

Architektura i przemysł

Część 2: elementy budynku i przepisy



dr hab. inż. arch. Marcin Brzezicki
Wydział Architektury, Politechnika Wrocławska

Fot. 1. Przykład obudowy z płyt warstwowych – Fabryka Obrabiarek „Rafamet”. Główny projektant: Adrian Kopczyk. Realizacja w formule „Zaprojektuj i wybuduj”.

Projektowanie budynków przemysłowych stanowi dziedzinę rzemiosła architektonicznego, która wymaga szerokiej wiedzy i dużych kompetencji. W drugiej części cyklu przedstawiono podstawowe reguły dotyczące opracowania poszczególnych elementów budynku. Ponadto w artykule scharakteryzowano obowiązujące wymogi prawne, w tym przepisy przeciwpożarowe.

Budynki przemysłowe wznosi się głównie w konstrukcji szkieletowej. Inne typy konstrukcji stosuje się, jeśli jest to uzasadnione technologicznie, np. przy budowie silosów lub zasobników na materiały sypkie, wykorzystuje się ściany pełne (także przy konstruowaniu oddzieleń ppoż. – o tym w dalszej części tekstu). W przeważającej części są to konstrukcje stalowe lub stalowo-żelbetowe stosowane wtedy, gdy realizowany budynek ma podwyższone wymogi ochrony ppoż. W magazynach chemikaliów (np. soli drogowej,

saletry itp.) konstrukcje wykonuje się z drewna klejonego, ponieważ w takim agresywnym środowisku jest ono bardziej odporne na korozję niż beton i stal.

W szkieletowych systemach konstrukcyjnych obciążenia są przenoszone przez elementy prętowe: ściskane (słupy), zginane (belki i dźwigary) oraz rozciągane (ciągna). Zaletą tych systemów jest ich otwartość, czyli możliwość łatwej modyfikacji i rozbudowy przez dodawanie kolejnych segmentów, naw lub przęseł. Dla właścicieli obiektów przemysłowych cechy te są

istotne, ponieważ pozwalają na dostosowywanie wielkości obiektów produkcyjnych i magazynowych do bieżących potrzeb rynkowych (np. wielkości portfela zamówień, planów produkcji). Zaletą konstrukcji szkieletowej jest także szybki montaż, wykonywany na placu budowy z elementów prefabrykowanych, modułowych, zazwyczaj pochodzących z wyspecjalizowanej wy-

twórni. Czas montażu konstrukcji jest zależny od wielkości budynku i stopnia jego skomplikowania. Po wykonaniu wrażliwych na temperaturę otoczenia prac betonowych (np. fundamentowanie, podwaliny), konstrukcja stalowa lub żelbetowa prefabrykowana może być montowana przy niskich temperaturach, np. w miesiącach zimowych. Jest to zasadnicza różnica w stosunku

Zaletą konstrukcji szkieletowych jest możliwość łatwej ich modyfikacji i rozbudowy oraz szybki montaż.

do tzw. technologii tradycyjnych (patrz fot. 2).

W budynkach przemysłowych rozpiętość konstrukcji dostosowywana jest do wymogów technologii produkcji, ale zazwyczaj znacznie przekracza rozpiętości stosowane np. w budownictwie mieszkaniowym. Standardem są konstrukcje o rozpiętościach 18–24 m, choć oczywiście większe są także możliwe – np. budy-

a ostateczne decyzje co do gabarytów elementów konstrukcji podejmowane są przez projektantów biorących pod uwagę warunki lokalne, takie jak nośność gruntu, strefy obciążenia śniegiem i wiatrem. Odpowiednio ukształtowany system konstrukcyjny może w znacznym stopniu wzbogacać formę architektoniczną, szczególnie przy zastosowaniu np. dźwigarów krzywolini-

tu, montowany od zewnątrz (w chłodniach od wewnątrz). System bierze swą nazwę od niewielkiego ciężaru elementów, zazwyczaj nieprzekraczającego 50 kg na 1 m² (dla porównania 1 m² ściany murowanej z cegły to ok. 500 kg, a z gazobetonu to ok. 150-200 kg). Elementy lekkiej obudowy pełnią również funkcję izolacji termicznej, akustycznej, hydro- i wiatroizolacji. Najbardziej popularne są systemy lekkiej obudowy, wykonane z płyt warstwowych, kaset ściennych lub blach trapezowych.

