

8. PROBLEM KOROZJI CHEMICZNEJ W MIESZKANIOWYM STALOWYM BUDOWNICTWIE SZKIELETOWYM

1. WPROWADZENIE

Obecnie wymogi rynku są coraz wyższe, konkurencja, czas i ekonomia przedsięwzięcia budowlanego to tylko nieliczne czynniki wymuszające na branży budowlanej poszukiwanie nowych, lepszych rozwiązań. Na polskim rynku innowacyjnym rozwiązaniem jest lekkie, stalowe budownictwo szkieletowe, które odpowiada na rosnące zapotrzebowanie na technologie pozwalające na szybsze i bardziej ekonomiczne wznoszenie obiektów mieszkaniowych. W tej technologii bardzo istotny jest problem występowania zjawiska korozji, które destrukcyjnie wpływa na konstrukcje stalowe. Celem niniejszego artykułu jest analiza przegród budowlanych budynków mieszkalnych wykonywanych w technologii szkieletu stalowego pod kątem problemu korozji chemicznej elementów nośnych przegród – kształtowników stalowych, oraz miejsc ich połączeń – łączników śrubowych i wkrętów samowkręcających. Eliminacja źródeł powstawania zjawiska i ognisk korozji w stalowych budynkach mieszkaniowych o konstrukcji szkieletowej wpływa bezpośrednio na niezawodną i bezpieczną pracę tych konstrukcji, komfort ich użytkowania oraz zdrowie użytkowników domów stalowych.

2. TECHNOLOGIA LEKKIEGO SZKIELETU STALOWEGO

Lekki szkielet stalowy w budownictwie mieszkaniowym to konstrukcja bardzo popularna w Stanach Zjednoczonych, gdzie w tej technologii pierwsze domy wzniesiono już w 1992 r. oraz Kanadzie, Nowej Zelandii, Japonii i Australii. W Europie systemy szkieletowe stosowane się na szeroką skalę w Wielkiej Brytanii (europejska kolebka tej technologii) oraz w Skandynawii. W Polsce technologia ta jest mało popularna, a budynki mieszkalne wznoszone są głównie metodami tradycyjnymi opartymi na elementach drobnowymiarowych łączonych za pomocą zapraw i spoiw. Budynki mieszkaniowe o stalowej konstrukcji szkieletowej (rys. 1) charakteryzują się wieloma zaletami, takimi jak: niski koszt budowy, szybki czas realizacji konstrukcji (ok. 4 miesiące) w porównaniu z technologiami tradycyjnymi, sterowanie numeryczne linii produkcyjnej (gwarancja precyzji wykonania i najwyższej jakości) oraz możliwość dostosowania budynków do wymagań zapewnienia izolacyjności cieplnej oraz innych wymogów związanych z oszczędnością energii [2, 15, 14].

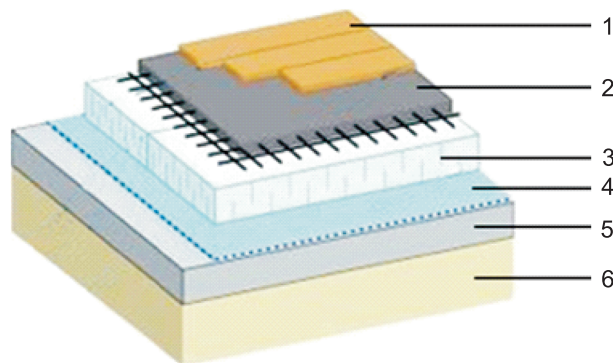
W konstrukcjach szkieletowych jedynym elementem wykonanym techniką tradycyjną jest fundament monolityczny lub żelbetowy. Rodzaj zastosowanego fundamentu oraz jego głębokość zależy od warunków gruntowo-wodnych oraz głębokości przemarzania gruntu w miejscu wznoszenia domu. Tradycyjna żelbetowa płyta fundamentowa jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem (rys. 2), ponieważ praca płyty pod konstruk-

cją stalowego szkieletu jest równomierna. Płyta fundamentowa stanowi ponadto ochronę konstrukcji przed korozją w gruncie, która jest szczególnie niebezpieczna. Szybkość procesu korozji w gruncie zależy od homogeniczności gleby, różnic w jej natlenieniu, składu mineralnego i rezystywności gleby, rodzaju mikroorganizmów i bakterii w niej żyjących oraz poziomu i składu chemicznego wód gruntowych [2, 7, 21].



