyć, że do projektowania stosowana jest obliczeniowa grubość ścianek podana w normie AISI [10], co pokazano w tabeli 1. W normie [10] odnaleźć można ponadto informacje na temat wymiaru usztywnienia pasów oraz wewnętrznego promienia gięcia w przypadku przekrojów typu S

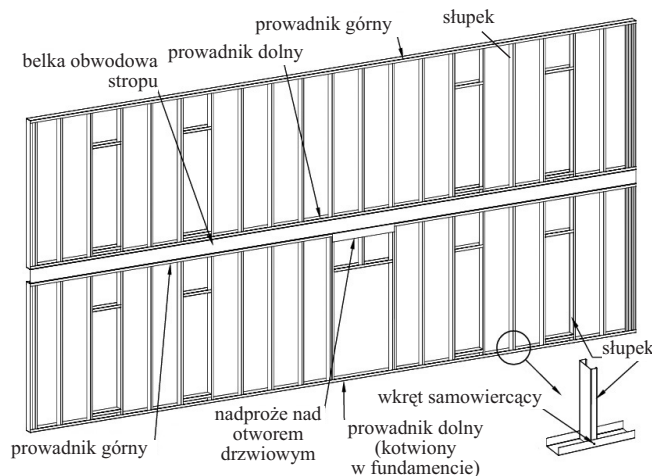
Tabela 1. Oznaczenia kształtowników ceowych z usztywnieniami pasów

Table 1. Designation of C-sections that have lips

Oznaczenie przekroju wg [11]	Oznaczenie przekroju wg EC [mm]	Obliczeniowa grubość ścianki [mil/mm]
350S162	C 88,9/41,3/12,7	33/0,88; 43/1,15; 54/1,44; 68/1,81; 97/2,58
550S162	C 139,7/41,3/12,7	
800S162	C 203,2/41,3/12,7	
1000S162	C 254/41,3/12,7	
1200S162	C 304,8/41,3/12,7	

i T. Odpowiadające oznaczenia przekrojów typu S i T – wg notacji przyjętej w Europie – przedstawiono w artykule w układzie $h/b/c \times t$, tj. ujmującym literowe oznaczenie kształtu przekroju (C lub U) oraz wymiary gabarytowe ścianek [mm], kolejno: wysokość przekroju; szerokość pasa; szerokość usztywnienia oraz grubość ścianki. Zgodnie z zaleceniami normy [11], granica plastyczności blachy stalowej, z której wykonywane są kształtowniki typu S, nie powinna być mniejsza niż 230 MPa. Trzeba przy tym jednak nadmienić, że w przypadku materiału, z którego wykonane są wszystkie zasadnicze elementy konstrukcji projektowanego szkieletu, wymagana jest granica plastyczności nie mniejsza niż 340 MPa. W artykule założono, że wszystkie pręty projektowanego szkieletu wykonane zostaną ze stali konstrukcyjnej S350GD+Z, wg [14].

Dobór przekroju prętów paneli ściennych. Wszystkie przegrody ścienne (tj. zewnętrzne i wewnętrzne) obu kondygnacji przewidziano jako nośne. Typowy panel ścienny, wg [11], składa się z górnego i dolnego prowadnika oraz zabudowanych między nimi słupków (rysunek 1), wykonanych z kształtowników typu S, rozmieszczonych na długości panelu co 600 mm [6]. Słupek połączony jest z prowadnikiem przy użyciu dwóch wkrętów samowierzących (po jednym wkręcie w każdym złączu pasa przekroju słupka z prowadnikiem). Założono jednakowy przekrój słupków ścian obu kondygnacji.



