



BESKIDY



XXIII OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA
WARSZTAT PRACY PROJEKTANTA KONSTRUKCJI
SZCZYRK, 5+8 marca 2008 roku



KATOWICE



**Elżbieta
URBAŃSKA
-GALEWSKA ***



**Dariusz
KOWALSKI ****

ZASTOSOWANIE LEKKICH KONSTRUKCJI STALOWYCH DO RENOWACJI, ROZBUDOWY I REMONTÓW OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach lekkie konstrukcje stalowe z elementów giętych na zimno zaczęły zdobywać wyraźną pozycję na rynku budowlanym. Systematyczne badania naukowe prowadzone od połowy XX wieku, intensywny rozwój technologii wytwarzania konstrukcji stalowych oraz ochrony antykorozyjnej doprowadziły do szerokiego stosowania kształtowników giętych na zimno w przemyśle budowlanym. Dostępność norm projektowych i odpowiednich programów komputerowych zdecydowanie ułatwiają obliczenia statyczne i wymiarowanie konstrukcji, co dodatkowo zwiększa atrakcyjność konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno. Lekka konstrukcja stalowa w stosunku do konstrukcji tradycyjnej, z kształtowników walcowanych na gorąco, charakteryzuje się większą wartością wskaźnika p/g , tj. wskaźnika określającego, jakie obciążenie użytkowe „ p ” jest „przenoszone” przez ciężar własny „ g ” elementów konstrukcyjnych. Im większa jest wartość wskaźnika, tym konstrukcja jest lżejsza. Innym wskaźnikiem wyróżniającym lekkie konstrukcje stalowe jest zależność $szywność/g$.

* Dr hab. inż., Politechnika Gdańska

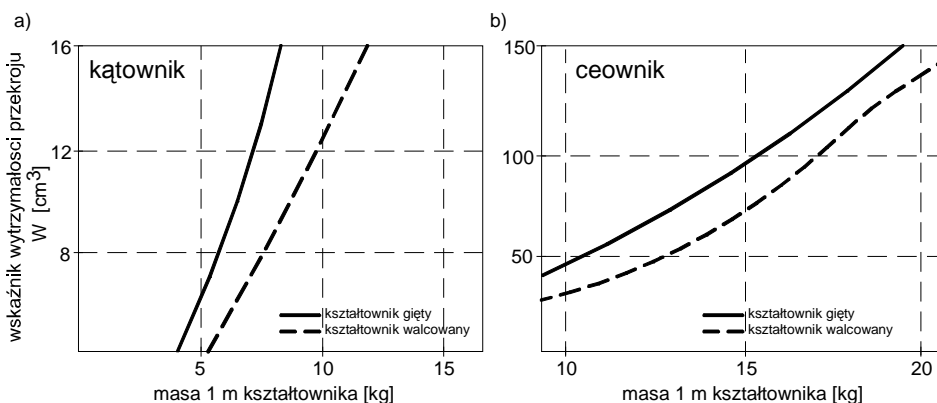
** Dr inż., Politechnika Gdańska

W tym przypadku również większe wartości wskaźnika oznaczają konstrukcję lekką [43]. Wartości tych współczynników są oczywiście względne i zależą przede wszystkim od typu konstrukcji.

Tak więc, już w samej definicji konstrukcji lekkiej kryje się jej pierwsza ważna zaleta: efektywność. Zaleta ta spowodowała, że gama rodzajów obiektów realizowanych w lekkich, stalowych technologiach jest ogromna, od konstrukcji tradycyjnie wykonywanych jako stalowe (mosty, kratowe dźwigary dachowe, płatwie) do zupełnie nowych, takich np. jak budownictwo jednorodzinne. Lekkie konstrukcje stalowe z powodzeniem zastępują dźwigary drewniane, a panele ścienne zbudowane na lekkim szkieletie stalowym - ściany betonowe lub ściany wykonywane w technologiach tradycyjnych (cegła, pustaki ścienne).

Podstawową zaletą konstrukcji wykonanych z lekkich kształtowników profilowanych na zimno jest mała masa konstrukcji. W porównaniu z konstrukcjami wykonanymi z kształtowników walcowanych na gorąco, zależnie od sytuacji projektowej, zużycie stali jest mniejsze. Wizualizację tej zalety przedstawiono na rysunkach 1.1a i 1.1b, porównując masy kształtowników walcowanych na gorąco i giętych na zimno o tych samych wartościach wskaźników wytrzymałości [45]. W przypadku zastosowania kształtowników giętych na zimno o przekroju zamkniętym, zamiast walcowanych, oszczędności na masie materiału sięgają $5 \div 30\%$ [45].

Kolejną zaletą, wynikającą z małej masy elementów konstrukcyjnych, jest znaczne skrócenie czasu montażu, które może dochodzić do 30% [7]. Ponadto stosując kształtowniki lub blachy profilowane na zimno, otrzymuje się produkt końcowy zabezpieczony przed korozją, niewymagający żadnych dodatkowych zabiegów w tym zakresie.



Rys. 1.1. Porównanie wskaźników wytrzymałości kształtowników giętych na zimno i walcowanych na gorąco o tej samej masie a) kątowników, b) ceowników [45]

Konstrukcje wykonane z lekkich kształtowników profilowanych na zimno obok licznych zalet mają również istotną wadę, jaką jest stosunkowo wysoka cena kształtowników giętych. Wynika ona z wyższego kosztu wytwarzania kształtowników, w który wliczony jest również koszt antykorozyjnych powłok ochronnych. Ostateczne obniżenie kosztów całej budowy nie jest tak znaczne jak by to wynikało z oszczędności materiałowych. Może ono wynosić od 5% do 25%. Również transport, przeładunek i montaż wyrobów giętych oraz elementów z nich wykonanych wymagają większej uwagi i staranności, ze względu na możliwość lokalnego uszkodzenia cienkiej blachy, z której wykonane są kształtowniki. Wadą lekkich konstrukcji są bardzo pracochłonne procedury projektowe. Jednakże producenci kształtowników giętych na zimno, wychodząc na przeciw potrzebom

projektantów, opracowują specjalne tablice do projektowania, ułatwiające dobór kształtowników, jak również programy komputerowe wspomagające projektowanie lekkich konstrukcji stalowych.

Wymienione wyżej cechy lekkich konstrukcji stalowych przyczyniają się do powszechnego ich stosowania nie tylko w nowo projektowanych obiektach, ale również przy wykonywaniu przebudów oraz wszelkiego rodzaju rozbudowach, nadbudowach i remontach istniejących obiektów budowlanych. W kolejnych rozdziałach niniejszego opracowania przedstawiono szeroką gamę możliwości wykorzystywania lekkich konstrukcji stalowych do wszelkiego rodzaju remontów.

2. Remonty dachów

Remont dachu polega na przywróceniu wartości użytkowej i sprawności technicznej połaci dachowej z zachowaniem dotychczasowego kąta pochylenia. Remonty takie mogą być wykonywane w przypadku znacznie zniszczonej istniejącej warstwy izolacji przeciwwodnej dachu.

Prace związane z remontem połaci dachowej mogą niejednokrotnie być prowadzone w warunkach, przy których nie można by prowadzić prac remontowych z wykorzystaniem tradycyjnych technik, polegających na naprawie nieszczelnego pokrycia kolejnymi warstwami bitumu czy też układaniu nowych warstw papy.

Przed przystąpieniem do realizacji prac należy zwrócić uwagę na wszelkiego rodzaju elementy wyposażenia dachu, które będą w pierwszej fazie podlegały demontażowi, np. układ przewodów instalacji piorunochronowej, oraz wystające ponad połac dachową kominy i przewody wywiewne, np. instalacji kanalizacyjnej.

Instalacja odgromowa dachu musi być odbudowana od początku, z dostosowaniem do nowego rodzaju pokrycia. Pozostałe elementy wyposażenia dachu, przed rozpoczęciem prac, należy poddać remontowi, a niejednokrotnie dopasować do aktualnych wymogów technicznych. Elementy te stanowią stałe przeszkody, które trzeba uwzględnić w prowadzonym remoncie.

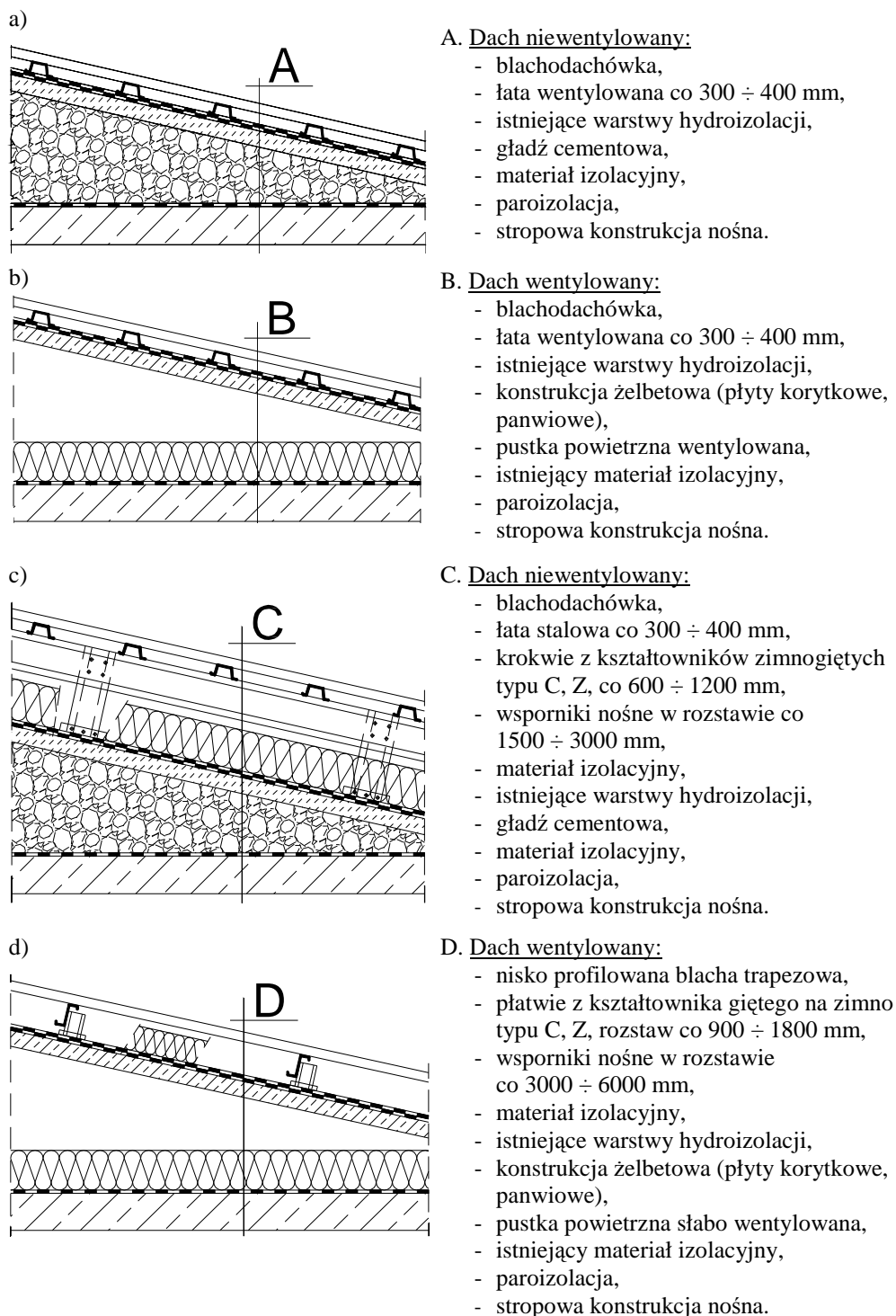
Przy remontach pokryć dachowych możliwe są dwie metody postępowania:

- usunięcie starego pokrycia (np. dachówki ceramicznej) i ułożenie na to miejsce nowego, np. blachodachówki,
- położenie nowego pokrycia (np. z blachy trapezowej) bezpośrednio na istniejącym, starym, nie nadającym się do remontu, pokryciu, np. z wielu warstw papy (zmniejszenie uciążliwości przeprowadzanego remontu dla użytkowników obiektu).

Przy wykonywaniu remontów drugim sposobem można wyróżnić dwa podejścia do układania nowego pokrycia na istniejącym dachu:

- zmiana materiału pokrycia, bez dodawania warstwy izolacyjnej (rys. 2.1a, b),
- wykonanie pokrycia na nowej konstrukcji wsporczej z ułożeniem dodatkowej warstwy ocieplenia połaci dachowej (rys. 2.1c, d).

Na dachu, na którym nie przewidziano ułożenia dodatkowej warstwy izolacji termicznej, metalowy materiał pokryciowy w postaci blachy trapezowej, czy też blachodachówki, układa się na dodatkowej konstrukcji wsporczej, którą mogą stanowić np. stalowe łaty. Łaty te mocowane są do istniejącej konstrukcji dachu w rozstawie dostosowanym do wymagań techniczno - użytkowych zastosowanego pokrycia. Przy pokryciu wykonanym z blachy profilowanej w formie dachówki rozstaw ten wynosi, w zależności od profilu i producenta, od $0,20 \div 0,40$ m (rys. 2.1a, b).



Rys. 2.1. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne renowacyjnych pokryć dachowych

Na łąty najlepiej jest stosować specjalny, cienkościenny kształtownik stalowy, tzw. łątę wentylowaną, zapewniająca możliwość wentylacji przestrzeni pod nowym pokryciem (patrz pkt 6.2). Łatę taką mocujemy do istniejącego podłoża za pomocą wkrętów lub kołków (patrz pkt 6.4). Z kolei blaszane pokrycie jest mocowane do łąt za pośrednictwem powszechnie używanych wkrętów samowiercących, zakończonych powiększonymi podkładkami i uszczelkami wykonanymi z tworzywa EPDM.

Druga metoda remontu dachu – z dodatkowym ociepleniem połaci dachowej, stosowanym w celu zmniejszenia strat ciepła (rys. 2.1c, d), wymaga podniesienia połaci na wysokość umożliwiającą ułożenie odpowiedniej grubości warstwy izolacji termicznej, wykonanej najczęściej z wełny mineralnej, rzadziej ze styropianu. W takim przypadku profilowane blachy pokrycia należy ułożyć na łątach lub płatwiach, wykonanych z kształtowników giętych na zimno typu C lub Z. Rozstaw elementów konstrukcji wsporczych uzależniony jest od wybranego rodzaju pokrycia oraz warunków lokalnych, decydujących o możliwości mocowania nowej konstrukcji do istniejącego układu nośnego połaci dachowej.

Orientacyjne rozstawy elementów konstrukcyjnych wynoszą:

- przy układzie krokwiowym konstrukcji: rozstaw łąt jest dostosowany do stosowanej blachodachówki – co $0,3 \div 0,4$ m, rozstaw krokwi – co $0,6 \div 1,2$ m, w zależności od nośności zastosowanych łąt;
- w układzie płatwiowym – o rozstawie płatwi decyduje nośność blachy trapezowej ($0,9 \div 1,8$ m), a rozpiętości płatwi ($3 \div 6$ m) zależy od wysokości i nośności profilu oraz warunków i nośność podłoża, do którego będziemy mocować konstrukcję wsporczą.

Na pokrycia z blachy trapezowej stosowane są niskoprofilowane blachy trapezowe wykonane z blach o najmniejszych grubościach rdzenia stalowego.

Przy remontach pokryć dachowych należy zwrócić uwagę na minimalny kąt pochylenia połaci dachowej określony wytycznymi normy [24] oraz producentów, w odniesieniu do konkretnych wyrobów osłonowych.

W przypadku blachodachówek minimalny kąt pochylenia określony przez producentów wynosi od 8° (14%) [23] do 9° (15%) [42].

Dla połaci dachowych pokrywanych blachą trapezową minimalny kąt pochylenia połaci wynosi [24]:

- 4° (7%) dla blach trapezowych ocynkowanych i powlekanych o wysokości profilu powyżej 35 mm,
- 6° (10%) dla blach trapezowych ocynkowanych i powlekanych o wysokości profilu poniżej 35 mm,

przy czym norma [24] zaleca pochylenie, w obu wymienionych przypadkach, o wartości nie mniejszej niż 10%.