Płyty warstwowe składają się z dwóch stalowych profilowanych blach, połączonych na stałe z rdzeniem wykonanym z materiału izolacyjnego (styropianu, poliuretanu lub wełny mineralnej). Na dłuższych krawędziach płyt znajdują się specjalnie wyprofilowane pióra i wpusty (tzw. zamki), umożliwiające połączenie z następną płytą (wkrety mocujące płyty do konstrukcji mogą być widoczne lub ukryte). Zaletą płyt warstwowych jest to, że blaszane okładziny stanowią ostateczne wykończenie elewacji zewnętrznej oraz ściany wewnętrznej budynku, nie wymagają już żadnych dodatkowych prac wykończeniowych poza założeniem obróbek (patrz fot. 3). Bardzo przyspiesza to budowę

objektu. Częstym błędem, który popelnia się w czasie ich projektowania, jest brak uwzględnienia w obliczeniach statycznych obciążenia termicznego [4, s. 379]. To ważne, ponieważ w słoneczne dni zewnętrzne blaszane poszycie płyty rozgrzewa się do wysokich temperatur (sięgających nawet 50-70°C) i może dojść do tzw. delaminacji, czyli rozwarstwienia płyty.

Kasety ścienne to odpowiednio wyprofilowane zimnogięte elementy z blach stalowych w kształcie zbliżonym do litery „C”, które po zamontowaniu do konstrukcji nośnej budynku, należy wypełnić izolacją (zazwyczaj wełną mineralną, skalną lub szklaną). Wymagają one konstrukcji zewnętrznej warstwy osłonowej, którą w wariantach najprostszym wykonuje się z blach trapezowych, a w wariantach estetycznie rozbudowanych np. z kasetonów ściennych stalowych lub płyt włókno-cementowych. Ze względu na możliwość wariantowania zewnętrznej warstwy osłonowej, obudowa wykonana z kaset ściennych daje projektantowi większą swobodę kształtowania elewacji.

Obudowa wykonywana z blach trapezowych wykorzystywana jest głównie w budynkach nieogrzewanych, choć

Zaletą płyt warstwowych jest to, że blaszane okładziny stanowią ostateczne wykończenie elewacji zewnętrznej oraz ściany wewnątrz budynku.

nek toru kolarskiego w Berlinie ma 142 m rozpiętości [1]. Wymaga to stosowania szczególnych typów dźwigarów. W konstrukcjach stalowych do najczęściej stosowanych należą dźwigary ramowe (w których słup jest sztywno połączony z rygłem poziomym) oraz ażurowe dźwigary kratowe, tzw. kratownice (zazwyczaj lżejsze, ale o większej wysokości, stosowane głównie pow. 30 m rozpiętości). W konstrukcjach żelbetonowych stosuje się dźwigary żelbetowe sprężone, lub płyty otworowe. Projekt konstrukcji przygotowywany jest przez wyspecjalizowane biuro,

wych, łukowych, ewentualnie ekspozycje konstrukcji na zewnątrz [2, p. podr. 10].

Lekka obudowa

Uzupełnieniem konstrukcji szkieletowej jest ściana osłonowa (osłonowa, czyli nieprzenosząca obciążeń pionowych od konstrukcji, a wyłącznie ciężar własny i obciążenia poziome, np. od działania wiatru) w systemie tzw. lekkiej obudowy. To system prefabrykowanych modułarnych elementów ściennych i dachowych, tworzących zewnętrzną powłokę budynku, stosowanych na konstrukcję obiekt-

Fot. 2. Widok stalowej konstrukcji szkieletowej budynku magazynowego, jednoprzestrzennego, w trakcie montażu. Zespół budynków magazynowych dla USP (arch. I. Huryk, UltraCAD, konstrukcja; AKSON, 2005).



oczywiście możliwe jest skonstruowanie ściany ocieplonej w tej technologii. Obecnie rzadziej spotyka się takie rozwiązanie, ponieważ producenci oferują wyspecjalizowane systemy elementów do lekkiej obudowy budynków przemysłowych, których przewagą jest krótszy czas montażu na placu budowy.