Rys. 1. Dom jednorodzinny w konstrukcji lekkiego szkieletu stalowego [23]

Fig. 1. The detached house in the construction of lightweight steel frame [23]

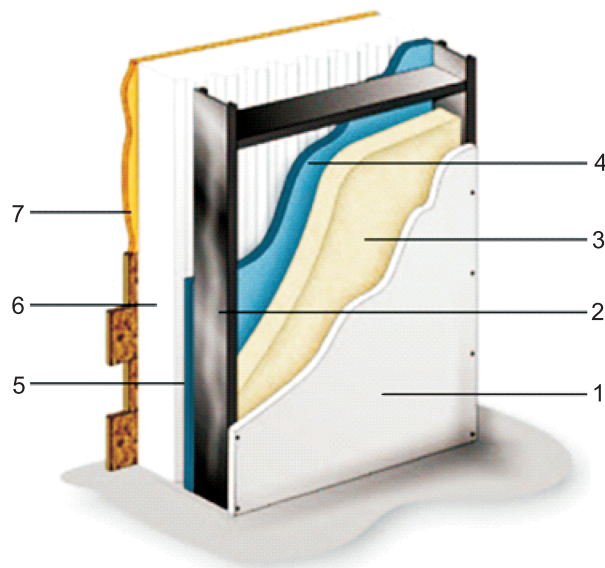


Rys. 2. Konstrukcja podłogi na gruncie domu szkieletowego: 1 – posadzka, 2 – podkład podłogowy, 3 – izolacja termiczna, 4 – izolacja przeciwwilgociowa, 5 – płyta fundamentowa, 6 – podsypka piaskowa [12]

Fig. 2. The ground floor in the light steel framing house: 1 – floor, 2 – concrete sleeper, 3 – thermal insulation, 4 – damp insulation, 5 – foundation plate, 6 – ballast [12]

Domy o lekkim szkielecie stalowym to konstrukcje modułowe. Podstawowym modulem wymiarowym stalowych konstrukcji szkieletowych jest $M = 600 \text{ mm}$. Ściana zewnętrzna (rys. 3) składa się z paneli rozmieszczonych pomiędzy stalowymi słupkami w rozstawie modułowym M dołem osadzonych w profilu pełniącym rolę podwaliny, od góry wykończonych profilem pełniącym funkcję belki oczepowej. Panele ścienne sztywność zyskują dzięki profilom poziomym zamocowanym do słupków. Pełną

sztwność ściana uzyskuje po obiciu jej płytą wykończeniową. Problem korozji chemicznej i elektrochemicznej dotyczy głównie ścian zewnętrznych ekspozowanych na oddziaływanie zanieczyszczonego środowiska zewnętrznego oraz kondensację międzywarstwową pary wodnej. Ogniska korozji powstają w miejscach połączeń elementów szkieletu stalowego oraz w miejscach uszkodzenia warstw antykorozyjnych na powierzchniach kształowników stalowych [4, 9].



Rys. 3. Konstrukcja stalowa ścian zewnętrznych: 1 – płyta kartonowo-gipsowa, 2 – lekki szkielet stalowy SCS, 3 – izolacja termiczna, 4 – płyta OSB, 5 – izolacja termiczna, 6 – warstwa wykończeniowa [27]

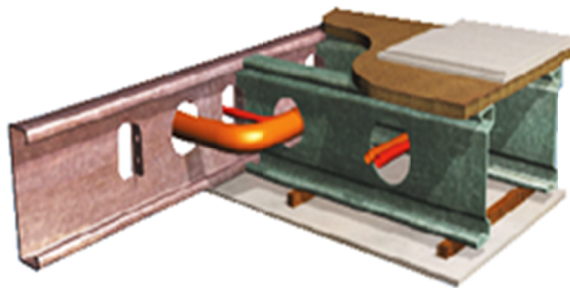
Fig. 3. The steel construction of external walls: 1 – gypsum board, 2 – light steel frame SCS, 3 – thermal insulation, 4 – oriented strand board, 5 – thermal insulation, 6 – external finish [27]

Stropy międzykondygnacyjne w lekkiej konstrukcji szkieletowej wykonuje się do rozpiętości 9 m. Elementami nośnymi stropu są stalowe belki ażurowe (rys. 4), zmniejszające ciężar własny konstrukcji, w rozstawie co 40 cm. Zaletą tego rozwiązania jest niski ciężar konstrukcji stropu wpływający na odciążenie konstrukcji w porównaniu z konstrukcją stropu tradycyjnego. Przestrzenie pomiędzy belkami stalowymi wypełnia się materiałami termoizolacyjnymi lub izolacją akustyczną. Szkieletowe stropy charakteryzują się możliwością zaadoptowania wolnych przestrzeni pod kanały kablowe instalacji wentylacyjnych, wodnych, elektrycznych i telekomunikacyjnych (rys. 5). Instalacje wodna i wentylacyjna mogą powodować ryzyko wystąpienia korozji belek stalowych. Problem korozji elementów nośnych budynku to często następstwo nieprecyzyjnie wykonanych izolacji tych instalacji lub zła ich eksploatacja skutkująca powstawaniem brudu i zanieczyszczeń [7].