Rys. 1. Schemat konstrukcji ściany podłużnej projektowanego budynku

Fig. 1. Scheme of the structure of the longitudinal wall of the designed building

Przekrój słupków dobrano z tablicy „E3-10” z rozdziału „E” normy [11]. Wybór konkretnej tablicy uzależniony jest od szerokości budynku, która definiowana jest na kierunku osi podłużnej poziomych elementów konstrukcyjnych podpieranych przez słupki projektowanej ściany. W rozważanym przypadku elementami takimi są belki stropowe. Za szerokość budynku należy zatem znać poziomy wymiar ściany podłużnej, tj. 12 m. Wynika z tego, że przedmiotem rozważań są zawsze słupki przenoszące obciążenie wiatrem oraz reakcje pionowe z belek stropowych. Jak widać w tabeli 2, przekrój słupków dobierany jest w zależności od wielkości obciążeń środowiskowych [6] oraz rozstawu i długości słupków (wysokość kondygnacji pomniejszona o wysokość przekroju belki stropowej).

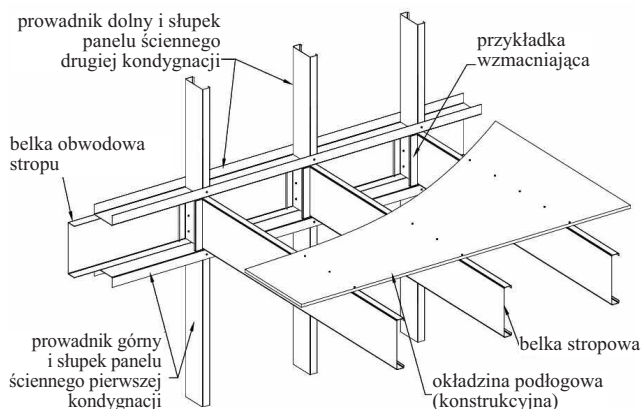
Tabela 2. Wybrane zapisy normy [11] pozwalające na dobór przekroju słupków ścian

Table 2. Selected provisions of the standard [11] allowing for the selection of the cross-section of wall studs

Prędkość wiatru [km/h]	kategoria ekspozycji	Oznaczenie przekroju	Rozstaw słupków [mm]	Min. grubość ścianki przekroju [mm]					
				długość słupka [mm]				3048	
				2438	2743				
				obciążenie śniegiem gruntu [kN/m ²]					
B	C			.....	0,96	1,44	2,39	3,35	.....
185	-	C 88,9/41,3/12,7	406	.....	0,88	0,88	1,15	1,15	.....
		C 139,7/41,3/12,7	610	.....	1,15	1,15	1,15	1,44	.....
-	290	C 139,7/41,3/12,7	610	.....	1,44	1,44	1,44	1,44	.....

Ostatecznie dobrano słupek o przekroju C 139,7/41,3/12,7×1,15. W związku z tym, że norma [11] wypowiada się jedynie w kwestii doboru przekroju typu S, wymiary przekroju przewodnika wykonanego z kształtownika typu T określono na podstawie zapisów normy [10]. Dobrany przekrój przewodnika to U 145,6/50,8×1,15 (ozn. 550T200-43, wg [10]).

Dobór przekroju prętów stropu międzykondygnacyjnego. Konstrukcja nośna stropu składa się z belek stropowych o przekroju ceowym półzamkniętym (typu S) oraz belek obwodowych o przekroju ceowym otwartym (typu T). Belki stropowe oparte zostały na ścianach poprzecznych pierwszej kondygnacji, w tzw. układzie platformowym (rysunek 2). Panele ścienne kondygnacji drugiej opierają się z kolei na konstrukcji stropu. Belki stropowe oraz słupki ścian obu kondygnacji rozmieszczone zostały współosiowo, aby zapewnić osiowe przekazywanie reakcji pionowych ze słupków kondygnacji wyższej, przez belki stropowe, na słupki kondygnacji niższej. Przekrój belek stropowych dobrano na podstawie rozdziału „D” normy [11], korzystając z tablicy „D3-1”. W przypadku obciążenia użytkowego projektowanego stropu, o wartości charakterystycznej 1,5 kN/m², rozstawu belek co 600 mm oraz maksymalnej rozpiętości przęsła 4800 mm dobrano przekrój belki stropowej C 254/41,3/12,7×1,81 (tabela 3). Norma wymaga przy tym, aby pas górny ceowego przekroju belek stropowych był odpowiednio stężony na kierunku poprzecznym przez okładzinę podłogową wykonaną