Odrębnym zagadnieniem, charakterystycznym dla budynków przemysłowych, jest projektowanie dachów płaskich (ich geometrii i odwodnienia). Ze względu na specyficzny kształt (niskie budynki o dużej powierzchni rzutu), dach jest największą przegrodą zewnętrzną, biorąc pod uwagę powierzchnię. Rodzi to bardzo konkretne problemy techniczne, należą do nich: ryzyko przegrzania budynku (duża powierzchnia dachu wystawiona na działanie promieniowania słonecznego) oraz prawidłowe odwodnienie (w czasie tzw. deszczów nawalnych instalacja musi odprowadzać wodę opadową w ilości rzędu metrów sześciennych na sekundę). Woda z dachu może być odprowadzana liniowo (do koryt wewnętrznych lub rynien na elewacji) lub punktowo (do wpuśców). Stosowane są także bardzo popularne systemy podciśnieniowe [5, s. 112], które umożliwią zmniejszenie przekroju rur spustowych. W tej dziedzinie odwodnienia dachów niezbędna jest ścisła współpraca architekta, który projektuje geometrię dachu, z projektantem instalacji kanalizacyjnej deszczowej. W sytuacjach, kiedy instalacja nie jest w stanie odebrać zakładanej ilości wody, projektuje się studnie chłonne lub zewnętrzne, terenowe zbiorniki na wodę opadową.

Instalacje

Konstrukcja nośna i ściana osłonowa w systemie lekkiej obudowy stanowią jedynie obudowę technologii i procesu produkcyjnego, który odbywa się wewnątrz zakładu. Aby procesy te mogły bezproblemowo przebiegać, niezbędne jest zasilanie urządzeń, zapewnienie odpowiedniej wymiany powietrza czy warunków mikroklimatycznych (temperatury i wilgotności). Instalacje techniczne w budynku przemysłowym to odmienna dyscyplina wiedzy

technicznej, więc projekty tych instalacji powierza się zazwyczaj wyspecjalizowanym jednostkom. Na projekty te składają się: instalacje elektryczne i teletechniczne (informatyczne), instalacje grzewcze i wentylacyjne (w niektórych przypadkach także klimatyzacyjne), instalacje technologiczne (np. woda oczyszczona, para technologiczna, gazy techniczne itp.). Trasy sieci i instalacji biorą swój początek w strefie technicznej, w której lokalizowane są kotłownie, stacje transformatorowe, agregaty chłodnicze, wytwornice pary, wentylatornie. Jednym z najważniejszych zadań projektanta na etapie projektu budowlanego, a następnie wykonawczego, jest skoordynowanie tras poszczególnych sieci, tak, aby wyeliminować kolizje uniemożliwiające realizację i sprawne funkcjonowanie budynku. Współcześnie bardzo pomocne są programy komputerowe typu BIM (Building Information Management), które pozwalają na wykrywanie kolizji instalacji już na etapie projektowania.

Dostosowanie do obowiązujących przepisów

Budynki przemysłowe muszą spełniać wymogi określone w warunkach technicznych oraz w przepisach i rozporządzeniach branżowych. Wymogi dotyczące budynków przemysłowych są jednak szczególne, ponieważ obok przepisów ogólnych, muszą być spełnione liczne wytyczne, dotyczące np. odporności pożarowej, oddzielenia stref pożarowych, BHP, zapewnienia odpowiedniego standardu pomieszczeń dla pracowników (tzw. pomieszczenia higieniczno-sanitarne). Charakterystyczne wymogi dla budynków przemysłowych zostały przedstawione poniżej.

Przepisy przeciwpożarowe

Jednym z głównych parametrów wpływających na projektowanie budynków przemysłowych jest gęstość obciążenia ogniowego, czyli całkowita energia, jaka może zostać wytworzona przy spaleniu zgromadzonych w pomieszczeniu materia-



Fot. 3. Montaż elementów lekkiej obudowy (płyty warstwowych) do konstrukcji szkieletowej. Budynek laboratoryjno-biurowy dla USP (arch. I. Huryk, UltraCAD, konstrukcja; AKSON, 2003).

łów. Wpływa on nie tylko na odległość między budynkami na działce własnej i od granicy działki [8, §271], ale także na wymagania dotyczące dróg pożarowych i zaopatrzenia w wodę do gaszenia pożaru [10].