Rys. 4. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne stropu w technologii lekkiego szkieletu stalowego [25]

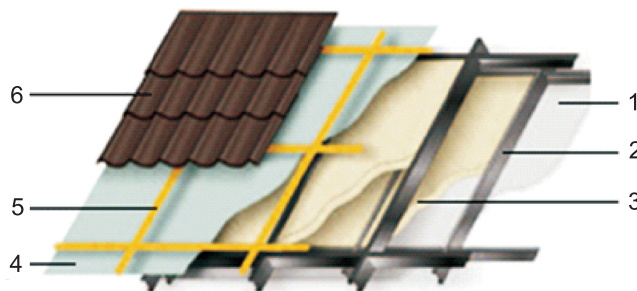
Fig. 4. The construction ceiling solutions in the technology of light steel frame [25]



Rys. 5. Przykład prowadzenia instalacji w lekkich stropach stalowych [23]

Fig. 5. The example of installation in lightweight steel ceiling [23]

Stalowe wiązary lekkiej więźby dachowej (rys. 6) są alternatywą dla drewnianych konstrukcji tradycyjnych. Modułem bazowym wiązarów stalowych jest rozpiętość 600 mm. Wiązary kratowe pozwalają na osiągnięcie spadku dachu do 35°, dla większych spadków połaci dachowych projektuje się układy krokwiowo-jętkowe, w których wszystkie krokwie łączone są z belkami stropowymi. Stalowa więźba dachowa charakteryzuje się mniejszym ciężarem konstrukcji nośnej oraz odpornością na szkodniki i korozję biologiczną w stosunku do tradycyjnej więźby drewnianej. Ponieważ stalowej więźby nie trzeba impregnować i konserwować, możliwe jest wykonanie pokrycia dachowego od razu po zamontowaniu konstrukcji [9, 24].



Rys. 6. Warstwy konstrukcyjne stalowej więźby dachowej: 1 – płyta kartonowo-gipsowa, 2 – lekki szkielet stalowy SCS, 3 – izolacja termiczna, 4 – folia paroprzepuszczalna, 5 – łąty i kontrłąty, 6 – poszycie dachu [25]

Fig. 6. The construction of steel roof truss: 1 – gypsum board, 2 – light steel frame SCS, 3 – thermal insulation, 4 – vapour-permeable membrane, 5 – battens and counter battens, 6 – roofing [25]

Montaż więźby dachowej odbywa się za pomocą połączeń skręcanych. Sztywność i wzmocnienie dachu zapewniają stalowe stężenia w postaci dodatkowych skośnych elementów konstrukcyjnych. Dźwigary za pomocą specjalnych przekładek połączone są z panelami ścian zewnętrznych, tym samym przekazują obciążenia konstrukcji więźby, pokrycia dachowego, śniegu oraz wiatru bezpośrednio na stalowe słupki ścian [2, 23]. Problem korozji dotyczy również więźby dachowej ze stalowych elementów zimnogiętych. Korozja spowodowana jest przede wszystkim złym odprowadzeniem wód opadowych z połaci dachowych i występuje najczęściej w miejscach łączenia kształtowników stalowych [24].

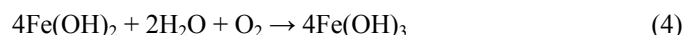
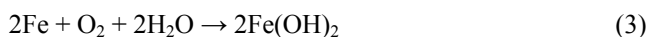
3. PRZYCZYNY WYSTĘPOWANIA ZJAWISKA KOROZJI W STALOWYM BUDOWNICTWIE SZKIELETOWYM

W stalowym budownictwie szkieletowym stosuje się stal niskowęglową, która charakteryzuje się zawartością węgla poniżej 0,3%. Stalowe konstrukcje szkieletowe budynków mieszkalnych wykonane ze stali niskowęglowych ulegają korozji typu chemicznego i elektrochemicznego. Reakcje korozji chemicznej zachodzą pomiędzy stalą a agresywnym środowiskiem zewnętrznym. Korozja chemiczna destrukcyjnie wpływa na żywotność i pracę konstrukcji, ponieważ na powierzchni stali dochodzi jednocześnie do jej utleniania, redukcji utleniacza oraz powstawania produktu reakcji (tlenków i wodorotlenków żelaza). Proces korozji zależy w dużym stopniu od typu atmosfery, w jakiej zlokalizowano konstrukcję (im bardziej agresywne środowisko, tym bardziej destrukcyjne działanie korozji). Wyróżniamy następujące typy atmosfer: wiejską, miejską, przemysłową, morską i nadmorską. Korozję wywołują gazy, cząstki stałe i ciekłe oraz zanieczyszczenia zawarte w powietrzu atmosferycznym (związki chemiczne w postaci cząstek rozpylonych w powietrzu, np. siarczan amonu, kurz, pył węglowy, sadza, para wodna), które reagują ze stalą i prowadzą do powstawania rdzawych wykwitów [3, 20].