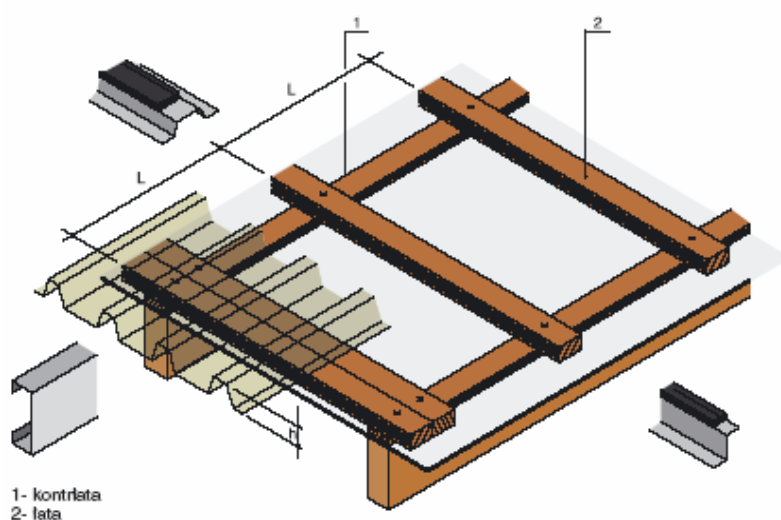
Przy projektowaniu tego typu remontów należy szczególnie zwrócić uwagę na nośność podłoża, w którym będą osadzone wszelkiego rodzaju łączniki, mocujące konstrukcję wsporczą do istniejącego podłoża. Łączniki takie należy projektować zarówno na siły poprzeczne, jak i siły wyciągające, jakie powstają na połaciach dachowych od ssącego działania wiatru. Obliczenia projektowe powinny być zweryfikowane przez próbne obciążenia takich łączników bezpośrednio na remontowanym obiekcie.

Nośne elementy konstrukcyjne powinny być zwymiarowane lub dobrane na podstawie tablic producentów z uwzględnieniem obciążeń działających na nową połac: tj. obciążenia wiatrem, śniegiem i ciężarem własnym nowej konstrukcji. Jako obciążenie należy również uwzględnić możliwość poruszania się osób po nowej połaci dachowej w postaci siły skupionej (1 kN), ustawianej w miejscach najbardziej niekorzystnych dla wymiarowanych

elementów. Obliczeń wymagają również wszelkiego rodzaju łączniki. Projekt konstrukcyjny nowego pokrycia powinien zawierać informacje na temat sposobu wykonywania różnego rodzaju wymianów, obejść, a następnie uszczelnień istniejących elementów wystających ponad połąc dachową.

Na konstrukcję wsporczą pod nowe pokrycie stalowe mogą być wykorzystane lekkie kształtowniki zimnogięte, o których wspomniano wcześniej, jak i elementy tradycyjne w postaci belek i łat drewnianych. Elementy stalowe i drewniane mogą być stosowane zamiennie (rys. 2.2).

Szczegóły rozwiązań konstrukcyjnych remontowanych dachów są identyczne jak w przypadku nowo projektowanych obiektów [39].



Rys. 2.2. Konstrukcja podkładu dla pokrycia z blach profilowanych [23]

Prezentowane metody remontu połąc dachowej mogą być stosowane w obiektach z dachami wentylowanymi jak i niewentylowanymi.

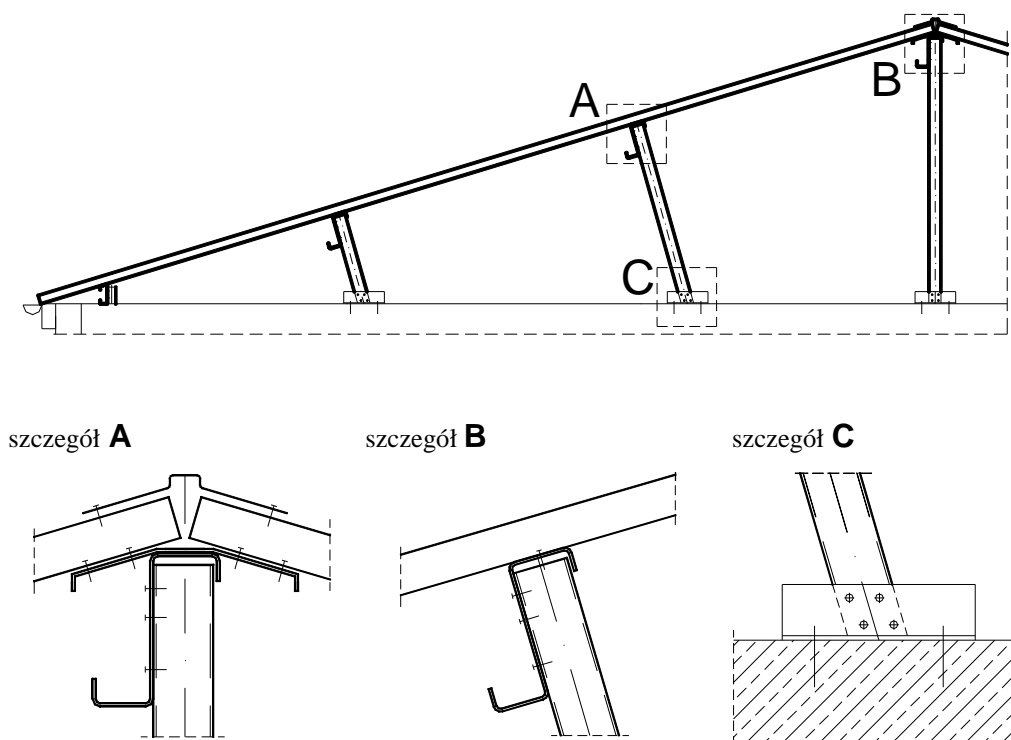
Remonty z wykorzystaniem kształtowników zimnogiętych pozwalają znacznie ograniczyć ciężar nowej konstrukcji montowanej na istniejącym obiekcie.

Zabezpieczenia antykorozyjne poszczególnych wyrobów jak i ich szczelność zapewniają wieloletnią, bezobsługową eksploatację nowych pokryć.

3. Przebudowy dachów

Przebudowa dachu polega na zmianie jego dotychczasowego kształtu oraz rodzaju pokrycia. Płaskie dachy kryte papą po wielu latach eksploatacji i wielokrotnym dokładaniu kolejnej warstwy powłoki bitumicznej ulegają stopniowej degradacji na skutek działania czynników atmosferycznych, a także na skutek różnego rodzaju uszkodzeń mechanicznych. Dachy takie mogą wymagać generalnego remontu polegającego na zerwaniu całego pokrycia z papy i położeniu nowego. Jest to właściwy moment na podjęcie decyzji o ewentualnej przebudowie dachu. Przebudowę dachu można wykonać również w ramach rewitalizacji całego obiektu.

Najbardziej efektywną metodą przebudowy dachu jest ustawienie na istniejącym dachu nowej, lekkiej konstrukcji stalowej, zmieniającej kształt dachu. Metoda ta znajduje zastosowanie w przypadku wielokondygnacyjnych budynków wykonanych zarówno w technologii tradycyjnej jak i wielkiej płyty. Można ją również stosować w przebudowach wolnostojących domów jednorodzinnych oraz domów szeregowych z płaskimi dachami. W tym drugim przypadku zawsze należy rozpatrzyć korzyści wynikające z wykonania nadbudowy (patrz pkt 4), gdyż przy okazji możemy zwiększyć powierzchnię użytkową domku. Zaletą powyższej metody jest możliwość poprawy walorów architektonicznych i termicznych istniejących budynków przy okazji przeprowadzania remontu dachu.

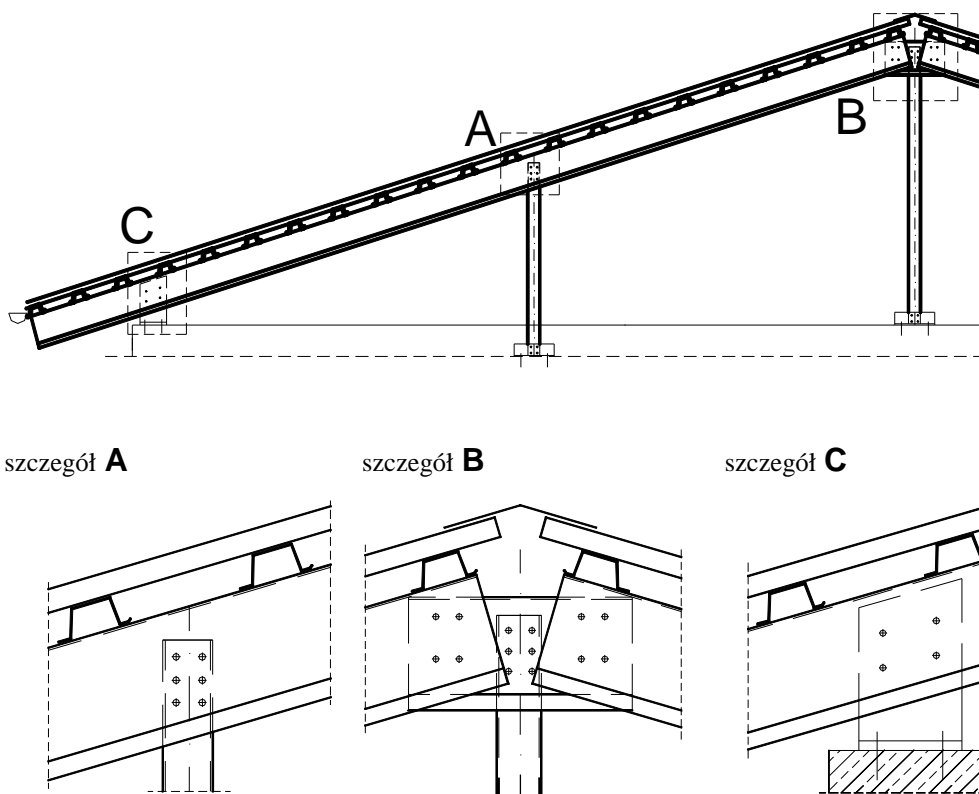


Rys. 3.1. System przebudowy w oparciu o układ płatwiowy [21]

3.2. Konstrukcja nowego dachu

Podstawową cechą omawianej metody jest ustawianie nowej, lekkiej konstrukcji nośnej dachu bezpośrednio na istniejącym pokryciu dachu płaskiego. Można wyróżnić dwa sposoby kształtowania konstrukcji nośnej nowego dachu. Różnią się między sobą sposobem ustawienia elementów nośnych konstrukcji wsporczej połączenia dachowej. Pierwszy sposób polega na ułożeniu nośnego pokrycia z blachy trapezowej na płatwiach (rys. 3.1), a drugi – na ułożeniu blachodachówki na konstrukcji złożonej z krowi i łąt (rys. 3.2). W obu przypadkach konstrukcja połączenia dachowej podparta jest na elementach wsporczych, które przekazują obciążenia na istniejący dach. Lokalizacja słupków podporowych powinna być określona na podstawie identyfikacji istniejących nośnych elementów konstrukcji dachu lub

obiektu. Wszystkie elementy konstrukcyjne nowego dachu mogą być wykonane ze stalowych kształtowników giętych na zimno. Przykładowe rozwiązania głównych węzłów przedstawiono na rysunkach 3.1 i 3.2. Elementy nowej konstrukcji dachu należy zwymiarować zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w pkt 2. Ponadto należy zapewnić stateczność prętowego układu nośnego poprzez zastosowanie układu stężeń połączonych i pionowych, zgodnie z zasadami kształtowania przestrzennych konstrukcji metalowych.



Rys. 3.2. System przebudowy w oparciu o układ krokwiowy

3.3. Zalety zmiany kształtu dachu

Uzyskanie większego niż dotychczas pochylenia połaci dachowej pozwala na większą kontrolę spływającej wody deszczowej niż w przy dachu płaskim.

Ciężar własny konstrukcji nowego, lekkiego dachu jest tak mały, że nie ma potrzeby wzmocnienia konstrukcji budynku.

Istniejący dach spełnia rolę dachu tymczasowego chroniącego budynek i jego mieszkańców przed czynnikami atmosferycznymi w trakcie trwania remontu dachu.

Przebudowa jest tania i łatwa, gdyż koszty usunięcia starego dachu są ograniczone do minimum a nowa konstrukcja nie wymaga specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych.

Lekkie elementy konstrukcji stalowej mogą być wciągane bezpośrednio na płaski dach, niepotrzebny jest plac składowy wokół remontowanego budynku.

Montaż nowego dachu jest bardzo szybki dzięki prefabrykacji elementów składowych.

Konstrukcja nowego dachu jest tania z uwagi na stosunkowo małą liczbę elementów. Koszty utrzymania i inspekcji nowego dachu są minimalne.

4. Nadbudowy obiektów

Przez nadbudowę obiektu rozumiemy modernizację budynku (mieszkalnego, biurowego, użyteczności publicznej) polegającą na zwiększeniu powierzchni użytkowej w wyniku nadbudowania 1 lub 2 kondygnacji. Nadbudowy są ekonomicznie najkorzystniejszym sposobem pozyskania dodatkowej powierzchni użytkowej w istniejącej zabudowie. Dają również szansę przeprowadzenia bardzo skutecznej i trwałej modernizacji budynków [5]. Przy okazji nadbudowy niejednokrotnie dokonuje się modernizacji infrastruktury budynku (instalacje sanitarne i elektryczne, urządzenia techniczne) oraz renowacji elewacji.

Pod koniec lat 70. zaczął w Polsce narastać kryzys mieszkaniowy [14] będący skutkiem działającej przez wiele lat gospodarki narodowej, planowanej centralnie i zarządzanej dyrektywnie. Brak mieszkań oraz brak uzbrojonych terenów zaowocowały pomysłem nadbudowywania starych obiektów z lat międzywojennych oraz z lat 50 - 60. Pomysł ten nie został jednak wdrożony na szerszą skalę z wielu powodów, zarówno organizacyjnych, jak i technicznych. Pomijając ówczesne metody działania i przepisy prawne, które nie chroniły lokatorów istniejących obiektów przed niedogodnościami niepoprawnie zrealizowanej inwestycji okazało się, że wykonywanie nadbudowy w tej samej technologii, w jakiej wzniesiony został budynek jest mało ekonomiczne i często architektonicznie nieciekawe. Jediną korzyścią było wykorzystanie uzbrojonego terenu. W rezultacie pomysł powszechnego wykonywania nadbudów nie przyjął się.

Obecnie sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Aktualnie obowiązujące przepisy prawa budowlanego lepiej chronią interesy zarówno osób użytkujących nadbudowywany obiekt, jak i mieszkańców okolicznych budynków. Ponadto istniejące nowe, lekkie technologie pozwalają na szybkie wykonanie nadbudowy. Połączenie realizacji nadbudowy z remontami kapitalnymi starych budynków oraz korzyści finansowe wynikające ze zwiększenia liczby użytkowników danego obiektu powodują, że właściciele starych budynków coraz częściej dopytują się o możliwości realizacji najbardziej efektywnej nadbudowy. Dowodem na to jest znaczna liczba przetargów na nadbudowy istniejącej infrastruktury użytkowej ogłaszanych m.in. przez jednostki publiczne.

Konstrukcja nośna nadbudowy zaprojektowana i wykonana w lekkiej technologii stalowej (z kształtowników giętych na zimno) charakteryzuje się szeregiem zalet:

- mały ciężar własny przy wysokich parametrach wytrzymałościowych pozwala uniknąć problemów związanych ze wzmacnianiem konstrukcji istniejącego obiektu;
- wysoki stopień prefabrykacji oraz niska masa elementów montażowych pozwala na bardzo szybki montaż konstrukcji nadbudowy, a przez to przyczynia się do redukcji kosztów (wyeliminowanie ciężkich urządzeń dźwigowych);
- możliwość stosowania różnych materiałów osłonowych (cegła, kamień, drewno, szkło, stal, aluminium) na ścianach zewnętrznych zwiększa atrakcyjność prezentowanej technologii pod względem architektonicznym.

Decyzja o nadbudowie musi być poprzedzona oceną istniejącej substancji budowlanej pod kątem planowanej nadbudowy oraz szeregiem czynności przygotowawczych, uwzględniających podstawowe wymagania określone ustawami [40, 48, 49] odnośnie doświetlenia budynków sąsiednich, zapewnienia właściwych warunków dojazdów, odpowiedniej powierzchni czynnych terenów zielonych oraz niepogarszania warunków akustycznych.