Gęstość obciążenia ogniowego, rozpatrywana łącznie z wysokością budynku, decyduje o tzw. klasie odporności pożarowej (np. „B” lub „C”) decyduje o wykonaniu konstrukcji szkieletowej budynku z prefabrykatów żelbetonowych, a nie np. z elementów stalowych (niezabezpieczona stal nie ma żadnej odporności pożarowej). Przepisy dotyczące ochrony pożarowej budynków narzucają wymogi dotyczące maksymalnej dopuszczalnej powierzchni stref pożarowej

Współcześnie bardzo pomocne są programy komputerowe typu BIM, które pozwalają na wykrywanie kolizji instalacji już na etapie projektowania.

wej budynku. Następnie ten parametr decyduje o klasie odporności ogniowej poszczególnych elementów budynku: np. głównej konstrukcji nośnej, ścian zewnętrznych, przekrycia dachu. W wielu wypadkach to właśnie przyjęta klasa odporności pożarowej

decyduje o wykonaniu konstrukcji szkieletowej budynku z prefabrykatów żelbetonowych, a nie np. z elementów stalowych (niezabezpieczona stal nie ma żadnej odporności pożarowej). Przepisy dotyczące ochrony pożarowej budynków narzucają wymogi dotyczące maksymalnej dopuszczalnej powierzchni stref pożarowej



oddzielnym fundamencie, choć oczywiście możliwe są konstrukcje wykonywane np. z elementów z GK (pod warunkiem, że konstruowane są na stropach o odpowiedniej odporności pożarowej). Ścianami oddzielenia pożarowego rozdziela się także strefy ZL od strefy PM, np. strefy biurowe lub socjalne od strefy produkcyjnej. Zazwyczaj w odrębnej strefie pożarowej lokalizuje się pomieszczenia techniczne (wymogi m.in. dla kotłowni). Ze względu na znaczne gabaryty pomieszczeń produkcyjnych, przepisy narzucają również konieczność projektowania instalacji oddymiającej. Składają się na nią uchylne klapy w dachu, których zadaniem jest odprowadzenie dymu powstającego w czasie pożaru, a tym samym stworzenie nad posadzką strefy wolnej od dymu i „zapewnienie bezpiecznych warunków ewakuacji osób przebywających w budynku oraz bezpieczeństwa konstrukcji” [13, s. 38]. Duże hale dzieli się na tzw. strefy dymowe [7]. Strefy oddziela się kurtynami dymowymi stałymi lub opuszczanymi automatycznie w momencie wykrycia pożaru. Ze względu na gromadzenie znacznych ilości łatwopalnych materiałów, bardzo duże zagrożenie pożarowe występuje także

w „magazynach meblowych, odzieżowych i tekstylnych” [12, s. 18], gdzie ważnym problemem jest możliwość emisji toksycznych gazów w procesie spalania tekstyliów, gąbek, wypełnień itp.

W przypadku wybuchu pożaru, należy zapewnić możliwość ewakuacji pracowników do innej strefy pożarowej lub na zewnątrz budynku. W jednokondygnacyjnych halach przemysłowych wymóg ten spełnia się, projektując

Jednym z głównych parametrów wpływających na projektowanie budynków przemysłowych jest gęstość obciążenia ogniowego.

wyjścia ewakuacyjne bezpośrednio na zewnątrz. Tu także długość przejść ewakuacyjnych zależy od gęstości obciążenia ogniowego (75 m dla budynków pow. 500 MJ/m² i 100 m dla budynków do poniżej tej granicy).

BHP

Budynki przemysłowe są miejscami pracy, więc przede wszystkim muszą zapewniać odpowiednie warunki do higienicznego jej wykonywania. Oprócz wymogów mikroklima-

tycznych (temperatura i wilgotność powietrza w pomieszczeniu, wymiana powietrza), jednym z podstawowych parametrów jest doświetlenie miejsc pracy światłem dziennym. Ze względu na znaczne gabaryty budynków przemysłowych, w pomieszczeniach stałej pracy, obok okien projektowanych w ścianach, niezbędne jest również projektowanie świetlików w dachu, których zadaniem jest zapewnienie dopływu światła