Zjawisko korozji stali niskowęglowej zależy również od typu środowiska, w którym wzniesiono konstrukcję. Wyróżniamy środowisko: gazowe, wodne i gruntowe. W przypadku lekkich budynków stalowych posadowionych na fundamentach bezpośrednich, zjawisko korozji rozpatruje się tylko ze względu na środowisko gazowe. W środowisku gazowym występuje tzw. korozja atmosferyczna, która jest procesem przebiegającym w zawilgoconej warstwie przegrody na powierzchni stalowych elementów [20]. Szybkość procesu korozji atmosferycznej zależy od:

- wilgotności względnej powietrza, która wyraża stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w powietrzu do ciśnienia pary wodnej w stanie całkowitego nasycenia, określającego maksymalne ciśnienie cząstkowe pary wodnej w danej temperaturze,
- kondensacji powierzchniowej pary wodnej, skraplającej się na powierzchni cieplejszej przegrody; zjawisko to występuje wówczas, gdy temperatura powierzchni przegrody ma temperaturę niższą lub równą od temperatury punktu rosy powietrza znajdującego się przy przegrodzie,
- obecności zanieczyszczeń w atmosferze (np. dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, siarkowodoru, chlorowodoru, amoniaku oraz tlenków azotu), które reagują ze stalą konstrukcyjną, w konsekwencji tworząc rdzawe osady na jej powierzchni [11, 20].

W środowisku atmosferycznym katalizatorami procesu korozji stali są przede wszystkim obecne w powietrzu: tlen, wilgoć w postaci skroplonej pary wodnej oraz substancje agresywne. Stal reagując z tlenem zawartym w powietrzu utlenia się i ulega pokryciu warstwą uwodnionych tlenków i wodorotlenków żelaza tzw. rdzą [3, 10]. Podczas powstawania rdzy zachodzą następujące reakcje chemiczne:



Zgodnie z normą PN-EN ISO 12944-2 [12] gazowe środowisko atmosferyczne dzieli się na 6 kategorii korozyjności (tab. 1).

Kształtowniki stalowe w konstrukcji lekkiego szkieletu stalowego nie są ekspozowane bezpośrednio na środowisko zewnętrzne. Konstrukcja paneli ściennych obejmuje warstwy wykończeniowe, będące barierą ochronną dla elementów stalowych. Korozja atmosferyczna tych elementów może wystąpić, jednak bardziej niebezpieczna dla szkieletu stalowego jest korozja wynikająca z błędów wykonawczych powstałych podczas wznoszenia budynku mieszkalnego oraz instalacji użytkowych. Korozja chemiczna szkieletu stalowego może wystąpić podczas złego użytkowania i eksploatacji budynku. Niebezpieczne dla konstrukcji nośnej budynku szkieletowego są ogniska korozji wywołane kondensacją międzywarstwową pary wodnej w przegrodach zewnętrznych. Para wodna wykrapla się na powierzchniach wewnętrznych pomiędzy warstwami przegrody lub na chłodnych powierzchniach konstrukcji w miejscach przebiegu instalacji np. z wodą chłodzącą. Materiały budowlane w stanie nadmiernego zawilgocenia ulegają korozji chemicznej, biologicznej oraz obniżone zostają ich właściwości fizyczne na skutek krystalizacji pary wodnej wewnątrz porów materiału. Efektem tych reakcji jest rdza, wykwyty oraz rozsadzanie struktury materiału podczas działania mrozu [1, 5, 11].