Rys. 2. Schemat połączenia prętów stropu z panelami ściennymi w układzie platformowym

Fig. 2. Scheme of the connection of the floor framing with the wall panels using the platform framing system

Tabela 3. Wybrane zapisy normy [11] pozwalające na dobór przekroju belki stropowej

Table 3. Selected provisions of the standard [11] allowing for the selection of the cross-section of the joists

Oznaczenie przekroju	Obciążenie użytkowe [kN/m ²]				
	1,44	1,915			
	rozstaw belek (mm)				
	305	406	488	610
C 139,7/41,3/12,7×0,88	3226	2794	2565	2286
.....
C 254/41,3/12,7×1,81	6528	5944	5588	5182
C 254/41,3/12,7×2,58	7315	6655	6248	5817

z płyty OSB (o grubości nie mniejszej niż 15,1 mm), mocowaną do pasa belki wkrętami samowiercącymi. W przypadku belek o rozpiętości większej niż 3,66 m wymagane jest ponadto wykonanie bocznego stężenia pasa dolnego ceowego przekroju belki, np. przez zastosowanie okładziny sufitowej z płyt gipsowo-kartonowych. Na belki obwodowe dobrano przekrój U 263×50,8-1,81 (ozn. 1000T200-68, wg [10]) belek obwodowych. Belki stropowe połączone są z prętami obwodowymi przez przykładki z ceowników półzamkniętych (o przekroju zastosowanym wcześniej na słupki paneli ściennych), przy użyciu wkrętów samowiercących (rysunek 2). Przykładka ceowa pełni wówczas również rolę wzmocnienia środka belki, umożliwiając bezpieczne przeniesienie reakcji podporowej.

Dobór przekroju prętów konstrukcji dachu. Norma [11] podaje szczegółowe wytyczne kształtowania dachów o konstrukcji krokwiowo-belkowej, tj. takich, w których więźba dachowa składa się z dwóch krokwi połączonych ze sobą w kalenicy przez płatwę kalenicową, oraz poziomej belki sufitowej przenoszącej siły rozporu z krokwi, jak również stanowiącej konstrukcję wsporcą sufitu najwyższej kondygnacji. Dopuszczalne jest stosowanie więźb kratowych, przy czym zasady ich projektowania podane są w normie AISI S240-15 [12].

Przekrój belki sufitowej dobrano jak belki ciągłej-dwuprzęsłowej, opartej na ścianie wewnętrznej, przy jednakowej rozpiętości obu przęseł wynoszącej 3900 mm. Belki sufitowe rozmieszczono współosiowo ze słupkami ścian zewnętrznych, w rozstawie co 600 mm. Trzeba zaznaczyć, że reakcje pionowe z krokwi przekazywane są na panele ścienne przez belki sufitowe. Założono, że pasy górne i dolne przekroju belek sufitowych będą stężone (podparte na kierunku bocznym) płytami OSB i gipsowo-kartonowymi, mocowanymi do tych pasów za pomocą wkrętów samowiercących. W przypadku tak wykonanego (ciągłego) stężenia pasa górnego belki, norma rekomenduje dobór przekroju jak w przypadku sytuacji bocznego podparcia tego pasa w 1/3 i 2/3 rozpiętości belki. Przekrój belki sufitowej C 139,7/41,3/12,7×1,44 dobrano na podstawie zapisów z tablicy „F2-2”, przy założeniu obciążenia użytkowego poddasza projektowanego budynku o wartości charakterystycznej 0,75 kN/m².