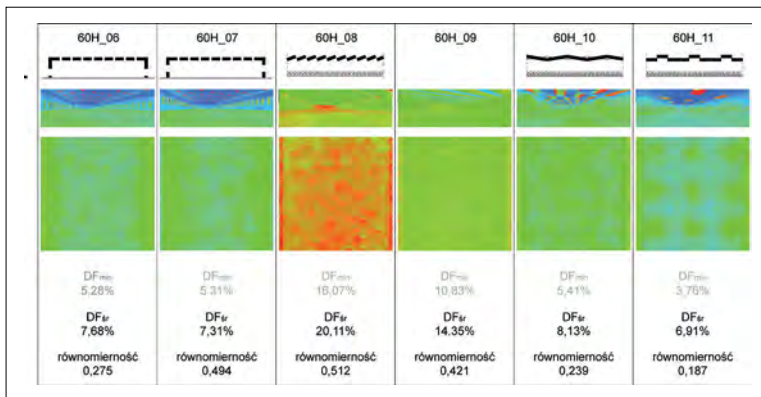
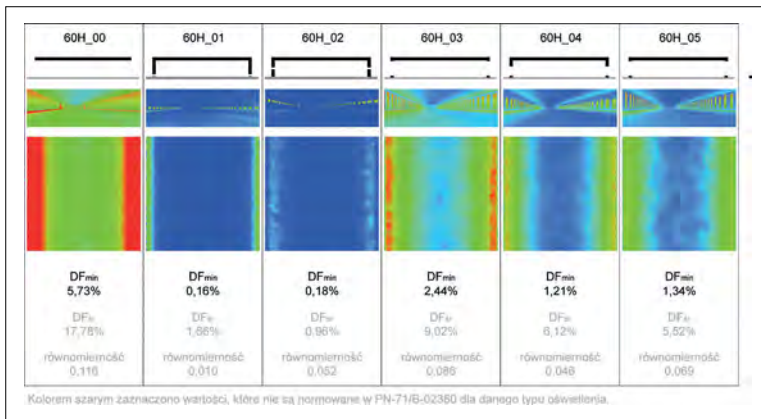
inspektora sanitarnego, wydaną w porozumieniu z okręgowym inspektorem pracy.

W obrębie zakładu przemysłowego mieści się również część higieniczno-sanitarna, w której znajdują się szatnie, umywalnie, jadalnie i toalety dla pracowników. Wymogi dla tych pomieszczeń formułuje Rozporządzenie ws. ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz.U. 2003 nr 169, poz. 1650), a konkretnie załącznik nr 3 do tego rozporządzenia pt. Wymogi dla pomieszczeń i urządzeń higienicznosanitarnych [9]. Pomieszczenia szatni powinny znajdować się w tym samym budynku, w którym wykonywana jest praca, lub powinny być połączone z tym budynkiem ogrzewanym łącznikiem. Szatnie dzieli się w zależności od stopnia zabrudzenia pracowników przy pracy na podstawowe (małe zabrudzenie) i przepustowe (duże zabrudzenie). W szatniach przepustowych szatnie odzieży własnej od szatni odzieży roboczej oddziela umywalnia zawierająca m.in. natryski. W skład pomieszczeń socjalnych wchodzi także jadalnia, które służą do spożywania posiłków dostosowanych do charakteru pracy, oraz toalety.

Obok działań projektowych i praktycznych, których celem



Fot. 4. Budowa ściany oddzielenia pożarowego w konstrukcji murowanej między budynkami w konstrukcji stalowej szkieletowej, widok na etap prac. Zespół budynków magazynowych dla USP (arch. I. Huryk, UltraCAD, konstrukcja; AKSON, 2005).



Fot. 5. Symulacja rozkładu oświetlenia światłem dziennym w hali o rozpiętości 60 m dla różnych wariantów rozmieszczenia okien i świetlików (3). Najbardziej równomierne oświetlenie uzyskuje się stosując świetliki w dachu, warianty od 60H_06 do 60H_11.

jest spełnienie wymogów przepisowych, podejmuje się również wiele działań z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, które wykraczają poza przewidziane przepisami granice, a ich celem

Architekci, jako projektanci wiodący, mają szczególną rolę w uświadamianiu inwestorów, jak istotne jest stworzenie odpowiednich warunków pracy.

jest takie kształtowanie środowiska pracy, aby ta była wydajniejsza i dostosowana do psychofizycznych możliwości oraz potrzeb określonego człowieka. Działania te noszą ogólną nazwę humanizacji miejsca pracy. Architekci, jako projektanci wiodący, mają szczególną rolę w uświadamianiu inwestorów, jak istotne jest stworzenie odpowiednich warunków pracy, miejsc do wypoczynku i relaksacji, dostępności światła dziennego, kontaktu wzrokowego z otoczeniem itp. Działania te, choć kosztowne, rekompensowane mogą być większą wydajnością pracowników lub np.