4.1. Wstępna koncepcja nadbudowy

W pierwszym etapie inwestor powinien przyjąć koncepcję nadbudowy, którą zamierza realizować. Opracowanie takiej koncepcji wymaga:

- przyjęcia przez inwestora założeń funkcjonalno-użytkowych oraz określenie funkcji nowo planowanych pomieszczeń w nadbudowywanej części budynku – czy będą to mieszkania, apartamenty do wynajmowania, czy też biura lub pracownie, czy planowane są balkony lub antresole;
- określenia sposobu zagospodarowania nowej powierzchni: jak duże będą poszczególne mieszkania lub biura, czy mieszkania mają być jedno- czy też dwupoziomowe, czy biura lub pracownie będą jednoprzestrzenne, czy też podzielone ścianami.

Kolejnym krokiem jest wstępna ocena obiektu przeznaczonego do modernizacji pod kątem planowanej nadbudowy. Na tym etapie planowania inwestycji pomocną może być ekspertyza techniczna, sporządzona na podstawie posiadanych planów obiektu oraz wizji lokalnej budynku. Na etapie wstępnej oceny należy również zapoznać się otoczeniem budynku w celu ustalenia okoliczności mogących mieć wpływ na planowaną nadbudowę. W przypadku braku planów budynku trzeba przeprowadzić inwentaryzację obiektu. W ocenie należy przedstawić układ konstrukcyjny budynku, możliwości lokalizacji słupów nośnych i ścian, szerokości traktów oraz rozpiętości konstrukcyjne. Istotne jest określenie sposobów doświetlenia wewnątrz w stosunku do stron świata a także otaczających obiektów.

Na tym etapie należy również ocenić możliwości lokalizacji elementów transportu pionowego, tzn. klatek schodowych i dźwigów. Szczególnie istotna jest decyzja odnośnie urządzeń transportu pionowego. Zgodnie z § 193 [40], każdy budynek o wysokości ponad 12 m, niezależnie od przeznaczenia, lub budynek mieszkalny o liczbie kondygnacji większej niż 4, musi być wyposażony w urządzenia dźwigowe. Wysokość budynku czy też liczba kondygnacji, w wyniku nadbudowy, mogą przekraczać podane wyżej wartości, a wtedy konieczne jest zaprojektowanie dźwigu.

Do wstępnych kroków należy również zapoznanie się z planem zagospodarowania przestrzennego oraz otaczającą architekturą. Wiedza ta będzie pomocna przy podejmowaniu decyzji odnośnie kształtu przyszłej bryły budynku tak, aby architektura nadbudowywanego obiektu harmonizowała z otoczeniem.

Opracowanie wstępnej koncepcji nadbudowy budynku stanowi podstawę do podjęcia dalszych czynności przygotowawczych związanych z planowaniem inwestycji.

4.2. Przygotowanie inwestycji

4.2.1. Ocena stanu technicznego budynku

Zaprojektowanie nadbudowy wymaga wykonania oceny technicznej, która określi zakres i warunki techniczne nadbudowy. Opracowana wcześniej koncepcja (pkt 4.1) pozwala ocenić możliwości realizacji nadbudowy. Opracowywana ocena techniczna (ekspertyza) odnosi się do konkretnych założeń funkcjonalnych weryfikując je pod względem technicznym. W ocenie powinny być określone dopuszczalne obciążenia istniejącej konstrukcji, możliwość wykonywania przebieg stropów i ścian, warunki wykonania dźwigów wewnętrznych i lokalizacji urządzeń technicznych. Powinny być również określone możliwości ewentualnego wzmocnienia istniejącego obiektu oraz możliwości prowadzenia instalacji.

Ocena techniczna może być wykonana dwuetapowo:

- Etap 1: wstępna ocena warunków nadbudowy (do ustalenia możliwości realizacji przyjętej koncepcji,
- Etap 2: pełna ocena opracowana w czasie wykonywania projektu budowlanego.

4.2.2. Program funkcjonalno-użytkowy

Na podstawie wstępnej koncepcji nadbudowy obiektu, opinii technicznej, istniejących archiwalnych planów budynku i ewentualnej inwentaryzacji istniejącego budynku należy opracować program funkcjonalno-użytkowy nadbudowy. Program ten powinien zawierać wstępny bilans zapotrzebowania na media: wodę, centralne ogrzewanie, gaz, odprowadzanie ścieków, energię elektryczną itp. oraz uzgodnienia z dostawcami tych mediów [41]. Wskazane jest, aby w programie wybrane zagadnienia opracowywane były wariantowo, co ułatwia uzyskanie optymalnych rozwiązań.

Powinien również być opisany wpływ nadbudowy na istniejącą część budynku oraz na budynki sąsiednie, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień akustyki, wpływu nowej inwestycji na nasłonecznienie i przewietrzanie otaczającej zabudowy, na istniejące zadrzewienie. Powinny być także opisane przyjęte rozwiązania dotyczące zwiększonego zapotrzebowania na miejsca postojowe na parkingach.

4.2.3. Analiza ekonomiczna

Analiza ekonomiczna planowanej nadbudowy, opracowana na podstawie wymienionych wyżej dokumentów, tzn.: koncepcji architektonicznej, opinii technicznej i programu funkcjonalno-użytkowego, stanowi końcowy etap podejmowania przez inwestora decyzji o realizacji inwestycji. Analiza ekonomiczna powinna określić opłacalność wykonywania nadbudowy oraz okres amortyzacji zainwestowanych środków, z uwzględnieniem ewentualnego kosztu kredytowania inwestycji. Istotne jest skoordynowanie wykonywania nadbudowy z planowanymi remontami pozostałej części budynku, co powinno zwiększyć opłacalność całego przedsięwzięcia.

4.3. Wytyczne opracowania projektu konstrukcji nadbudowy w lekkiej technologii stalowej

4.3.1. Zasady kształtowania konstrukcji nadbudowy

Można wyróżnić trzy metody wykonywania nadbudów istniejących obiektów w lekkiej technologii stalowej. Metody te różnią się między sobą stopniem prefabrykacji (rys. 4.1). Są to metody wykonywania nadbudowy z:

1. pojedynczych elementów stalowych (rys. 4.1a), które po skończonym montażu są obudowywane elementami okładzinowymi i wypełniającymi (rys. 4.1c),
2. częściowo lub całkowicie prefabrykowanych w lekkiej technologii płyt (paneli) ściennych i stropowych (rys. 4.1b, d),
3. prefabrykacja przestrzennych segmentów montażowych (rys. 4.3.b).

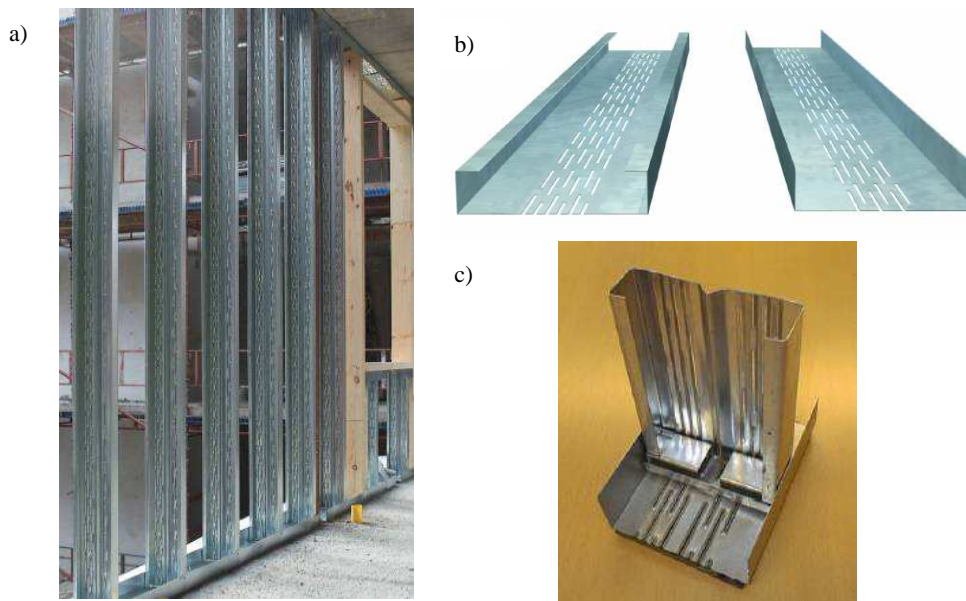
Pierwsza metoda polega na montowaniu stalowego szkieletu nadbudowy z pojedynczych elementów w miejscu ostatecznego przeznaczenia. Z kształtowników stalowych o odpowiedniej długości montowane są szkielety poszczególnych ścian jak na rys. 4.1a. Słupki górną i dolną łączone są odpowiednio z elementem oczepowym i podwalinowym

(rys. 4.2a). Na słupki ścian najczęściej stosuje się kształtowniki o przekroju ceowym z usztywnionymi krawędziami a na elementy poziome kształtowniki typu U (rys. 4.2b). Wysokość przekroju kształtownika wynika z warunku wytrzymałościowego (pkt. 4.3.2), z potrzebnej grubości warstwy izolacji termicznej, która będzie umieszczona wewnątrz ściany (rys. 4.13, 4.14) oraz wymagań akustycznych.



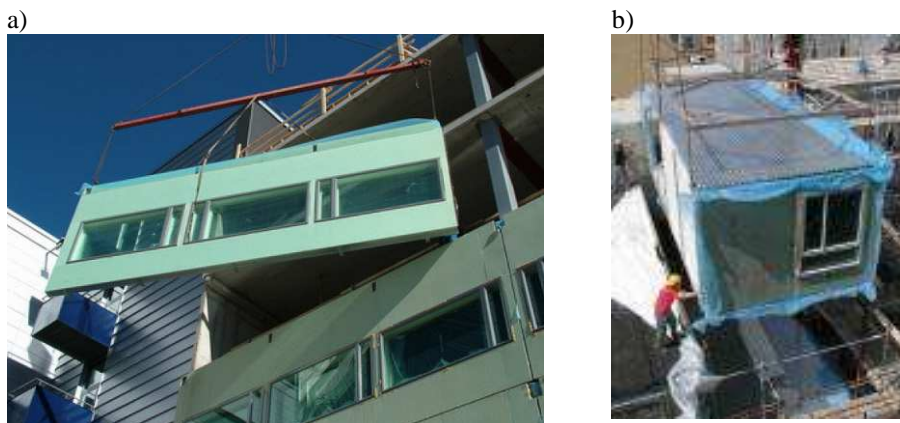
Rys. 4.1. Różne poziomy prefabrykacji: a) montaż z pojedynczych elementów, b) montaż gotowego szkieletu ściany, c) obudowanie szkieletu płytami OSB, d) prefabrykacja panelu ściennego [46]

Elementy belkowe wykorzystywane są również do wykonstruowania otworów okiennych i drzwiowych. Szkielet każdej ze ścian wymaga wprowadzenia stężeń, zapewniających niezmienną kształtu ściany w jej płaszczyźnie. Stężenia w ścianach najlepiej jest projektować z cienkich taśm stalowych, które nie kolidują z elementami obudowy, co ma miejsce, gdy zastosujemy pręty okrągłe lub liny. Stalowe pręty konstrukcji łączone są między sobą przeważnie za pośrednictwem wkrętów samogwintujących. Szczegółowy opis technik łączenia kształtowników giętych na zimno znajduje się w pkt 6.4 niniejszego opracowania. Konstrukcję dachu stanowią dźwigary kratowe wykonane z giętych na zimno kształtowników lub warstwowe płyty stropowe. Zazwyczaj są one podparte w środku rozpiętości lub w kilku punktach wynikających z układu ścian poprzecznych.



Rys. 4.2. Szkielet ściany warstwowej: a) konstrukcja ściany, b) perforowane kształtowniki typu TERMO, c) połączenie słupka z elementem podwalinowym (lub oczepowym) [46]

Druga metoda wykonywania nadbudów różni się od poprzedniej głównie stopniem prefabrykacji konstrukcji. W wytwórni produkowane są panele ścienny lub stropowe jak na rysunku 4.1d. Panel ścienny jest wysokości jednej kondygnacji i długości od 4 do 8 m. Na rysunku 4.3a przedstawiono montaż pojedynczego panelu osłonowego, a na rysunku 4.3b – całego segmentu przestrzennego budynku.



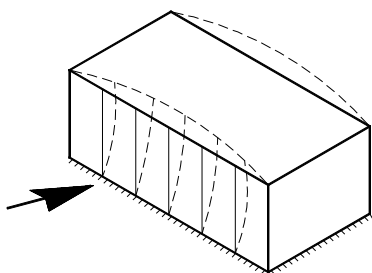
Rys. 4.3. Montaż: a) pojedynczych paneli ściennych, b) segmentu przestrzennego [46]

Najbardziej znane systemy prefabrykacji płyt ściennych i stropowych są przedstawione w pracach [21, 42].

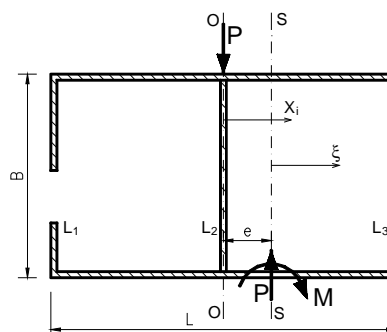
Przy projektowaniu ścian należy wziąć pod uwagę możliwości procesów produkcyjnych, aby w jak największym stopniu wykorzystać zalety prefabrykacji. Maksymalne uprzemysłowienie procesów produkcyjnych oznacza przesunięcie niektórych prac z placu budowy do wytwórni, gdzie wykonywane są w warunkach wysokiego oprzyrządowania oraz braku wpływu warunków atmosferycznych, co sprzyja uzyskaniu wyższej jakości przy niższych kosztach.

4.3.2. Projektowanie konstrukcji nadbudowy

W celu zapewnienie mieszkańcom nadbudów bezpieczeństwa, komfortu cieplno-wilgotnościowego, odpowiedniej izolacyjności akustycznej oraz ochrony przed rozprzestrzenianiem się ognia, ściany zewnętrzne i wewnętrzne oraz stropy muszą być zaprojektowane zgodnie z odpowiednimi wytycznymi. Konstrukcję nadbudowy może kształtować na dwa sposoby. Pierwszy sposób to tradycyjny układ szkieletowy, przenoszący wszystkie obciążenia, wypełniony płytami osłonowymi przenoszącymi parcie wiatru i ciężar własny. W drugim sposobie schematem statycznym konstrukcji nadbudowy jest przestrzenny układ tarczowy, którego schemat ideowy przedstawiono na rys. 4.4. Połowa obciążeń wywołanych parciem wiatru na ścianę boczną jest przenoszona przez poziomą płytę stropu na ściany szczytowe, które są ścinane, a następnie na fundamenty. W przypadku konstrukcji z przegrodami wewnętrznymi (rys. 4.6), w przenoszeniu obciążeń poziomych biorą udział wszystkie przegrody. Wartość obciążenia poziomego przypadająca na poszczególne ściany poprzeczne zależy od sztywności ścian.



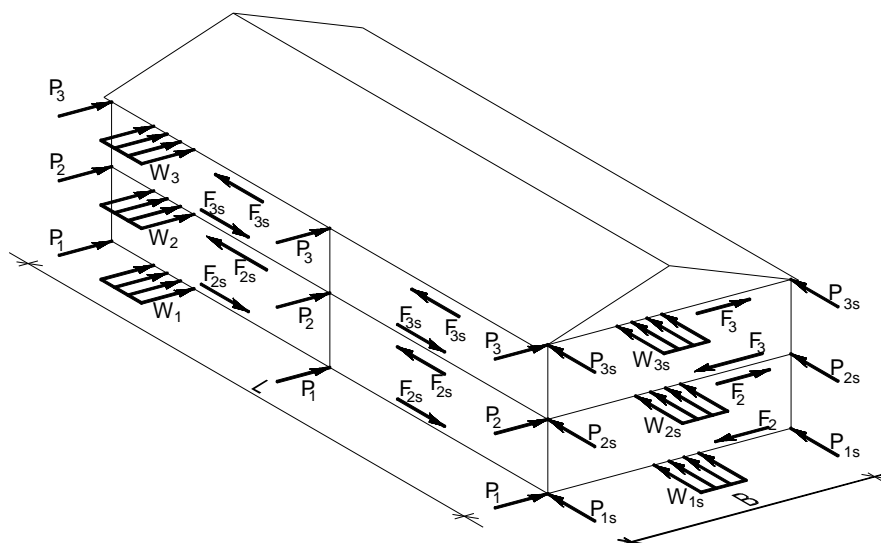
Rys. 4.4. Schemat tarczowego charakteru pracy stropu



Rys. 4.5. Wpływ sztywności ścian poprzecznych na pracę przestrzenną konstrukcji [46]

Każda ściana zewnętrzna obciążona jest układem sił:

- pionowych, od części konstrukcji znajdujących się powyżej, tzn. obciążenia przekazywanego przez elementy konstrukcji dachu lub wyższe kondygnacje budynku; miejsca przyłożenia tych obciążeń zależą od szczegółów konstrukcyjnych;
- pionowych, od ciężaru własnego ścian, w tym ciężaru okładziny elewacyjnej w przypadku ścian zewnętrznych;
- poziomych prostopadłych do ściany, od parcie lub ssania wiatru na ściany zewnętrzne;
- poziomych stycznych do ściany, przenoszących reakcje od ścian prostopadłych.