Korozja elementów stalowych budynków mieszkalnych występuje także na skutek błędów projektowych. Więźba dachowa jest najbardziej narażona na zjawisko korozji chemicznej, związanej ze źle zaprojektowaną konstrukcją oraz odwodnieniem połączeń dachowych. Woda opadowa gromadzi się w narożach i zagłębieniach, co powoduje wzrost wilgoci w warstwach termoizolacyjnych dachu i prowadzi do korozji wiązarów dachowych lub stalowych elementów więźby dachowej. Projekt dachu stalowego powinien uwzględniać nachylenie połączeń dachowych oraz ścięcia powierzchni dachu niezbędne do swobodnego odpływu wód opadowych. Projekt nie może obejmować kieszeni i wgłębień, w których gromadzić się będzie brud i zanieczyszczenia. Źle zaprojektowane systemy orynnowania i odprowadzenia wody opadowej z konstrukcji dachu wpływają w dużym stopniu na szybkość procesu korozji. W przypadku stropodachów problem odwodnienia jest szczególnie istotny ze względu na duże prawdopodobieństwo zastojów wód opadowych prowadzących do korozji chemicznej elementów nośnych. Norma PN-B-02361:2010 [16] podaje, że minimalny spadek pokrycia stropodachu powinien wynosić 1%, ale zaleca się, aby nachylenie było powyżej 3%, ponieważ zastosowanie minimalnego pochylenia (1%) prowadzi do spiętrzania wody i powstawania zastoin, zalegania kurzu i mułu, a w konsekwencji do rozwoju glonów i korozji biologicznej [1, 2, 12].

Tabela 1. Kategorie korozyjności atmosfery i przykłady typowych środowisk według PN-EN ISO 12944-2 [20]

Table 1. Corrosivity categories and examples of typical environments according to the standard PN-EN ISO 12944-2 [20]

Kategoria korozyjności	Ubytek masy na jednostkę powierzchni/ ubytek grubości po pierwszym roku eksploatacji				Przykłady środowisk typowych dla klimatu umiarkowanego	
	Stal niskowęglowa		Cynk		na zewnątrz	wewnątrz
	g/m ²	µm/rok	g/m ²	µm/rok		
C1 Bardzo mała	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	budynki ogrzewane z czystą atmosferą np. szkoły, sklepy, biura, hotele
C2 Mała	> 10-200	> 1,3-25	> 0,7-5	> 0,1-0,7	atmosfery w małym stopniu zanieczyszczone, głównie obszary wiejskie	budynki nieogrzewane, w których może zaistnieć kondensacja np. hale sportowe, magazyny
C3 Średnia	> 200-400	> 25-50	> 5-15	> 0,7-2,1	atmosfery miejskie i przemysłowe, umiarkowanie zanieczyszczone; tereny przybrzeżne z atmosferą o niewielkim zasoleniu	zakłady produkcyjne z wysoką wilgotnością i pewnym zanieczyszczeniem powietrza np. zakłady spożywcze, pralnie
C4 Duża	> 400-650	> 50-80	> 15-30	> 2,1-4,2	tereny przemysłowe i nadbrzeżne o średnim zasoleniu	zakłady chemiczne, baseny kąpielowe, stocznie
C5-I Bardzo duża (przemysłowa)	> 650-1500	> 80-200	> 30-60	> 4,2-8,4	tereny przemysłowe o dużej wilgotności powietrza i agresywnej atmosferze	budynki z prawie ciągłą kondensacją i dużym zanieczyszczeniem
C5-M Bardzo duża (morska)	> 650-1500	> 80-200	> 30-60	> 4,2-8,4	tereny nadmorskie o dużym zasoleniu oraz obszary oddalone od brzegu w głąb morza; atmosfera	budowle i obszary ze stałą kondensacją i dużym skażeniem atmosfery

4. KOROZJA POŁĄCZEŃ SKRĘCANYCH W STALOWYCH KONSTRUKCJACH SZKIELETOWYCH

Podstawowe elementy prefabrykowane to pojedyncze profile stalowe (najczęściej są to ceowniki lub zetowniki o wymiarach zależnych od powierzchni budynku) docięte na odpowiednią długość wraz z blachami węzłowymi i śrubami samowiercącymi lub gotowe systemy panelowe ścian i więźarów dachowych. Montaż tych elementów wymaga dużej precyzji i doświadczenia, ponieważ uszkodzone elementy stalowe to zimnogięte profile cienkościenne z blach stalowych ocynkowanych, o granicy plastyczności $R_c = 185 \text{ MPa}$ i wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 315 \text{ MPa}$ [20]. Łączy się je za pomocą wkrętów samowiercących w konstrukcje nośne ścian, dźwigarów dachowych oraz stropów systemowych [23, 24].

Korozja to proces długofalowy, którego skutki mogą być zauważalne dopiero po kilku, a nawet kilkunastu latach użytkowania budynku. Korozja powstająca w miejscach połączeń profili stalowych powoduje obniżenie wytrzymałości konstrukcji. Najczęściej korozji ulegają złącza śrubowe w miejscach wiercenia otworów, gdzie nie ma powłoki antykorozyjnej albo gdy została ona uszkodzona w wyniku nieprawidłowego montażu budynku lub docinania elementów stalowych na placu budowy. Miejsca te na zimnych elementach konstrukcyjnych narażone są na kondensację pary wodnej, która sprzyja powstawaniu ognisk korozji [8]. W miejscach połączeń oraz uszkodzeń lekkiej konstrukcji szkieletowej występują trzy typy korozji [9]:

- korozja powierzchniowa, cechująca się korodowaniem stali na całej powierzchni lub na jej fragmencie,
- korozja stykowa, występująca podczas kontaktu metali o różnej szlachetności,
- korozja naprężeniowa zachodząca lokalnie w elementach stalowych na skutek występowania stałych naprężeń technologicznych lub eksploatacyjnych.