niższą liczbą zwolnień lekarskich i mniejszą rotacją pracowników. Badania prowadzone w Wielkiej Brytanii wskazują na np. zmniejszenie liczby zwolnień o 30% w wyniku likwidacji czynników stresogennych w pracy [11, rozdz. 1] lub wzrost produktywności, będący rezultatem zastosowania światła dziennego [6].

Uwaga na nowe i zmieniające się uregulowania prawne!

Artykuł został przygotowany na podstawie stanu prawnego z września 2016 r., w chwili kiedy trwają prace nad ustawą Kodeks Budowlany. Z dostępnego projektu tekstu ustawy wynika, że proponowane regulacje mają dotyczyć nie tylko samego procesu budowlanego. Ustawa zakłada także wydanie wielu nowych rozporządzeń (np. dotyczących standardów wyrobów budowlanych). W 2017 r. zostaną także zastosowane przepisy dotyczące np. wskaźnika rocznego obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną i współczynnika przenikania ciepła. (Dział X. „Oszczędność energii i izolacyjność cieplna” oraz zał. 2).

Więcej na temat aspektów ściśle architektonicznych w trzeciej części cyklu. ■

Literatura:

- [1] Ahlfeldt G., Arenas, *Arena Architecture and the Impact on Location Desirability: The Case of 'Olympic Arenas' in Prenzlauer Berg*, Berlin, Urban Studies, 2009, vol. 46, 7, s. 1343-1362.
- [2] Baborska-Narozny M., Brzezicki M., *Estetyka i technika w architekturze przemysłowej: wybrane problemy na przykładach z lat 1985-2005*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2008, s. 179
- [3] Brzezicki M., (2004) *Badania i optymalizacja rozkładu światła dziennego w budynkach przemysłowych o dużych rozpiętościach*, Raporty Inst. Arch. PWr, I01/2004/S-580, Ser. SPR, nr 580, s. 25
- [4] Gosowski B., *Typowe błędy projektowania i wykonania lekkiej obudowy z płyt warstwowych*, Inżynieria i Budownictwo, 2009, vol. 65, 7, s. 379-385.
- [5] Joniec W., *Odprowadzanie wody z dachów płaskich – odwodnienia podciśnieniowe*, Rynek Instalacyjny, 2008, 10, s. 111-114.
- [6] Leather, Pyrgas, Beale & Lawrence, *Windows in the Workplace. Sunlight, View, and Occupational Stress*, Environment and Behavior November, 1998 vol. 30 no. 6, s. 739-762.
- [7] Polska Norma, *Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła*, PrPN-B-02877-4.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
- [9] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie Ogólnych Przepisów Bezpieczeństwa i Higieny Pracy. (Dz. U. Nr 129 Poz. 844) Załącznik Nr 3. Pomieszczenia i urządzenia higienicznosanitarne.
- [10] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych, Dz.U. 2009 nr 124 poz. 1030.
- [11] Thompson N., Bates J., *Promoting Workplace Well-being*, Springer, 2009.
- [12] Wojcieszak A., *Podstawowe wymogi ochrony przeciwpożarowej magazynów – odporność ogniowa magazynu i gęstość obciążenia ogniowego*, Gospodarka Materialowa i Logistyka, 2012, 5, s. 18-25.
- [13] Wróbel P., *Zasady rozmieszczenia klap dymowych na dachach płaskich*, Dachy Płaskie, 2010, 2, s. 38-40.

Abstract:

Paper presents the basic design principles of various elements of industrial building. Specific requirements for the design of: (i) large spans structural systems, (ii) lightweight cladding, (iii) flat roof, (iv) daylight provision and (v) the media installation are discussed in the paper. Paper briefly describes the requirements for fire protection of industrial buildings as well as the human's and smoke evacuation conditions. Basic requirements for the design of hygienic and sanitary rooms are also characterized taking into account, so called basic and wash-through cloakrooms. The latest trends in humanizing the workplace are briefly presented at the end of the paper.

Material ilustrowany pochodzi z publikacji [3]