Rys. 4.6. Schemat przestrzennej pracy budynku dwukondygnacyjnego

Wartości sił ścinających w każdej ścianie zależą od liczby reakcji przyłożonych w płaszczyźnie ściany. Na rys. 4.5 przedstawiono zasadę rozdziału całkowitego obciążenia P ściany zewnętrznej na ściany poprzeczne. Każda ściana poprzeczna charakteryzuje się tzw. długością ekwiwalentną L_i , która zależy od sztywności ściany. Z kolei sztywność ściany zależy od liczby ewentualnych otworów drzwiowych lub okiennych, od rodzaju materiału obudowy i jego ilości (jednostronny lub dwustronny) oraz łączników. Linia $O-O$ oznacza oś geometryczną układu ścian, a linia $S-S$ oś sztywności układu ścian. Linie te będą pokrywały się, gdy sztywność wszystkich ścian będzie taka sama. Przesunięcie osi sztywności ścian względem osi geometrycznej powoduje powstanie dodatkowego momentu $M = P \cdot e$. Przesunięcie osi e określa się z zależności:

$$e = \frac{\sum L_i \cdot x_i}{\sum L_i} \quad (4.1)$$

gdzie L_i oznacza długość ekwiwalentną ściany poprzecznej.

Wartość siły ścinającej F_i , przypadającej na każdą ścianę poprzeczną określa się z zależności:

$$F_i = \frac{P \cdot L_i}{\sum L_i} - \frac{P \cdot e \cdot \xi_i \cdot L_i}{\sum \xi_i^2 \cdot L_i} \quad (4.2)$$

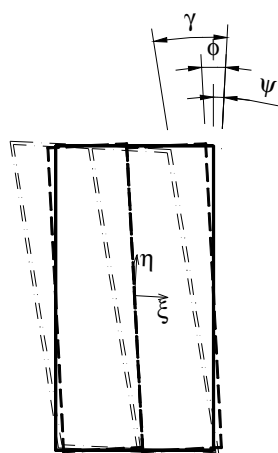
Konstrukcja nośna ściany warstwowej składa się ze szkieletu stalowego oraz stężeń. Nośny szkielet stalowy wykonany z kształtowników giętych na zimno to słupki umieszczone w regularnych odstępach oraz górne i dolne elementy poziome, pełniące rolę odpowiednio belki oczepowej i belki podwalinowej. Taki drabinkowy szkielet jest obudowany z jednej lub dwóch stron płytami wykonanymi z różnych materiałów (płyty gipsowo-kartonowe, wiórowe, cementowe i inne), które są mocowane do stalowego

szkieletu nośnego. Płyty obudowy, z uwagi na charakter ich pracy, mogą być traktowane w dwojaki sposób:

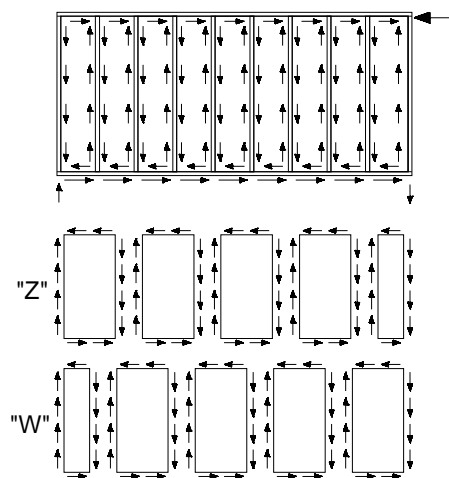
- jako elementy płytowe, czyli takie, które przenoszą tylko obciążenie prostopadłe do ich powierzchni np. od parcia wiatru w przypadku ścian zewnętrznych,
- jako elementy tarczowe, które przenoszą również ścinanie, działające w płaszczyźnie ściany.

Płyty obudowy mogą przenosić ścinanie pod warunkiem zapewnienia ich współpracy ze stalowym szkieletem nośnym. Pełnią wówczas rolę stężeń. W przeciwnym przypadku należy przewidzieć w ścianie stężenia z elementów stalowych.

Szczegółowe metody i warunki zapewnienia współpracy płyt obudowy ze szkieletem nośnym, opracowano na podstawie badań modeli ścian [46]. W badaniach tych przyjęto szereg założeń dotyczących sztywności płyt gipsowych obudowy, sztywności łączników itp. Przyjęto również, że płyty gipsowe nie są połączone ze sobą ani z elementami przylegającymi (stropem czy sufitem), są na obwodzie przymocowane wyłącznie do stalowego szkieletu ściany. Pod wpływem obciążenia poziomego, działającego w płaszczyźnie ściany, stalowy szkielet przemieszcza się tak jak równoległobok, podczas gdy kształt płyt pozostaje prostokątny (rys. 4.7). W ścianie z podwójną warstwą płyt gipsowych (zewnętrzną i wewnętrzną) obrót szkieletu odbywa się wokół dolnego połączenia słupków z elementem podwalinowym (γ), podczas gdy wewnętrzna i zewnętrzna płyta obracają się wokół środka obrotu łączników (odpowiednio φ i ψ). Względne przesunięcie płyt w stosunku do szkieletu powoduje powstanie sił w łącznikach. Przepływ sił ścinających w segmencie ściany warstwowej, pod wpływem obciążenia zewnętrznego, pokazano na rysunku 4.8.



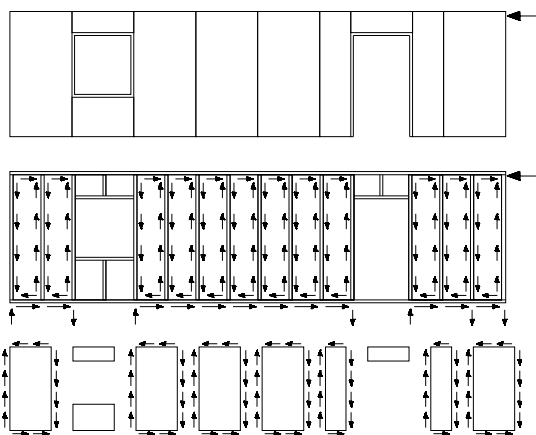
Rys. 4.7. Odształcenie segmentu ściany warstwowej, środek obrotu łączników płyty pokrywa się ze środkiem ciężkości płyty



Rys. 4.8. Schemat sił ścinających w zewnętrznej („Z”) i wewnętrznej („W”) warstwie płyt w ścianie bez otworów [46]

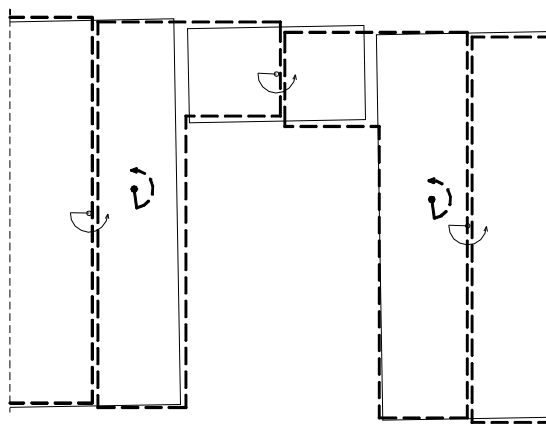
Płyty gipsowe zazwyczaj łączy się ze szkieletem za pośrednictwem wkrętów samowiercących o średnicy 3,5 mm. W tabelicy 4.1. podano wytrzymałości charakterystyczne połączeń na wkręty płyt do zastosowań wewnętrznych, w budynkach ogrzewanych o zwykłej wilgotności, gdzie F_{vb} jest całkowitą siłą przypadającą na łącznik, a F_{ve} jest

składową prostopadłą do krawędzi płyty. Wytrzymałość krawędzi na zniszczenie (F_{ye}) obowiązuje w odległości 15 mm od krawędzi. Wytrzymałości obliczeniową uzyskuje się przez podzielenie przez częściowy współczynnik bezpieczeństwa o zalecanej wartości: $\gamma_m=1,25$. Wartość sztywności k_1 podana w tabelicy 4.1 jest tangensem sztywności mocowania pomiędzy szkieletem i płytą wewnętrzną. Dla ścian z podwójnymi płytami, wytrzymałość i sztywność połączenia na wkręty, pomiędzy płytą zewnętrzną i wewnętrzną przyjmuje się równe 1/3 wartości podanych w tabelicy 4.1 [46].



Rys. 4.9. Schemat sił ścinających w płytach ściany z otworami [46]

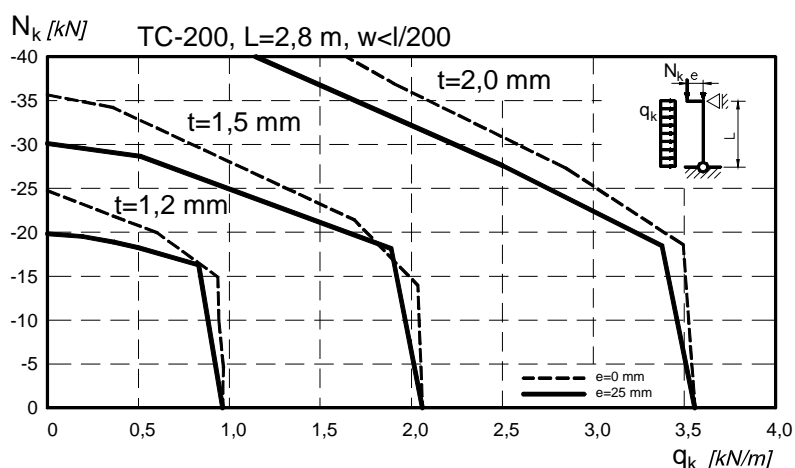
W codziennej praktyce projektowej, w przypadku ścian, które zawierają otwory okienne lub drzwiowe, w obliczeniach uwzględnia się tylko elementy ścian o pełnej wysokości (rys. 4.9). Podjęte zostały próby mające na celu uwzględnienie części ścian nad i pod otworami. Model pracy takiej ściany przedstawiono na rys. 4.10. Płyty zawierające otwory obracają się wokół środka obrotu mocowań i ich obrót narysowany jest linią przerywaną. Płyty, w których środek ciężkości pokrywa się ze środkiem obrotu mocowań, pokazane są linią ciągłą.



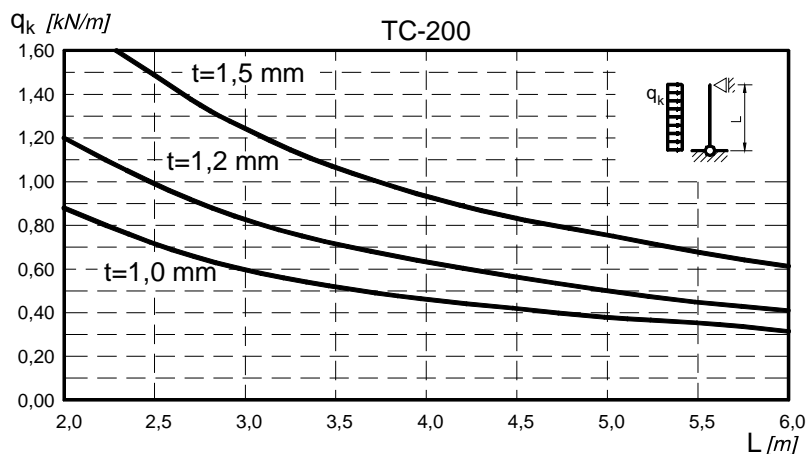
Rys. 4.10. Obrót płyt w przypadku uwzględnienia wpływu otworów [46]

Tablica 4.1. Wytrzymałości charakterystyczne oraz sztywności połączenia na wkręty 3,5 x 45, mocujące różne typy płyt do stalowych słupów grubości 1,2 mm [46]

Płyta gipsowa	F_{vb} [kN]	F_{ve} [kN]	k_1 [MN/m]	Min. odległość między łącznikami [mm]
Płyta gipsowa grubości 13 mm	0.60	0.40	0.9	70
Płyta gipsowa grubości 15 mm	0.90	0.55	1.0	90



Rys. 4.11. Nomogram do projektowania słupów z kształtowników o perforowanym środku w ścianie przenoszącej obciążenia pionowe i poziome [38]



Rys. 4.12. Nomogram do projektowania słupów z kształtowników o perforowanym środku w ścianie osłonowej [38]

Wszystkie obciążenia pionowe i poziome, prostopadłe do ściany, przenosi stalowy szkielet ściany. Nośność słupków ścian należy zaprojektować zgodnie z wytycznymi podanymi w rozdziale 7. Wytyczne te wynikające z aktualnych norm krajowych [25, 26]

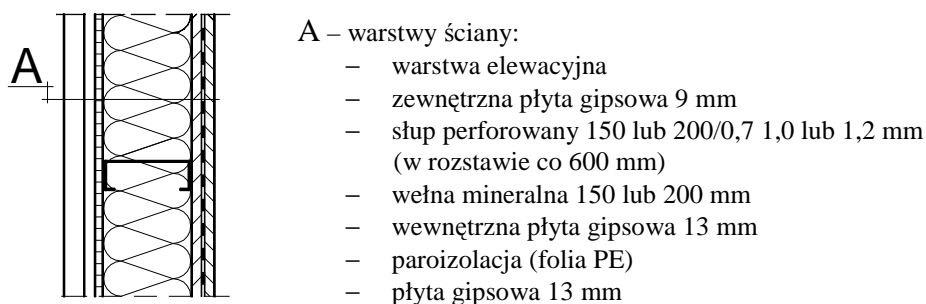
i europejskich [35], nie dotyczą jednak słupów z profili z perforowanym środkiem. Przekroje słupów z kształtowników z perforowanym środkiem dobiera się na podstawie specjalnie opracowanych nomogramów [21, 38 42,]. Na rysunku 4.11 przedstawiono przykładowy nomogram dla słupa podpartego obustronnie przegubowo, o wysokości $L=2,8$ m, z profilu perforowanego TC-200, o grubościach ścianki $t = 1,2; 1,5; 2,0$ mm, obciążonego siłą osiową lub na mimośrodku oraz parciem wiatru. Z kolei na rysunku 4.12 przedstawiono nomogram dla słupa ściany osłonowej, czyli przenoszącej tylko parcie wiatru.

4.3.3. Wymagania cieplno-wilgotnościowe

Ściany zewnętrzne konstrukcji nadbudowy powinny spełniać wymagania dotyczące:

- izolacyjności cieplnej,
- ochrony przed nagrzaniem od promieni słonecznych w okresie lata,
- przepuszczalności powietrza,
- zabezpieczenia przed występowaniem zjawiska kondensacji pary wodnej i pleśni.

Zapewnienie odpowiedniego komfortu cieplno-wilgotnościowego wymaga zastosowania właściwej konstrukcji warstwowej ściany. Konieczne jest zastosowanie warstwy izolacji termicznej i paroszczelnej. Przykładowe rozwiązanie przedstawiono na rysunku 4.13 [1, 2, 21, 38, 42].