Przekrój krokwi dobrany został z kolei z tablicy „F3-1”, w zależności od długości rzutu poziomego krokwi i rozstawu krokwi, a także obciążenia śniegiem gruntu oraz obciążenia wiatrem [6]. Co ciekawe, obciążenie wiatrem należy przekonywać wg tablicy „F3-2” na równoważne obciążenie śniegiem. Jak pokazano w tabeli 4, wartość tego obciążenia uzależniona

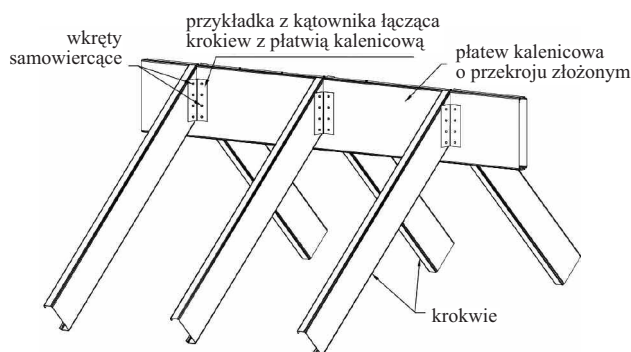
Tabela 4. Wybrane zapisy normy [11] pozwalające na konwersję bazowej prędkości wiatru na równoważne obciążenie śniegiem

Table 4. Selected provisions of the standard [11] allowing the conversion of the base wind speed into an equivalent snow load

Kategoria ekspozycji	Bazowa prędkość wiatru [km/h]	Równoważne obciążenie śniegiem [kN/m ²]				
		spadek połaci dachowej [%]				
		25	42	58	83	100
B	185	0,96	0,96	1,44	1,44	2,39

	290	2,39	3,35	3,35	–	–

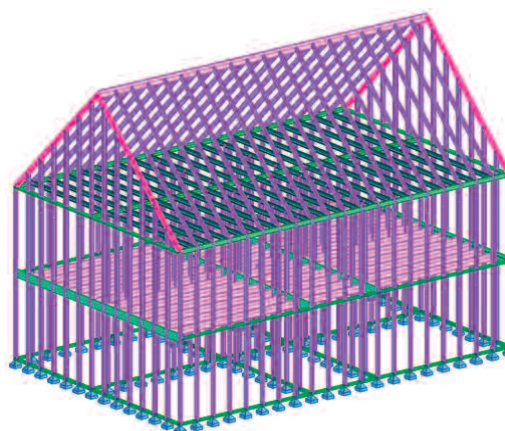
jest od kategorii ekspozycji na wiatr, bazowej prędkości wiatru oraz spadku połaci dachowej. Przekrój krokwi jest wówczas dobierany dla większego spośród obciążeń: śniegiem gruntu lub równoważnego obciążenia śniegiem. Ostatecznie przyjęto przekrój krokwi C 139,7/41,3/12,7×2,58. Krokwie tworzące wiązary połączone zostały górnymi końcami z płatwią kalenicową (rysunek 3), którą zaprojektowano jako belkę o przekroju złożonym z ceownika półzamkniętego C 254/41,3/12,7×2,58 oraz ceownika otwartego U 263/31,8×2,58 (ozn. 1000T125-97, wg [10]).



Rys. 3. Schemat połączenia krokwi w kalenicę
Fig. 3. Scheme of the connection of the rafters in the ridge