W konstrukcjach szkieletowych korozja powierzchniowa występuje podczas kondensacji wilgoci na powierzchni wkrętu, na odcinku między mocowanym profilem a otworem. Jest to bardzo niebezpieczne zjawisko dla konstrukcji i jej użytkowników, ponieważ skutków procesu korozji w miejscu połączenia na zewnątrz budynku nie widać, a miejsca połączeń modułów i elementów stalowych ulegają degradacji. Takie połączenia nie pracują właściwie, co negatywnie wpływa na sztywność i nośność całego budynku [9, 24]. W przypadku gdy w stalowych konstrukcjach szkieletowych zamocowana jest nierdzewna płytka podkładowa za pomocą galwanizowanego wkrętu występuje korozja stykowa. Wkręt narażony jest wówczas na korozję stykową w krótkim czasie. Zamocowanie stalowej galwanizowanej płytki za pomocą nierdzewnego wkrętu, prowadzi do procesu korozji następującego po dłuższym czasie i nie jest on tak niebezpieczny dla pracy całej konstrukcji. Korozja stykowa występuje również w przypadku utleniania się elementu stalowego (anody) wokół bardziej szlachetnych śrub (katody). Produktem wtórnej reakcji chemicznej pomiędzy jonami powstającymi na obu elektrodach jest rdza [9, 10]. Bardzo niebezpieczna jest również korozja naprężeniowa, wywołująca mikropęknięcia materiału, które pogłębiają się z upływem czasu i w wyniku występowania naprężeń mechanicznych. Korozja naprężeniowa lekkich stalowych technologii szkieletowych nie jest widoczna tzw. gołym okiem, ale powoduje od razu nagłe zniszczenie elementu lub połączenia, np. zakotwienia profilu stalowego w fundamencie [9, 24].

5. ZABEZPIECZENIA ANTYKOROZYJNE ELEMENTÓW KONSTRUKCJI SZKIELETOWYCH – PROFILE I POŁĄCZENIA STALOWE

Ochrona konstrukcji stalowych przed korozją musi być uwzględniona już na etapie projektowania. Kluczowe jest dobranie odpowiednich materiałów konstrukcyjnych odpornych na działanie środowiska, w którym konstrukcja będzie pracować. Kształt profili nie powinien być złożony, a rozwiązania konstrukcyjne powinny unikać miejsc gromadzenia się wody opadowej, zanieczyszczeń, mułu i kurzu. Połączenia elementów konstrukcji powinny być zabezpieczone antykorozyjnie lub wykonane w taki sposób, aby nie stanowiły ognisk korozji. W zamodelowanej konstrukcji nie powinno dochodzić do spiętrzania naprężeń, lokalnych przegrzań i zawilgoceń żadnego jej elementu. Układy nośne stalowych konstrukcji szkieletowych składają się z zimmnościowych profili stalowych oraz łączników mechanicznych w postaci wkrętów lub śrub samowiercących, wytwarzanych z różnych materiałów. Z powodu wykonania tych elementów z różnych metali, należy stosować różne metody zabezpieczania ich przed korozją [1, 24]. Antykorozyjną ochronę profili ze stali konstrukcyjnej stanowią najczęściej powłoki cynkowe galwaniczne lub zanurzeniowo-ogniowe. Powłoki cynkowe stanowią lepszą ochronę konstrukcji stalowych niż powłoki malarskie, a proces pasywacji chemicznej stali niskowęglowej zwiększa ich odporność na korozję, tym samym zwiększając odporność na miejscowe uszkodzenia. W przypadku przecięcia kształtownika na miejscu budowy lub uszkodzenia powłoki ochronnej podczas montażu konstrukcji, uszkodzone miejsca muszą być zabezpieczone farbą ochronną w aerozolu [22, 25].