Rys. 4.13. Warstwy izolacji termicznej i paroszczelnej w konstrukcji ściany

W przypadku stalowego szkieletu ścian bardzo ważnym aspektem trwałości konstrukcji jest zabezpieczenie jej przed wilgocią. Konstrukcja może być zawilgocona zarówno w czasie jej eksploatacji jak i podczas transportu, składowania materiałów i wznoszenia na placu budowy. Zawilgocona wełna mineralna podwyższa możliwość wystąpienia korozji stali ocynkowanej. Wilgotna izolacja tworzy środowisko zasadowe, powodując przyspieszenie korozji warstwy cynku pokrywającego stalowe elementy [46]. Cynkowanie na gorąco kształtowników stalowych stanowi wystarczającą ochronę przed korozją pod warunkiem zabezpieczenia konstrukcji stalowej przed zjawiskiem kondensacji pary wodnej. Możliwe jest to dzięki właściwie zaprojektowanym warstwom paro- i wiatroizolacji. Konieczne jest również utrzymywanie właściwego rozkładu temperatur na grubości ściany.

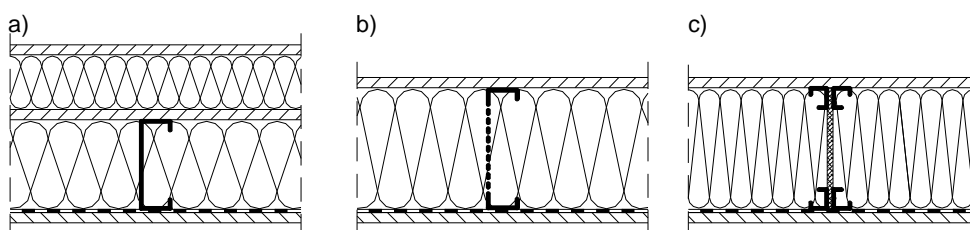
Stosowanie stalowych słupów w ścianach zewnętrznych ma bardzo duży wpływ na współczynnik przenikania ciepła U . Stalowe elementy w ścianach powodują powstawanie mostków termicznych. Współczynnik przenikania ciepła jest dla stali znacznie większy niż dla pozostałych materiałów składowych ścian. W związku z powyższym, w celu uzyskania

właściwej wartości współczynnika U w miejscach, w których znajdują się kształtowniki stalowe, możliwe są następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- wprowadzenie dodatkowej izolacji zewnętrznej (rys. 4.14a),
- zastosowanie słupów perforowanych (kształtowników termicznych) (rys. 4.14b),
- zastosowanie mieszanej, drewniano-stalowej konstrukcji słupa (rys. 4.14c).

Kształtowniki termiczne są z powodzeniem stosowane od wielu lat w krajach skandynawskich. Charakteryzują się one o około 2/3 mniejszym przepływem ciepła niż analogiczne profile bez perforacji środkiem. Zastosowanie profili termicznych jest równoważne dodatkowej warstwie izolacji zewnętrznej grubości 30 ÷ 35 mm.

Przenikanie ciepła zależy również od odległości kształtownikami stalowymi i od grubości stali kształtownika. Należy więc dążyć do maksymalnych odległości między słupkami i stosunkowo cienkich ścianek kształtowników.



Rys. 4.14. Metody zapobiegania powstawania mostków termicznych: a) dodatkowa izolacja zewnętrzna [1,2], b) kształtownik z perforowanym środkiem [21, 42], c) zastosowanie słupów stalowo-drewnianych [46]

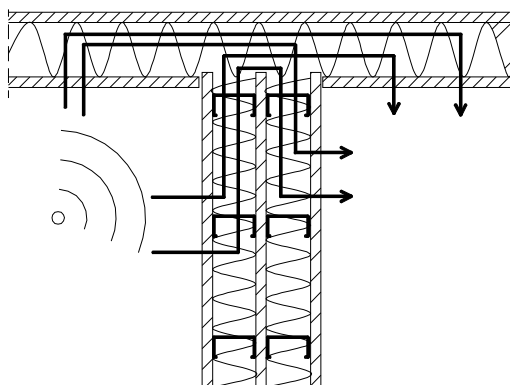
Lekkie konstrukcje stalowe mają tendencję do przegrzewania się w okresie lata. W niektórych krajach europejskich wprowadzono przepisy odnośnie ochrony cieplnej w warunkach letnich. Stopień przegrzewania się obiektu zależy od środków ochrony przed słońcem, bezwładności cieplnej i wentylacji. Stopień nasłonecznienia można regulować rozmiarami i położeniem okien, stosowaniem specjalnych szyb lub urządzeń zacieniających. Bezwładność cieplna zależy od masy cieplnej obiektu i pozwala na zmniejszanie różnic między temperaturą w obiekcie w dzień i w nocy. W celu zwiększenia bezwładności cieplnej budynków projektowanych w lekkiej technologii stalowej można stosować następujące rozwiązania techniczne:

- konstrukcje paneli stropowych z płytami o dużej gęstości,
- podwójną płytę gipsową na wewnętrznej stronie płyty,
- stropy zespolone bez podwieszanego sufitu.

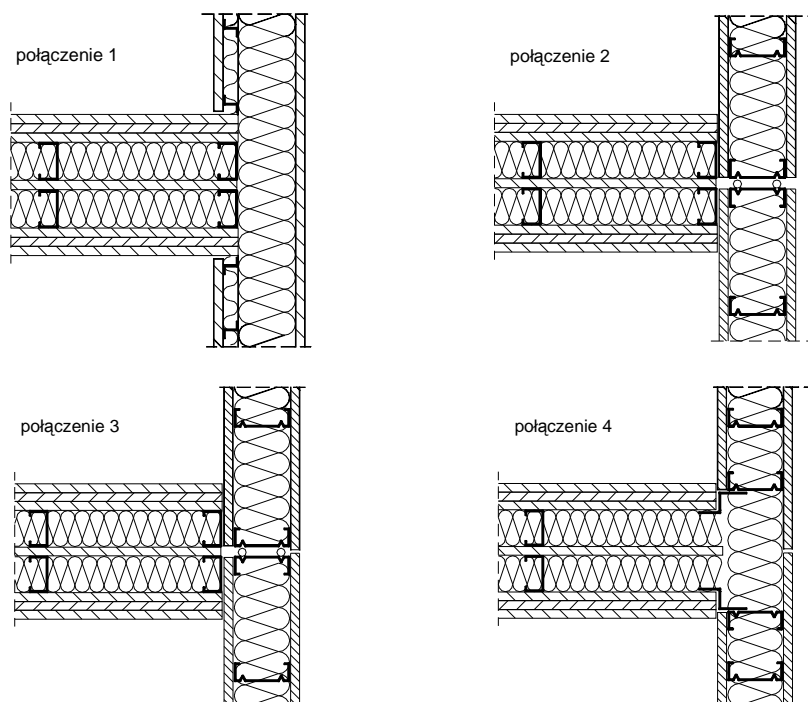
4.3.4. Wymagania akustyczne

Dobre parametry izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych konstrukcji z lekkich płyt wynikają z ich warstwowej budowy oraz zdolności sprężystych płyt do nie wytwarzania lub emitowania dźwięków nawet w przypadku dużych wibracji, ponieważ współczynnik emisji dźwięku dla płyt jest niski. Właściwość ta powoduje skuteczne ograniczenie efektu tzw. przenikania bocznego dźwięku. Na rysunku 4.15 zaprezentowano przykład efektu przenikania bocznego. Sprężyste połączenia płyt, sztywne zamocowanie krawędzi konstrukcji ściany oraz wewnętrzne tłumienie materiału płyty bardzo dobrze zapobiegają rozchodzeniu się dźwięków i wibracji (tzn. przenikaniu bocznemu) z jednego pomieszczenia do drugiego. Izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych lekkich

ścian zewnętrznych można polepszyć przez dodanie oblicówki z cegły. Zastosowanie ciągłych słupów lub płatwi (ciągłych z jednego mieszkania do drugiego) sprzyja przenoszeniu się dźwięków i dlatego powinno być unikane. Połączenia ścian powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby dźwięki i vibracje nie rozprzestrzeniały się mechanicznie z jednego mieszkania do drugiego. Właściwe rozwiązania przedstawiono na rysunku 4.16.



Rys. 4.15. Drogi bocznego przenoszenia dźwięku przez ściany zewnętrzne [46]



Rys. 4.16. Rozwiązania konstrukcyjne połączeń paneli ściennych między mieszkaniami zapobiegające przenoszeniu się dźwięków [46]

Stropy mogą być wykonane jako płyty stalowo-betonowe lub konstrukcje warstwowe z giętych na zimno kształtowników stalowych. Lekkie stropy z płyt warstwowych bardzo dobrze izolują od dźwięków powietrznych i dźwięków uderzeniowych wysokich częstotliwości. W celu zapewnienia odpowiedniej izolacyjności akustycznej, płyty sufitu powinny być zamocowane do stalowych belek za pośrednictwem tzw. profili akustycznych (tabl. 6.1). Podłoże ponad stalowymi belkami może być wykonane np. ze blach trapezowych lub innych płyt drewnopodobnych. Zazwyczaj nad podłożem powinna znajdować się podłoga pływająca, aby jak najlepiej wytłumić dźwięki uderzeniowe. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie ciężkiego podłoża (wylewka betonowa) oraz miękkiego pokrycia podłogi. Ciężkie podłoże poprawia izolacyjność akustyczną stropu na dźwięki uderzeniowe niskich częstotliwości spowodowanych krokami.

Izolacyjność akustyczna lekkich konstrukcji może być niewystarczająca w przypadku występowania niskich dźwięków.

Stosując kształtowniki akustyczne można uzyskać izolacyjność akustyczną $R_w = 55\text{dB}$, o (ważnym) współczynniku redukcji dźwięku (dla ścian wewnętrznych) $R_{A2} = 45\text{ dB}$ i $R_{A2} = 47\text{dB}$.

4.3.5. Wymagania odporności ogniowej

Kształtowniki gięte na zimno charakteryzują się niską odpornością na działanie wysokiej temperatury, ponieważ ich cienkie ścianki szybko nagrzewają się tracąc swoją wytrzymałość i sztywność. Redukcja modułu sprężystości pod wpływem wysokiej temperatury jest szczególnie niebezpieczna z uwagi na dużą wrażliwość kształtowników giętych i blach profilowanych na niestateczność. Czas od inicjacji pożaru do chwili zniszczenia konstrukcji z kształtowników cienkościennych jest krótszy niż konstrukcji z kształtowników walcowanych. W związku z powyższym lekkie konstrukcje stalowe wymagają szczególnej uwagi przy projektowaniu osłon przeciwpożarowych, aby czas na ewakuację ludzi był wystarczający.

W przypadku ścian i stropów o konstrukcji warstwowej, osłonę przeciwpożarową stanowią przeważnie płyty gipsowo – kartonowe, stosowane w pojedynczych lub podwójnych warstwach. W przypadku płyt wielowarstwowych, arkusze powinny być układane naprzemiennie, aby uniknąć styków jednego nad drugim.

Ściany warstwowe na szkielecie stalowym muszą spełniać szereg wymagań wynikających z przepisów przeciwpożarowych. Są to:

- spełnianie funkcji przegrody ogniowej oddzielającej od innych pomieszczeń narażonych na działanie ognia;
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia w ścianie i wzdłuż elewacji z uwzględnieniem użyteczności budynku i możliwości ugaszenia ognia;
- ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia przez okna;
- wyeliminowanie możliwości zawalenia się ściany za wyjątkiem szklanych odłamków i niewielkich kawałków płyty gipsowej, tj. części, które nie powodują obrażeń lub które nie powodują rozniecenia ognia.

Z materiałów stosowanych na lekkie konstrukcje stalowe (patrz pkt 6) można konstruować elementy spełniające wymagania klasy odporności ogniowej EI30 ÷ EI60 dla ścian osłonowych i wewnętrznych oraz REI30 ÷ REI60 dla nośnych ścian zewnętrznych [21, 42].

5. Zmiany elewacji

5.1. Renowacje fasad budynków

Istnieje szereg metod renowacji starych fasad budynków. Generalnie można je podzielić na metody mokre i suche. Niniejsze opracowanie dotyczy tylko metod suchych, czyli inaczej mówiąc metod, w których elementy nowej elewacji są prefabrykowane i mocowane do fasady budynku. W grupie tej można wyróżnić elewacje wykonane z blach trapezowych, metalowych profili elewacyjnych, wszelkiego rodzaju kasetonów wykonanych z blach oraz specjalnych systemów fasadowych [21, 22, 23, 37, 42].

Metoda okładania ścian istniejących obiektów nowymi materiałami elewacyjnymi można stosować przy prowadzeniu wszelkich prac związanych z rewitalizacją obiektów jak i ich termomodernizacją. Stosowanie okładzinowych elementów elewacyjnych umożliwia konstruowanie wentylowanych przegród ściennych, szczególnie korzystnych w przypadku wykonywania dociepleń elewacji.

Elementy elewacyjne można montować na całej powierzchni ściany lub na pewnych jej fragmentach. Różne systemy metalowych fasad umożliwiają kształtowanie różnorodnych form geometrycznych bryły budynku, a także montowanie paneli elewacyjnych w różnej orientacji na płaszczyźnie ściany budynku (rys. 5.1).

Wszelkiego typu materiały okładzinowe można z powodzeniem stosować na obiektach użyteczności publicznej, np. w szkołach, biurach, budynkach mieszkalnych (rys. 5.2) i obiektach przemysłowych (rys. 5.3), gdzie najszersze zastosowanie mają elewacje wykonywane z nisko profilowanych blach.



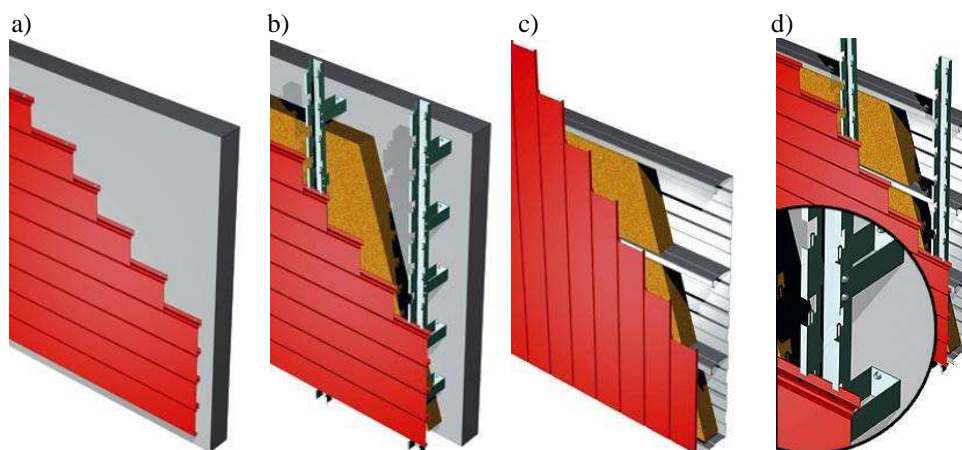
Rys. 5.1. Różnorodne formy elewacji [23, 42]



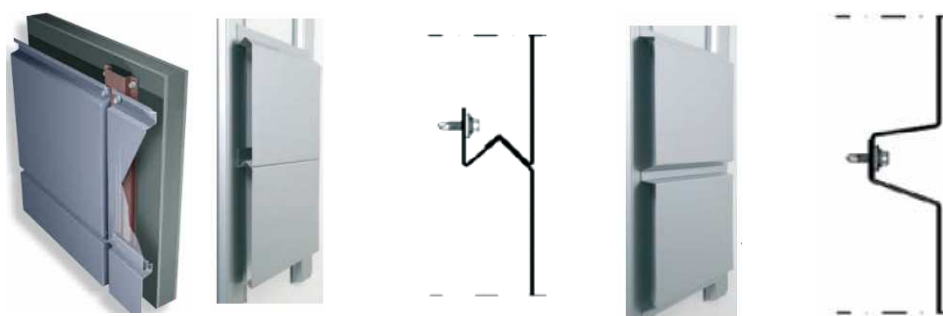
Rys. 5.2. Przykłady elewacji obiektów użyteczności publicznej [42]



Rys. 5.3. Przykłady elewacji obiektów przemysłowych



Rys. 5.4. Przykłady mocowania paneli elewacyjnych do ścian:
a) bezpośrednio do ściany murowanej; b) pośrednio do ściany murowanej, c) bezpośrednio do metalowej kasety ściennej, d) pośrednio do metalowej kasety ściennej [13]



Rys. 5.5. Przykłady połączeń kasetonów elewacyjnych [42]

Panele elewacyjne, w zależności od rozwiązania, montowane są do konstrukcji istniejących ścian bezpośrednio (rys. 5.4a), za pomocą specjalnych listw montażowych (rys. 5.4b, c, d) lub też są przykręcane blachowkrętami do metalowych łąt (rys. 5.5).