Weryfikacja stanów granicznych nośności i użytkowności wg EC3

W celu określenia efektów oddziaływań w prętach będących przedmiotem rozważań przeprowadzono analizę statyczną projektowanego szkieletu. Na rysunku 4 pokazano wybrane elementy przestrzennego modelu prętowego wykonanego w programie Robot Autodesk Structural Analysis. W celu odwzorowania w analizie stężącego efektu okładzin ściennych i dachowych, model prętowy w wybranych polach ścian zewnętrznych oraz obu połaci dachowych wyposażono w stężenia prętowe w układzie typu X (niepokazane na rysunku 4). Do modelu przyłożono obciążenia stałe oraz zmienne wg norm krajowych [6]. Następnie dokonano sprawdzenia warunków stanu granicznego nośności i użytkowności wybranych prętów szkieletu wg wytycznych norm [13, 14]. Weryfikację nośności przeprowadzono, mając na uwadze utratę stateczności ogólnej prętów oraz miejscową utratę stateczności ścianek przekroju, z uwzględnieniem niestateczności dystorsyjnej. Maksymalny poziom wyteżenia słupków, belek stropowych i krokwi wyniósł, odpowiednio 43, 52 i 25%, przy jednoczesnym spełnieniu warunków stanu granicznego użytkowności belek i krokwi, odpowiednio 25 i 92%. Więcej informacji na temat zastosowanych procedur obliczeniowych oraz otrzymanych rezultatów można znaleźć w [4].



Rys. 4. Model obliczeniowy projektowanego budynku
Fig. 4. Calculation model of the designed building

Otrzymane rezultaty wskazują, że w procesie wstępnego kształtowania szkieletu budynku mieszkalnego, projektowanego w warunkach krajowych, można stosować wytyczne normy AISI S230-15, traktując je jako zapisy wspomagające proces projektowania. W obliczu braku stosownych opracowań krajowych dotyczących kształtowania lekkich szkieletów budynków mieszkalnych, wskazana norma amerykańska może stanowić dla projektanta wartościowy materiał źródłowy. Finalny dobór rozwiązań konstrukcyjnych powinien być jednak poprzedzony ich gruntowną analizą, przeprowadzoną wg norm krajowych.

Literatura

[1] Braine-Bonnaire Thierry. 2005. *European lightweight steel-framed construction*. Luxembourg. Arcelor.

[2] Bródka Jan, Mirosław Broniewicz, Marian Giżejowski. 2006. *Kształtowniki gięte. Poradnik projektanta*. Rzeszów. Polskie Wydawnictwo Techniczne.

[3] Dubina Dan, Viorel Ungureanu, Raffaele Landolfo. 2012. *Design of cold-formed steel structures*. Portugal. European Convention for Constructional Steelwork.

[4] Pałęcka Aleksandra. 2020. *Praca magisterska: Kształtowanie i wymiarowanie szkieletu budynku mieszkalnego wykonanego z elementów cienkościennych w oparciu o wytyczne amerykańskie i krajowe*. Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa.

[5] Rogan Alan, Mark Lawson. 1998. *Building design using cold formed steel sections. Value and benefit assessment of light steel framing in housing*. Berkshire. The Steel Construction Institute.

[6] Słowiński Kamil. 2021. „Kształtowanie stalowego szkieletu budynku mieszkalnego zgodnie z normą amerykańską AISI S230-15 – część 1”. *Materiały Budowlane* 6 (586): 53 ÷ 56. DOI: 10.15199/33.2021.06.05.

[7] Słowiński Kamil. 2020. „Kształtowanie szkieletów budynków z elementów cienkościennych”. *Monografia. Materiały, nowoczesne technologie, realizacje konstrukcji stalowych*: 351 – 384. Bielsko-Biała. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej;

[8] Yandzio E., Mark Lawson, A. Way. 2015. *Light steel framing in residential construction*. Berkshire. The Steel Construction Institute.

[9] Yu Wie-Wen, Roger LaBoube. 2020. *Cold-formed steel design*. Fifth edition. Hoboken. John Wiley & Sons, Inc.

[10] AISI S201-12. 2012. North American standard for cold-formed steel framing – product data.

[11] AISI S230-15. 2015. Standard for cold-formed steel framing – perspective method for one- and two-family dwellings.

[12] AISI S240-15, 2015, North American standard for cold-formed steel structural framing.

[13] PN-EN 1993-1-1, 2006, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

[14] PN-EN 1993-1-3, 2008, Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.

Przyjęto do druku: 01.06.2021 r.