Powłoki cynkowe profili konstrukcyjnych wykonuje się najczęściej w procesie galwanizacji. Galwanizacja stali to proces polegający na wykonywaniu trwale przylegających cienkich powłok metalicznych poprzez osadzenie jednego metalu na innym. Proces galwanizacji profili stalowych oraz elementów drobnowymiarowych wykonuje się wg normy PN-EN ISO 2081:2011 [18]. Profile konstrukcyjne pokrywa się w kąpielach elektrolitycznych równomierną warstwą cynkową o grubości 20 μm , co stanowi 275 g/m^2 powłoki cynkowej [23]. Natomiast wkręty, śruby, nakrętki i podkładki pokrywa warstwą cynku o grubość ok. 5-12 μm . Galwanizacja wykonywana jest z niebieskim pasywaniem, które nadaje elementom srebrzystą barwę. Drobnowymiarowe elementy stalowe, galwanizowane wykazują czasową odporność przed korozją podczas pracy w suchych pomieszczeniach wewnętrznych. Łączniki mechaniczne wykonuje się ze stali rodzaju A4 zawierającej 12-15% chromu, który tworzy pasywną warstwę antykorozyjną na jej powierzchni. Stal nierdzewna A4 zachowuje odporność antykorozyjną w wilgotnych pomieszczeniach, na otwartym powietrzu oraz w agresywnym środowisku przemysłowym [5, 6, 20]. Podstawową zaletą procesu galwanizacji elementów stalowych jest wysoka ich odporność na korozję oraz możliwość uzyskania idealnie równej (bez zgrubień) powłoki cynkowej na powierzchniach kształtowników. Proces galwanizacji pozwala na bardzo łatwe dotarcie do szczelin, otworów i zgięć w profilach stalowych (np. stalowych belkach ażurowych wykorzystywanych w stropach międzykondygnacyjnych), które muszą zostać dokładnie pokryte antykorozyjną warstwą cynkową [9].

Elementy metalowe konstrukcji stalowych mogą być pokrywane powłoką cynkową metodą zanurzeniowo-ogniową, która wykonywana jest zgodnie z normą PN-EN ISO 1461:2009 [17]. Grubość warstwy powłoki cynkowej zależy od grubości elementu poddawanego procesowi cynkowania ogniowego. Zgodnie z ww. normą wartości minimalnych grubości cynkowych powłok miejscowych i średnich podano w tabeli 2. Powłoki cynkowe chronią również krawędzie elementów konstrukcji szkie-

letowych docinanych na wymiar oraz ucinanych w celu transportu na plac budowy. Na powłoki cynkowe destrukcyjnie wpływa wilgoć, która powoduje korozję białą. Powstałe białe plamy na powierzchni elementu, będące tlenkami i wodorotlenkami cynku, nie pogarszają jakości powłoki ochronnej, ale wpływają niekorzystnie na estetykę wyrobu [2, 4, 6]. Podstawową zaletą cynkowania zanurzeniowo-ogniowego stali jest długotrwała antykorozyjna ochrona elementów konstrukcji, a także niska cena. Wadą tej metody są natomiast rozmiary wanien cynkowych, które ograniczają możliwości zabezpieczania dużych elementów konstrukcyjnych [9].

Tabela 2. Grubości powłok cynkowych [6]

Table 2. The zinc coating thickness [6]

Grubość elementów stalowych [mm]	< 1,5	1,5 – 3	3 – 6	> 6
Minimalna grubość miejscowa powłoki [μm]	35	45	55	70
Minimalna grubość średnia powłoki [μm]	45	55	70	85
Masa powłoki odniesiona do powierzchni [g/m^2]	325	395	505	610

6. PODSUMOWANIE

Stalowe profile domów szkieletowych zabezpiecza się przed korozją w procesie galwanizacji lub cynkowania zanurzeniowo-ogniowego, nadając im odporność antykorozyjną na czas pracy i użytkowania konstrukcji. W stalowym budownictwie szkieletowym korozja występuje przede wszystkim w miejscach połączeń śrubowych, na powierzchniach profili uszkodzonych podczas montażu oraz w miejscach wiercenia otworów pod łączniki mechaniczne, gdzie przerwana zostaje warstwa powłoki antykorozyjnej. Proces międzywarstwowej kondensacji pary wodnej jest dodatkowym inicjatorem destrukcyjnego zjawiska korozji. W przypadku modyfikacji konstrukcji na placu budowy, należy pamiętać o dodatkowym pokryciu powłoką malarską, w postaci farby lub aerozolu, uszkodzonego stalowego elementu, ponieważ brak warstwy ochronnej prowadzi do utraty nośności konstrukcji, skrócenia okresu bezpiecznego jej użytkowania oraz konieczności przeprowadzenia remontu budynku. Zjawisko korozji chemicznej i elektrochemicznej budynków mieszkalnych o stalowej konstrukcji szkieletowej nie stanowi dużego niebezpieczeństwa, gdyż szkielet stalowy ścian zewnętrznych chroniony jest warstwami wykończeniowymi lub osłonowymi, a ochronę więźby dachowej przed destrukcyjnym oddziaływaniem środowiska atmosferycznego stanowi poszycie dachu. Możliwość wystąpienia zjawiska korozji ogranicza również precyzyjny i fachowy montaż domów szkieletowych, który przyczynia się do wzrostu trwałości konstrukcji.