Budowa paneli elewacyjnych umożliwia konstruowanie ukrytych lub widocznych złączy na powierzchni elewacji.

Zastosowanie wszelkiego rodzaju lekkich okładzin metalowych pozwala w prosty sposób podnieść estetykę całego obiektu.

5.2. Balkony i loggie

Kolejną metodę zmiany elewacji starego budynku stanowią balkony i loggie, dobudowywane do ściany budynku. Mogą to być konstrukcje samonośne, stojące na własnych fundamentach (rys. 5.6a) lub konstrukcje wspornikowe, zamocowane do konstrukcji nośnej budynku (rys 5.6b).

a)



b)



Rys. 5.6. Konstrukcje balkonów: a) samonośne, b) wspornikowe

6.3. Osłony przeciwsłoneczne

Innym zastosowaniem metalowych elementów konstrukcyjnych są osłony przeciwsłoneczne, stosowane w różnego rodzaju budynkach. Zadaniem takich elementów jest ograniczenie nagrzewania się silnie nasłonecznionych pomieszczeń. Tego typu konstrukcje stanowią najczęściej zamknięte rozwiązania systemowe. Jedyne problemy konstrukcyjne to mocowanie elementów osłon do istniejącej elewacji budynku.

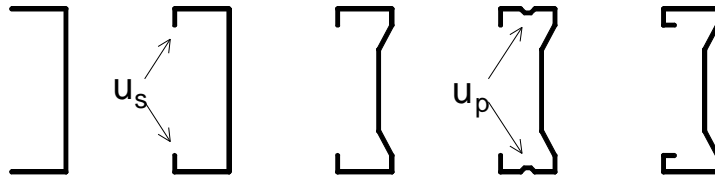


Rys. 5.7. Przykłady osłon przeciwsłonecznych

6. Materiały

6.1. Wpływ wytwarzania kształowników na ich właściwości wytrzymałościowe

Lekkie kształowniki stalowe są wytwarzane metodą gięcia blach na specjalnych maszynach takich jak: ciągarki rolkowe lub oczkowe, krawędziarki, walcarki rolkowe (tzw. giętarki) lub prasy do gięcia. Proces profilowania kształowników opisany jest szczegółowo w [8]. Wymienione metody wytwarzania umożliwiają swobodne kształtowanie przekrojów poprzecznych prętów. Ścianki kształowników mogą być gładkie, mogą mieć usztywnienia brzegowe, jak również usztywnienia pośrednie (rys. 6.1). Każde dodatkowe usztywnienie (gięcie) zwiększa nośność ścianki kształownika, a co za tym idzie, nośność całego przekroju. Typowy asortyment lekkich wyrobów stalowych przedstawiono w tablicach 6.1 ÷ 6.3.



Rys. 6.1. Przykład zwiększania sztywności ścianek poprzez wprowadzanie dodatkowych zagięć (usztywnienia pośrednie u_p lub skrajnych u_s)

W celu uzyskania kształowników o właściwych przekrojach poprzecznych, w procesie profilowania stalowych blach na zimno wymuszane są trwałe odkształcenia plastyczne materiału, którym towarzyszą zmiany struktury materiału zwane zgniotem. W efekcie, w strefach gięcia wzrasta wartość granicy plastyczności f_y (rys. 6.2) i granicy wytrzymałości f_u materiału a maleje wydłużalność. Stopień tych zmian zależy od promienia gięcia, liczby naroży i szerokości powierzchni płaskich. Zgodnie z [26] przy projektowaniu elementów z kształowników giętych na zimno uwzględnia się wzrost parametrów wytrzymałościowych poprzez wprowadzenie pojęcia tzw. średniej granicy plastyczności f_{ya} :

$$f_{ya} = f_{yb} + (f_u + f_{yb}) \cdot k \cdot n \cdot t^3 / A_g, \quad (6.1)$$

gdzie: f_{yb} – minimalna granica plastyczności materiału wyjściowego;

f_u – minimalna wytrzymałość na rozciąganie;

k – współczynnik, którego wartość zależy od urządzenia do profilowania: $k=7$

przy profilowaniu za pomocą giętarki rolkowej, $k=5$ przy profilowaniu za pomocą prasy do gięcia lub krawędziarki;

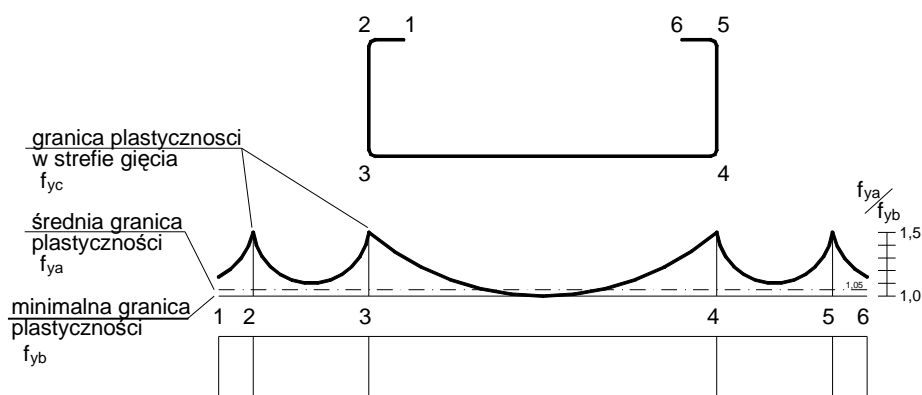
n – liczba zaokrąglonych naroży kształownika o promieniu wewnętrznym

zaginania $r \leq 5t$ i kącie $\nu = 90^\circ$ (gdy poszczególne kąty zaokrąglonych naroży mają wartości większe niż 90° , to dla takich zagięć naroże charakteryzuje się liczbą 1, zmniejszoną o część proporcjonalną do nadwyżki kąta ponad 90° , przykładowo dla kąta 120° będzie $1 - 30^\circ/90^\circ = 0,667$);

t – minimalna grubość blachy lub taśmy materiału wyjściowego, zmniejszona

o grubość warstw pokrycia galwanicznego lub pokrycia z tworzywa sztucznego i ewentualną nadwyżkę tolerancji zgodnie z pkt.3.2. [26];

A_g – pole przekroju poprzecznego brutto.



Rys. 6.2. Przykład wzrostu wartości granicy plastyczności f_y w strefach gięcia

Średnią (czyli zwiększoną) granicę plastyczności całego kształtownika, f_{ya} stosuje się do wyznaczania nośności przekrojów elementów obciążonych:

- osiowo przy rozciąganiu,
- osiowo przy ściskaniu, gdy przekrój tak obciążonego elementu jest przekrojem w pełni współpracującym (a więc równym przekrojowi brutto, A_g),
- momentami zginającymi, gdy stopki tak obciążonego elementu mają przekrój w pełni współpracujący, a stateczność miejscowa nie powoduje zmniejszenia nośności środka pod naprężeniami normalnymi na brzegu środka, ustalonymi przy rozpatrywaniu naprężeń w stopkach.

6.2. Charakterystyka stosowanych materiałów stalowych








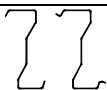


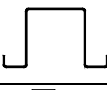
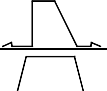
W lekkim budownictwie stalowym stosuje się przede wszystkim gięte na zimno kształtowniki i blachy trapezowe. Przekroje profilowane na zimno są przekrojami wielościennymi, kształtowanymi przez gięcie blach w celu uzyskania określonej nośności elementów. Podstawowe przekroje stosowane w budownictwie to:

- kształtowniki (tabl. 6.1) wykorzystywane przede wszystkim jako belki lub słupy,
- blachy gięte na zimno (tabl. 6.3) stosowane na pokrycia dachów, ścian lub konstrukcję stropów.

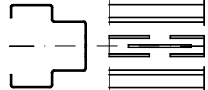
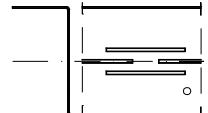
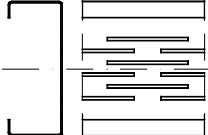


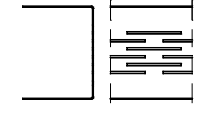



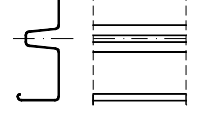
Możliwość kształtowania dowolnych przekrojów poprzecznych, zarówno z elementów liniowych jak i płytowych, pozwala na optymalne, z uwagi na wykorzystanie materiału, kształtowanie konstrukcji.

Najczęściej stosowane w budownictwie kształtowniki gięte na zimno są przedstawione w tabelicy 6.1. Są to profile otwarte typu C, Z, Σ i H (przekroje kapeluszowe). Kształtowniki te są produkowane z blach o grubościach 1,0 ÷ 6,0 mm. W tabelicy 6.1 przedstawiono przykładowe typoszeroki kształtowników oferowane zarówno przez rodzimych jak i zagranicznych producentów. Szczegółowe informacje są dostępne w materiałach informacyjnych [3, 4, 13, 21, 42, 44, 45, 51], na ich stronach internetowych, a także w [6]. Oddzielną grupą są kształtowniki o przekroju zamkniętym okrągłym, kwadratowym lub prostokątnym, które nie są w niniejszym opracowaniu omawiane [45].

Tablica 6.1. Kształtowniki pełnościennie [13, 21, 42, 44, 45, 51]

L.p.	Przekrój	Nazwa kształtownika	Grubość t [mm]	Wysokość [mm]	Ciężar [kg/m]	Powierz. [cm ²]	Wskaźnik eff. [cm ³]
1		ceownik [44]	1,5; 2,0; 3,0 4,0; 5,0; 6,0	30; 40; 50; 60 70; 80; 90; 100 120; 140; 160; 180; 200	0,75 ÷ 17,67	0,96 ÷ 22,51	0,91 ÷ 138,76
		ceownik [44]	1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0	30; 50; 60; 70 80; 100; 120 160; 200; 220 280	1,15 ÷ 19,06	1,47 ÷ 24,28	1,41 ÷ 91,25
		ceownik [42]	1,0; 1,2; 1,5 2,0; 2,5 3,0 3,5	100; 120; 150 200; 250; 300 350	1,6 ÷ 14,6	2,03 ÷ 18,69	4,7 ÷ 157,5
		ceownik [51]	1,0; 1,25; 1,5 1,75; 2,0; 2,5	100; 150; 200	1,67 ÷ 7,64	2,04 ÷ 9,62	6,64 ÷ 59,7
		ceownik plus [51]	1,5; 2,0; 2,5 3,0; 4,0; 5,0	150; 200; 250 300; 350; 450	5,77 ÷ 28,81	7,17 ÷ 36,87	38,1 ÷ 474
2		zetownik [45]	4,0; 5,0	50; 80; 120	4,19 ÷ 8,60	5,33 ÷ 10,95	8,08 ÷ 50,21
		zetownik [42]	1,0; 1,2; 1,5 2,0; 2,5; 3,0 3,5	100; 120; 150 200; 250; 300 350	1,6 ÷ 14,7	2,03 ÷ 18,69	4,7 ÷ 157,5
		zetownik [45]	3,0; 4,0	240; 300	10,44 ÷ 14,90	13,29 ÷ 18,97	91,25 ÷ 149,89
		zetownik [51]	1,5; 1,75; 2,0 2,5; 3,0; 4,0	180; 200; 250 300; 350; 400	3,85 ÷ 17,64	4,77 ÷ 22,36	25,2 ÷ 217
		zetownik [13]	1,5; 2,0; 2,5	175; 200; 250 300; 350; 400	3,96 ÷ 13,1	5,04 ÷ 16,68	20,57 ÷ 146,7
3		sigma [42]	1,5; 2,0 2,5; 3,0	150; 175; 200 250; 300; 350 400	4 ÷ 14,2	5,09 ÷ 18,09	16,9 ÷ 173,7
		sigma [51]	1,5; 1,75; 2,0 2,5	140; 170; 200	3,61 ÷ 7,45	4,49 ÷ 9,42	18,4 ÷ 53,7
		sigma plus [51]	1,5; 1,75; 2,0 2,5; 3,0; 4; 5	250; 300; 350 420	5,49 ÷ 28,26	6,82 ÷ 36,45	48,5 ÷ 413
4		kapeluszowy [42]	1,0; 1,2; 1,5 2,0; 2,5	100; 125; 150 200; 250	3,06 ÷ 14,19	3,89 ÷ 18,08	6,3 ÷ 95,6
5		łaty [21,42] (w tym wentylowane)	0,5; 0,6; 0,7	25; 26; 40; 45	0,39 ÷ 0,92	-	-

Tablica 6.2. Przykładowe kształtowniki z perforowanym środkiem [21, 42]

L.p.	Przekrój	Nazwa kształtownika	Grubość t [mm]	Wysokość [mm]
1		kształtownik akustyczny AWS	0,7; 0,8; 0,9 1,0; 1,2; 1,5	100; 125; 150
2		kształtownik akustyczny TU - AWS	0,7; 0,8; 0,9 1,0; 1,2	102; 104; 127 129 152;154
3		ceownik TC	1,0; 1,2 1,5; 2,0	125; 150; 175 200; 225
4		ceownik TU	1,0; 1,2 1,5; 2,0	125; 129; 150 154; 175; 200 204; 225; 229
5		kształtownik kapeluszowy TK	1,0; 1,2	60; 100; 140
6		Ceownik TUL	1,0; 1,2 1,5; 2,0	129; 154; 179 204; 229
7		zetownik TZ	1,0; 1,2 1,5; 2,0	125; 150; 175; 200; 225
8		ceownik RY	0,7; 1,0 1,2; 1,5	100; 120; 145 150; 195; 200
9		ceownik SKY	0,7; 1,0 1,2; 1,5	100; 120; 145 150; 170; 195 200; 220
10		kształtownik akustyczny LR	0,6	70; 75; 95; 120

Produkowane są również stalowe łąty, do których mocowane są okładziny zewnętrzne (tabl. 6.1, p. 5). Na uwagę zasługuje stosunkowo nowy profil, jakim jest łąta stalowa, wentylowana [21, 42], która z powodzeniem zastępuje dotychczas stosowany zestaw drewnianej łąty i kontrłąty. Perforacja w łącie stalowej umożliwia wentylację w przestrzeni pomiędzy pokryciem dachu i podłożem. Mogą być stosowane jako podłoże pod blachę dachówkową lub pod blachy trapezowe.

Nowością na rynku stalowych materiałów budowlanych są kształtowniki z perforowanym środkiem (tabl. 6.2). Perforacja środka powoduje wydłużenie drogi przewodzenia ciepła, przez co ulega zmniejszeniu wpływ mostków termicznych na izolacyjność ścian zewnętrznych.

Do grupy blach profilowanych należą blachodachówki stosowane na pokrycia dachów oraz blachy z usztywnieniami podłużnymi, które można stosować na pokrycia ścian i dachów jako elementy konstrukcyjne lub osłonowe. Przykłady blach profilowanych przedstawiono w tabelicy 6.3.

W tabelicy 6.4 zestawiono typowe lekkie materiały osłonowe stosowane jako płyty okładzinowe lekkiego szkieletu stalowego. W przypadku zapewnienia właściwego połączenia płyt osłonowych ze szkieletem stalowym, są one wykorzystywane jako materiał konstrukcyjny [patrz pkt 4.3.2].

Nowoczesne fasady budynków wykonywane są z kasetonów elewacyjnych. Kaseton jest to wieloboczny element okładzinowy, najczęściej kwadratowy, umożliwiający szybki i łatwy montaż elewacji, zapewniający możliwość wentylacji ściany. W tabelicy 6.5 przedstawiono przykładowe rozwiązania konstrukcyjne kasetonów.

Bardzo często stosowanym materiałem na pokrycia ścian i dachów są płyty warstwowe. Przykłady płyt warstwowych przedstawiono w tabelicy 6.6.

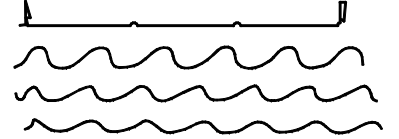
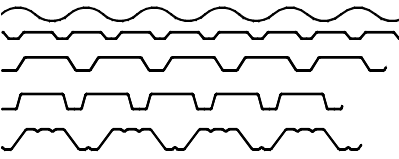
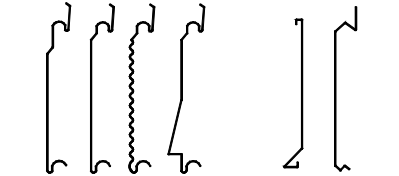

6.3. Gatunki stali stosowane na elementy profilowane na zimno

Kształtowniki gięte na zimno, blachy profilowane i trapezowe oraz kasety ścienne produkowane są z odpowiednich gatunków stali, umożliwiających formowanie materiału na zimno oraz powlekanie na gorąco. Wymagania te określone są w odpowiednich normach polskich i europejskich [27 ÷ 34]. Wartości charakterystyczne cech mechanicznych powszechnie stosowanych gatunków stali podane są w tabelicy 6.1. Stale te charakteryzują się znaczną wydłużalnością (od wymaganego min. 15% [35] do 30%) oraz stosunkiem minimalnej wytrzymałości na rozciąganie f_u do minimalnej granicy plastyczności materiału wyjściowego f_{yb} minimum 1,1 wg [35] (1,2 wg [26]). Ze stali wymienionych w tabelicy 6.7. nie zaleca się stosowania stali S460MC, S500MC i S550MC, gdyż nie spełniają one wymagań odnośnie wydłużalności.

Najczęściej stosowanym materiałem do produkcji kształtowników giętych na zimno są taśmy i blachy ze stali konstrukcyjnych powlekane ogniowo w sposób ciągły powłokami metalicznymi [33, 34]. Mogą to być powłoki cynkowe (np. S 250 GD+Z), cynkowo-aluminiowe (np. S 250 GD+ZA) lub aluminiowo-cynkowe (np. S 250 GD+AZ). Stosowane jest obustronne cynkowanie blach o gramaturze cynku 100 g/m² (S 350 GD+Z100) i 275 g/m² (S 350 GD+Z275).

W przypadku blach giętych na zimno powłoka metaliczna dodatkowo pokrywana jest powłoką organiczną, która nadaje produktowi pożądany wygląd oraz ochrania go przed wpływem warunków atmosferycznych. Obecnie producenci oferują ogromną, zarówno pod względem kolorystycznym jak i technicznym, gamę różnego rodzaju powłok organicznych. Powłoki organiczne mogą być jedno- lub dwustronne, poliesterowe, poliuretanowe,

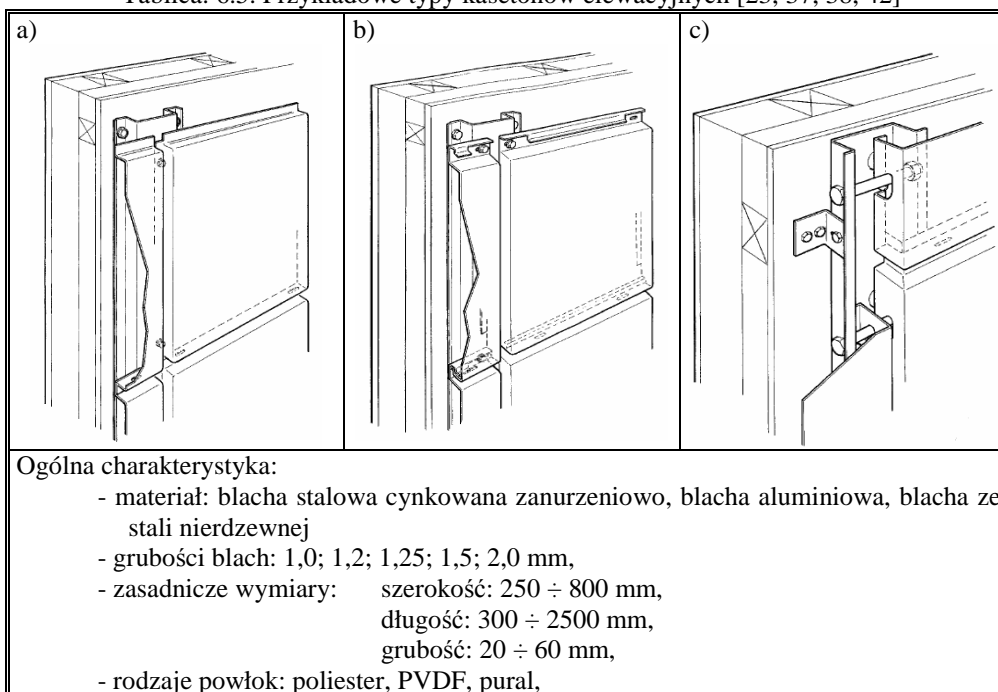
Tablica 6.3. Przykłady profilowania blachy [4, 12, 13, 21, 23, 42]

Materiał	Widok elementu	Rodzaj elementu	Grubość t [mm]	Główne wymiary profilu [mm]	Charakterystyka wyrobu
stal		blachodachówka	0,5 ÷ 0,6	G: 20 ÷ 65	stalowa blacha cynkowana zanurzeniowo, pokryta jednostronnie kolorystycznymi powłokami poliestrowymi, element nienośny, spełniający jedynie funkcję osłonową i dekoracyjną wymagający pełnego podkładu lub łąt w rozstawie co 300 ÷ 400 mm
		blachy faliste i trapezowe	0,4; 0,5; 0,55 0,6; 0,63; 0,7 0,75; 0,8; 0,88 1,0; 1,2; 1,25 1,50	20; 26; 30; 35 40; 45; 50; 55 60; 70; 84; 94 130; 136; 150 158	stalowa blacha cynkowana zanurzeniowo, pokryta kolorystycznymi powłokami poliestrowymi jedno lub dwustronnie; umożliwiają wykonanie nośnych i nienośnych zewnętrznych i wewnętrznych elementów osłonowych zarówno ściennych jak i dachowych
		listwy (panele) elewacyjne	0,75; 1,0	G: 33; 40; 45 H: 100; 200; 275 300; 350; 400	stalowa blacha cynkowana zanurzeniowo, pokryta kolorystycznymi powłokami poliestrowymi, możliwe wykonanie również z blachy aluminiowej, stali nierdzewnej, miedzi (bez powłok kolorystycznych)
		kasety ścienne	0,75; 0,88; 1,0 1,2; 1,5	H: 400; 500; 600 G: 100; 110; 125 145; 150; 160	stalowa blacha cynkowana zanurzeniowo, pokryta kolorystycznymi powłokami poliestrowymi umożliwia wykonanie ścian bez układu rygli ściennych z możliwością ułożenia izolacji termicznej
<p>G – wysokość przekroju H – wysokość elementu (dotyczy tylko paneli elewacyjnych i kaset ściennych)</p>					

Tablica 6.4. Materiały osłonowe

Materiał	Rodzaj elementu	Budowa elementu osłonowego	Wymiary
gips	płyta gipsowo – kartonowa	płyty wykonane z gipsu, których powierzchnie i krawędzie obłożone specjalnym kartonem	gr.: 9,5; 12,5 mm rozmiar: 1200÷1250 x 2000÷3000
	płyta gipsowo - wiórowa	płyty są wykonane z gipsu i włókien celulozowych; powierzchnie płyt są gładkie, a krawędzie ostro ścięte	gr.: 10; 12,5; 15 mm rozmiar: 1000÷1249 x 1500÷3000
	płyta ognioodporna	płyty z rdzeniem gipsowym dodatkowo wzmocnionym włóknem szklanym, które zwiększa odporność ogniową płyt; powierzchnie i krawędzie obłożone specjalnym kartonem	gr.: 12,5; 15; 18 mm rozmiar: 1200 x 2000÷3000
	płyta ogniowa	płyta gipsowa wzmocniona w swojej strukturze włóknem szklanym, dodatkowo powierzchnie oraz krawędzie są zbrojone powierzchniowo matą z włókna szklanego	gr.: 12,5; 15; 20; 25; 30 mm rozmiar: 125x 2000
	płyta gipsowa masywna	płyty masywne służą do wykonywania ścian w budynkach mieszkalnych gdzie należy sprostać wymaganiom estetycznym, akustycznym i przeciwpożarowym	gr.: 18; 20; 25 mm rozmiar: 625 x 2000÷3000
	płyta zespolona	płyta gipsowa zespolona z materiałem izolacyjnym w postaci okładzin z płyt styropianowych lub wełny mineralnej	-
drewno	płyta OSB 3	płasko prasowana płyta drewnopochodna o ukierunkowanych wiórach drzewnych	gr.: 6, 8, 10, 12, 15, 18, 22, 25 mm rozmiar: 1250 x 2500
	płyta wiórowa V-100 – wodoodporna	trójwarstwowe tworzywo drzewne o szlifowanej powierzchni, powstałe w wyniku sprasowania cząstek drewna (wiórów) w warunkach wysokiej temperatury i ciśnienia, przy zastosowaniu jako spoiwa żywic mocznikowo – formaldehydowych; dostępne również w wersji wodoodpornej i ognioodpornej	gr.: 10; 12; 16; 22; 28 mm rozmiar: 1830 x 2750
cement	płyta cementowa	płyta z rdzeniem z cementu portlandzkiego i lekkiego kruszywa, której powierzchnie zbrojone są obustronnie siatką z włókna szklanego	gr.: 12,5 mm rozmiar: 900 x 1200 / 2400 / 2500

Tablica: 6.5. Przykładowe typy kasetonów elewacyjnych [23, 37, 38, 42]



Tablica 6.6. Przykładowe płyty warstwowe [11, 18,19, 47]

Typ	Widok płyty	Szczegół zamka	Grubość płyty [mm]	Masa [kg/m ²]
płyta ścienna			40; 50; 60; 80; 100	10,26 ÷ 12,60
			60; 80; 100	11,38 ÷ 12,91
pl. dachowa			40/85 60/105 80/125 100/145	10,84 ÷ 13,26

Ogólna charakterystyka płyt:

- okładziny: blacha stalowa ocynkowana o grubościach 0,4 ÷ 0,6 mm, pokryta zewnętrznymi kolorystycznymi powłokami poliesterowymi, Plastizolu, PVC
- wypełnienie: wełna mineralna, pianka poliuretanowa, styropian

z polifluorku winylu, błyszczące, matowe, odporne na ścieranie, odporne na działanie promienie UV, itd. Powłoki te zapewniają możliwość eksploatacji powleczonych nimi produktów w środowiskach o kategorii korozyjności C1, C2 i C3.

W budownictwie stosowane są również stale nierdzewne, należące do grupy stali odporne na korozję [36]. Są to stale, które zawierają minimum 10,5% chromu i maksimum 1,2 % węgla. Niektóre firmy [42] oferują kasetony elewacyjne z blach ze stali nierdzewnej EN 1.4301 oraz stali kwasoodpornej EN 1.4401, grubości 1,0 i 1,25 mm. Jednakże, z uwagi na bardzo wysoką cenę, stale nierdzewne stosowane są najczęściej na balustrady balkonowe.

Na rynku dostępne są również kasetony z blach miedzianych grubości 1,0, 1,25 i 1,5 mm (DHP H065) oraz stopów aluminium (ENAW 1050) grubości 1,25, 1,5 i 2,0 mm [42]. Kasetony z materiałów innych niż stal są wykonywane na zamówienie.

6.4. Łączniki

Najbardziej rozpowszechnionym sposobem łączenia elementów profilowanych na zimno są połączenia trzpieniowe. Spawanie blach i kształtowników giętych na zimno praktycznie nie jest stosowane. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest fakt, iż spawanie bardzo cienkich blach jest trudne. Jednakże najistotniejszym powodem, dla którego unika się spawania, jest możliwość uszkodzenia metalicznych i organicznych powłok antykorozyjnych, a co za tym idzie – utrata gwarancji na ochronę antykorozyjną. Powłoki te są nakładane na blachy przed procesem gięcia na zimno.

Olbrzymia gama oferowanych przez producentów wyspecjalizowanych łączników mechanicznych umożliwia szybkie łączenie:

- kształtowników cienkościennych do innych kształtowników giętych na zimno lub walcowanych na gorąco, o różnych grubościach,
- blach giętych na zimno do kształtowników giętych na zimno lub walcowanych na gorąco, o różnych grubościach,
- materiałów osłonowych wymienionych w tabelicy 6.4 lub płyt warstwowych do kształtowników giętych na zimno lub walcowanych na gorąco, o różnych grubościach,
- kształtowników giętych na zimno lub walcowanych na gorąco do podłoża betonowego, ceglanego lub z pustaków.

Dostępne obecnie rodzaje łączników zostały zestawione w tabelicach 6.8 ÷ 6.12. Są to wkręty samowierzące (samogwintujące), nity jednostronne, gwoździe zwane potocznie kołkami wstrzeliwanymi oraz kotwy mechaniczne i chemiczne. Do osadzania wszystkich ww. łączników wymagany jest specjalistyczny osprzęt taki jak wkrętarki, osadzaki, nitownice i wiertarki udarowe. Stosowanie specjalistycznego osprzętu jest niezbędnym warunkiem uzyskania poprawnie wykonanych połączeń, gwarantującym właściwą nośność i szczelność. W zestawieniu pominięto śruby, jako że są one w konstrukcjach cienkościennych stosowane wyjątkowo.

Podstawowym mechanizmem zniszczenia połączenia trzpieniowego w konstrukcjach z cienkich blach jest uplastycznienie lub rozerwanie łączonych ścianek. Opłaca się więc tak kształtować połączenia, aby występowała w nim duża liczba łączników o niezbyt dużej średnicy. Warunek ten spowodował dynamiczny rozwój połączeń na gwoździe i wkręty. Połączenia na śruby są nieopłacalne.

Tablica 6.7. Właściwości mechaniczne stali, przeznaczonej do produkcji elementów giętych na zimno

L.p.	Typ stali	Norma	Oznaczenie	f_{yb} [MPa]	f_u [MPa]	Minimalne wydłużenie L_0 [%] ¹⁾	f_u/f_{yb}
1	Stal konstrukcyjna niestopowa	PN-EN 10025-2 [28]	S 235 JR, S 235 J0	235	360	26	1,63
			S 275 JR, S 275 J0	275	430	22	1,66
			S 355 J0, S 355 J2	355	510	22	1,64
2	Stal konstrukcyjna drobnoziarnista po normalizowaniu	PN-EN 10025-3 [29]	S 275 N	275	370	24	1,34
			S 355 N	355	470	22	1,33
			S 420 N	420	520	19	1,24
			S 460 N	460	550	17	1,2
3	Stal konstrukcyjna drobnoziarnista po walcowaniu termomechanicznym	PN-EN 10025-4 [30]	S 275 M	275	360	24	1,31
			S 355 M	355	450	22	1,27
			S 420 M	420	500	19	1,19
			S 460 M	460	530	17	1,15
4	Stal o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno, po walcowaniu termomechanicznym	PN-EN 10149-2 [31]	S 315 MC	315	390	(20) 24 ²⁾	1,24
			S 355 MC	355	430	(19) 23 ²⁾	1,22
			S 420 MC	420	480	(16) 19 ²⁾	1,14
			S 460 MC	460	520	(14) 17 ²⁾	1,13
			S 500 MC	500	550	(12) 14 ²⁾	1,10
			S 550 MC	550	600	(12) 14 ²⁾	1,09




c.d. tablicy 6.7. Właściwości mechaniczne stali, przeznaczonej do produkcji elementów giętych na zimno