LITERATURA

- [1] Broniewicz M., 2014. Jak przeciwdziałać korozji? *Builder* 7, 46-49.
- [2] Buczkowski W. (red.), 2009. *Budownictwo ogólne*. T. 4. Konstrukcje budynków. Praca zbiorowa, Arkady Warszawa.
- [3] Czarnecki L., Broniewski T., Henning O., 1996. *Chemia w budownictwie*. Arkady Warszawa.

-
- [4] Davies J.M., 2006. Light gauge steel cassette wall construction – theory and practice. *Journal of Constructional Steel Research* 62, 1077-1086.
- [5] de la Fuente D., Castaño J.G., Morcillo M., 2007. Long-term atmospheric corrosion of zinc. *Corrosion Science* 49, 1420-1436.
- [6] Janas Z., Wereda T., 2010. Wymagania konstrukcyjno-technologiczne stawiane cynkowanym ogniowo konstrukcjom stalowym. *Inżynieria Powierzchni*, 3, 3-5.
- [7] Kijak-Olechnicka M., 2012. Dom, co ma serce ze stali. *Technologia lekkiego szkieletu stalowego. Murator* 1, 82-87.
- [8] Klemma P. (red.), 2005. *Budownictwo ogólne. T. 2. Fizyka budowli. Praca zbiorowa*, Arkady Warszawa.
- [9] Lawson R.M., Popo-Ola S.O., Way A.G., Heatley T., Pedreschi R., 2010. Durability of Light Steel Framing in Residential Applications. *Construction Material* 163, 109-121.
- [10] Łubiński M., Filipowicz A., Żółtowski W., 2007. *Konstrukcje metalowe. Część I Podstawy projektowania*. Arkady Warszawa.
- [11] Mijkowski M., 2005. Symulacja wilgotności powietrza w budynku jednorodzinym z uwzględnieniem akumulacji pary wodnej. *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* 1, 265-272.
- [12] Okołowska A., Kamiński J., 2008. Wykończ dom a nie siebie. Ustal poziom podłogi. *Murator* 9, 129-133.
- [13] PN-EN ISO 12944-2 Farby i lakiery – Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – Część 2: Klasyfikacja środowisk.
- [14] Özlem E., 2013. A Comparison with Light Steel Frame Constructional Building Systems for Housing. *World Applied Sciences Journal* 25, 354-368.
- [15] Pedreschi R., Lawson, R.M., Popo-Ola S.O., 2008. Developments of Cold-Formed Steel Sections in Composite Applications for Residential Buildings. *Advances in Structural Engineering* 11, 651-660.
- [16] PN-B-02361:2010 Pochylenie połączeń dachowych.
- [17] PN-EN ISO 1461:2009 Powłoki cynkowe nanoszone na żeliwo i stal metodą zanurzeniową – Wymagania i metody badań.
- [18] PN-EN ISO 2081:2011 Powłoki metalowe i inne nieorganiczne – Elektrolityczne powłoki cynkowe z obróbką dodatkową na żelazie lub stali.
- [19] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2013, poz. 926).
- [20] Runkiewicz L. (red.), 2010. *Zabezpieczenie przed korozją stalowych konstrukcji budowlanych za pomocą powłok malarskich. ITB 400/2010 Warszawa*.
- [21] Veljkovic M., Johansson B., 2006. Light steel framing for residential buildings. *Thin-Walled Structures* 1, 832-836.
- [22] Węgrzynkiewicz S., Jędrzejczyk D., Szłapa I., Hajduga M., 2014. Wpływ przygotowania powierzchni elementów stalowych ciętych metodami termicznymi na proces cynkowania ogniowego. *Ochrona przed Korozją* 4, 136-141.
- [23] <http://www.amtech.com.pl/> (odczyt: 05.12.2014).
- [24] <http://www.fischerpolska.pl/> (odczyt: 10.12.2014).
- [25] <http://www.stalart.com.pl/> (odczyt: 05.12.2014).

THE PROBLEM OF CHEMICAL CORROSION IN RESIDENTIAL LIGHT STEEL FRAMING BUILDING

Summary. The light steel frame construction technology in residential applications is becoming more and more popular on the Polish market and in comparison with traditional technology it is more competitive. The specificity of making the foundation, the constructions of external walls, upper floor and rafter frames in light steel framing building is presented in the article. The problem of corrosion which occurs in the steel structural elements and their connections are discussed in the article. It presents the basic methods of corrosion protection of steel profiles and bolted joints used in the construction of light steel frame housing.