L.p.	Typ stali	Norma	Oznaczenie	f_{yb} [MPa]	f_u [MPa]	Minimalne wydłużenie L_0 [%] ¹⁾	f_u/f_{yb}
5	Stal o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno, po normalizowaniu	PN-EN 10149-3 [32]	S 260 NC	260	370	(24) 30 ²⁾	1,44
			S 315 NC	315	430	(22) 27 ²⁾	1,37
			S 355 NC	355	470	(20) 25 ²⁾	1,33
			S 420 NC	420	530	(18) 23 ²⁾	1,26
6	Stal konstrukcyjna powlekana ogniowo	PN-EN 10326 [33]	S 220 GD	220	300	20	1,36
			S 250 GD	250	330	19	1,32
			S 280 GD	280	360	18	1,29
			S 320 GD	320	390	17	1,22
			S 350 GD	350	420	16	1,2
7	Stal niskowęglowa ocynkowana ogniowo do obróbki plastycznej na zimno (do maszynowego zaginania)	PN-EN 10327 [34]	DX51D	140 ³⁾	270 ³⁾	22	1,92
			DX52D	140 ³⁾	270 ³⁾	26	1,92
			DX53D	140 ³⁾	270 ³⁾	30	1,92
<p>1) minimalne wydłużenie określa się dla długości pomiarowej $L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{A_0}$ [%], przy czym A_0 oznacza pole przekroju poprzecznego na długości pomiarowej;</p> <p>2) minimalne wydłużenie podane w nawiasie odnosi się do blachy o grubości $t < 3$mm, przy czym jest ono ustalone przy długości pomiarowej $L_0 = 80$mm;</p> <p>3) dla wszystkich gatunków stali przyjęto minimalną wartość wytrzymałości na rozciąganie $f_u = 270$ MPa i minimalną granicę plastyczności $f_{yb} = 140$ MPa, z podanych w normie [26] zakresów ww. wartości.</p> <p>Uwaga: W tablicy pominięto gatunki stali wymienione w normach [26, 35], niestosowane przez producentów.</p>							



Tablica 6.8. Łączniki wkręcane [9, 10, 16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Długość łącznika [mm]	Materiał części łączonych
1	wkręt podkładowy samowierzący		łączenie cienkościennych elementów prętowych i płaskich w panelach ściennych, gdzie wymagana jest płaska powierzchnia przeznaczona do okładania	4,2 4,8 5,5	13, 16, 19, 25, 32	metal - metal
2	wkręt samowierzący		iw. lecz gdzie nie jest wymagana płaska powierzchnia, do mocowania blach i lekkich profili metalowych	4,8 5,5 6,4	13, 16, 19, 25, 32, 38, 45, 50, 70	metal - metal
3	wkręt samowierzący z podkładką z EPDM		łączenie profili cienkościennych do stalowych elementów walcowanych o grubości 2,6 ÷ 5,5 mm	5,5	19, 25, 38	metal - metal
4	wkręt samowierzący z podkładką z EPDM		łączenie profili cienkościennych do grubych elementów walcowanych o grubości do 12 mm z izolacją oraz bez	5,5	38, 45, 55, 63	metal - metal
5	wkręty samowierzące		łączenie elementów z drewna litego do rusztu metalowego	5,5 6,3	38, 45, 50, 60, 70	drewno - metal
6	wkręt samowierzący do blach		łączenie płyt wiórowych, sklejk do rusztu metalowego o grubości do 2 mm	3,5 4,2	40, 50, 60, 70	drewno - metal
7	wkręt z ostrym wierzchołkiem		łączenie okładzinowych płyt gipsowo-kartonowych do rusztu metalowego o grubości do 0,88 mm	3,5 4,3	25, 35, 45, 55, 70	gips - metal
8	wkręt samowierzący		łączenie okładzinowych płyt gipsowo-kartonowych do profili metalowych o grubości 0,88 ÷ 2,25 mm	3,5	25, 35	gips - metal

c.d. tablicy 6.8. Łączniki wkręcane [9, 10, 16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Długość łącznika [mm]	Materiał części łączonych
9	wkręt z ostrym wierzchołkiem		łączenie okładzinowych płyt gipsowo-kartonowych do konstrukcji drewnianych	4	35, 45, 55	gips – drewno
10	wkręt samowiercący z podkładką neoprenową		łączenie płyt warstwowych do konstrukcji metalowej	5,5 6,5	135 ÷ 220 160 ÷ 230	płyta warstw. - met/drew
11	kotwy wkręcane do betonu z łbem sześciokątnymi		kotwa przeznaczona do mocowania lekkich konstrukcji wsporczych.	7,5 10,5 12,5	35 ÷ 120 55 ÷ 150 65 ÷ 160	metal - beton









Tablica 6.9. Kotwy wklejane [9, 10, 16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Grubość zaciskowa [mm]	Materiał części łączonych
1	kotwa przeznaczona do zamocowań w strefie rozciąganej i ściskanej betonu.		łączenie konstrukcji metalowych obciążanych statycznie i dynamicznie do konstrukcji betonowych	10, 12, 16, 20	15, 25, 30, 40, 50, 60, 100	metal - beton
2	pręt kotwowy		łączenie konstrukcji metalowych obciążanych statycznie w betonie i murach z różnych materiałów	8, 10, 12, 16, 20, 24, 27, 30	14 ÷ 208	metal – beton/cegła pełna/ dziurawka/ gazobeton



Tablica 6.10. Kotwy mechaniczne [9, 10, 16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Grubość zaciskowa [mm]	Materiał części łączonych
1	kotwa samopodcinająca do montażu przelotowego		kotwa przeznaczona do mocowania w zakresie dużych obciążeń w betonie zarysowanym i niezarysowanym, beton w strefie ściskanej i rozciąganej	10 ÷ 20	20 ÷ 100	metal - beton
2	kotwa segmentowa do średnich obciążeń		kotwa przeznaczona do mocowań w zakresie średnich obciążeń, w obrębie betonu rozciąganego	8 ÷ 24	10 ÷ 130	metal - beton
3	standardowa kotwa segmentowa		kotwa przeznaczona do mocowania elementów w strefie ściskanej betonu w standardowej lub zredukowanej głębokości kotwienia	6 ÷ 20	5 ÷ 85	metal - beton
4	kotwa samopodcinająca		kotwa przeznaczona do mocowania w każdych warunkach, w betonie, szczególnie polecana w miejscach gdzie grubość podłoża nie pozwala na zastosowanie innych kotew	8 ÷ 12	15, 20	metal - beton
5	kotwy do dużych obciążeń		mocowanie elementów obciążonych dynamicznie	8 ÷ 24	5 ÷ 100	metal - beton
6	kotwy rozporowe		przeznaczone do mocowania w różnych materiałach	5 ÷ 14	10 ÷ 280	metal - różne



Tablica 6.11. Gwoździe wstrzeliwane [16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Długość łącznika [mm]	Materiał części łączonych
1	gwoźdź do betonu		mocowanie blach profilowanych do podłoża betonowego (min. gr. 160 mm) - dachy i ściany dwuwarstwowe z izolacją termiczną, mocowanie kaset do słupów betonowych.	4,5	-	metal - beton
3	gwoźdź do betonu		gwoźdź do betonu do ciężkich zamocowań	4,5	22 ÷ 72	metal - beton
2	gwoźdź z podkładką stalową		mocowanie do betonu 40 N/mm ² , do stali 450 N/mm ² oraz do stali o grubości 4÷6 mm, do mocowania cienkich blach	3,7	22 ÷ 42	metal - beton
4	gwoździe do profili cienkościennych		mocowanie profili ścianek działowych do betonu	3,0	20, 27	metal - beton
5	gwoździe do stali		mocowania blach profilowanych do stali o gr. min. 4 ÷ 8 mm.	3,7	-	metal - metal
6	gwoździe do stali		mocowanie blach profilowanych do stali o gr. od 6 mm i wytrzymałości od 340 do 610 N/mm ² (klasy stali S235 do S355).	4,5	-	metal - metal
7	gwoźdź do zastosowań uniwersalnych		mocowanie blach profilowanych do stali o gr. od 6 mm i wytrzymałości od 340 do 610 N/mm ² (klasy stali S235 do S355).	4,5	-	metal - metal
8	gwoźdź do ciężkich zamocowań		do zamocowań na stali o gr. min. 6 mm	4,5	19, 22, 27	metal - metal

c.d. tablicy 6.11. Gwoździe wstrzeliwane [16, 17, 20, 50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Długość łącznika [mm]	Materiał części łączonych
9	gwóźdź do stali		mocowania do cienkich elementów stalowych przy minimalnej grubości podłoża większej niż 4 mm, mocowania do stali do 450 N/mm ²	3,7	22	metal - metal
10	gwóźdź do stali z podkładką stalową		mocowania do elementów stalowych przy minimalnej grubości podłoża większej niż 4 mm, mocowania na stali do 450 N/mm ²	3,7	16, 19, 22	metal - metal

Tablica 6.12. Nity [50]

L.p.	Rodzaj łącznika	Widok łącznika	Zastosowanie	Zakres średnic [mm]	Grubość zaciskowa [mm]	Materiał części łączonych
1	nit zrywalny		łączenie blach opierzenia, blach profilowych	3; 3,2 4; 4,8 6; 6,4	0,5 ÷ 26	metal - metal
2	nit szczelny		łączenie blach opierzenia, osłonowych w miejscach gdzie wymagana jest szczelność w obrębie elementów nita	3,2 4 4,8	1 ÷ 25	metal-metal

Projektując połączenia rozpatruje się następujące stany graniczne:

- przy obciążeniu równoległym do osi trzpienia:
 - zerwanie trzpienia,
 - przeciągnięcie łba łącznika (lub nakrętki w przypadku połączeń śrubowych) przez blachę,
 - wyrwanie łącznika z podłoża w przypadku połączeń na wkręty lub gwoździe wstrzeliwane.
- przy obciążeniu prostopadłym do osi trzpienia:
 - ścięcie trzpienia,
 - owalizacja otworu lub rozerwanie blachy,
 - rozerwanie przekroju netto połączenia.

Tablica 6.13. Nośność łączników w połączeniach na wkręty

Obciążenie	Stan graniczny	Nośność obliczeniowa wkręta
Siła równoległa do osi trzpienia	zerwanie trzpienia	S_{Rt} – na podstawie badań doświadczalnych
	przeciągnięcie łba przez blachę	przy obciążeniach statycznych: $S_{Rp} = t_1 \cdot d_w \cdot \frac{f_u}{\gamma_{m2}}$ przy oddziaływaniu wiatru: $S_{Rp} = 0,5 \cdot t_1 \cdot d_w \cdot \frac{f_{us}}{\gamma_{m2}}$
	wyrwanie z podłoża	$S_{Ro} = 0,65 \cdot t_s \cdot d \cdot \frac{f_{us}}{\gamma_{m2}}$
	Warunki dodatkowe: $S_{Rt} \geq nS_{Rp}, \dots, S_{Rt} \geq S_{Ro}$	
Siła prostopadła do osi trzpienia	ścięcie trzpienia	S_{Rv} – na podstawie badań doświadczalnych
	owalizacja otworu lub rozerwanie blachy	$S_{Rb} = \alpha \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_u}{\gamma_{m2}}$ gdzie $\alpha = \begin{cases} 3,2 \sqrt{\frac{t_1}{d}} \leq 2,1 & \text{dla } t_1 = t_s \\ 2,1 & \text{dla } t_s \geq 2,5 \cdot t_1 \end{cases}$ α wyznacza się z interpolacji liniowej, gdy $t_1 \leq t_s \leq 2,5 \cdot t_1$
	zerwanie przekroju netto	$S_{Rn} = A_n \frac{f_u}{n_p \cdot \gamma_{m2}}$
	Warunki dodatkowe: $S_{Rv} \geq 1,25 \cdot S_{Rb}, \quad S_{Rv} \geq 1,25 \cdot S_{Rn}$	

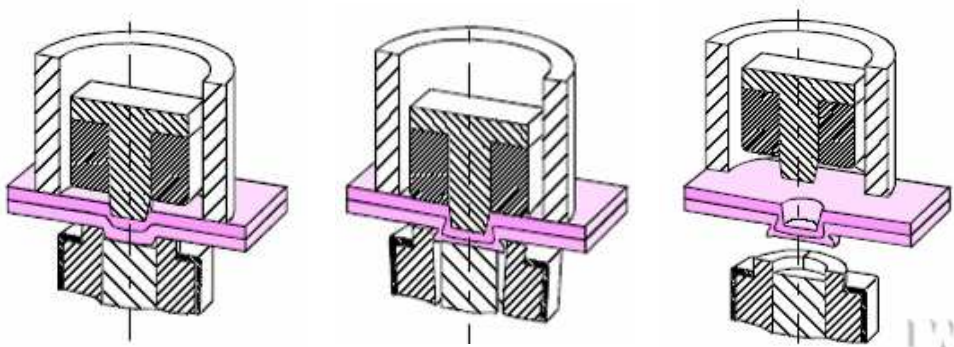
W tablicach 6.13 ÷ 6.14 zestawiono zależności określające nośności najczęściej stosowanych łączników, tj. wkrętów i gwoździ. Występują w nich następujące oznaczenia:

- t – grubość cieńszej z łączonych blach,
- t_1 – grubość grubszej z łączonych blach,
- t_s – grubość blachy, w którą wkręcony jest łącznik,
- d – średnica łącznika

d_w – średnica łba łącznika
 A_n – pole przekroju netto łączonego elementu,
 n – liczba blach, które są przymocowane do podłoża tym samym łącznikiem
 n_p – liczba wszystkich łączników w połączeniu

Tablica 6.14. Nośność łączników w połączeniach na gwoździe wstrzeliwane

Obciążenie	Stan graniczny	Nośność obliczeniowa łącznika
Siła równoległa do osi trzpienia	zerwanie trzpienia	S_{Rt} – na podstawie badań doświadczalnych
	przeciągnięcie łba przez blachę	przy obciążeniach statycznych: $S_{Rp} = t_1 \cdot d_w \cdot \frac{f_u}{\gamma_{m2}}$ przy oddziaływaniu wiatru: $S_{Rp} = 0,5 \cdot t_1 \cdot d_w \cdot \frac{f_{us}}{\gamma_{m2}}$
	wyrwanie z podłoża	S_{Ro} – na podstawie badań doświadczalnych
	Warunki dodatkowe: $S_{Rt} \geq S_{Rp}, \dots, S_{Rt} \geq S_{Ro}$	
Siła prostopadła do osi trzpienia	ścięcie trzpienia	S_{Rv} – na podstawie badań doświadczalnych
	owalizacja otworu lub rozerwanie blachy	$S_{Rb} = 3,2 \cdot t_1 \cdot d \cdot \frac{f_u}{\gamma_{m2}}$
	zerwanie przekroju netto	$S_{Rn} = A_n \frac{f_u}{n_p \cdot \gamma_{m2}}$
	Warunki dodatkowe: $S_{Rv} \geq 1,5 \cdot S_{Rb}, \quad S_{Rv} \geq 1,5 \cdot S_{Rn}$	



Rys. 6.3. Połączenie zaciskowe [46]

W ostatnich latach wdrażana jest nowa technologia łączenia elementów wykonanych z cienkich blach. Jest to technologia zapożyczona z przemysłu motoryzacyjnego, w którym to jest z powodzeniem stosowana od 1980 roku. Są to połączenia zaciskowe. Połączenie zaciskowe składa się z kilku oddzielnych zacisków. Pojedynczy zacisk jest połączeniem

punktowym, w którym cienka blacha stalowa lub profil są łączone ze sobą przez miejscową deformację. Na rysunku 6.3 przedstawiono zasadę działania połączenia zaciskowego. Połączenie to jest zdolne przenosić siły ścinające. Powinno unikać się przykładania sił rozciągających. Dodatkowe łączniki, np. wkręty, nity, śruby i nakrętki nie są potrzebne. Połączenia zaciskowe są znacznie tańsze z uwagi na mniejsze koszty materiałowe jak również mniejsze koszty wykonania (mniejsza liczba czynności, co pozwala na zaoszczędzenie czasu). Są to powody, dla których połączenie zaciskowe jest bardzo efektywną metodą łączenia. Połączenia te są stosowane od pewnego czasu w budownictwie na rynku amerykańskim. W Europie prowadzone były badania eksperymentalne [46] i są obecnie wdrażane przy seryjnej produkcji lekkich paneli ściennych.

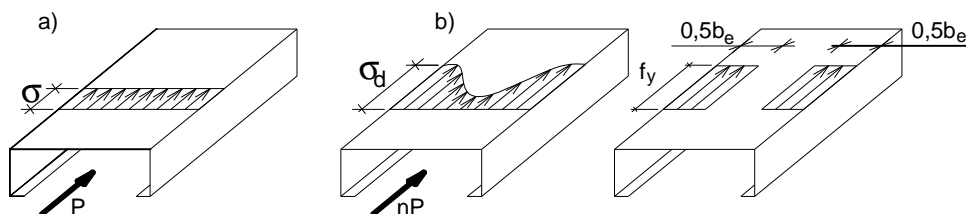
7. Ogólne zasady projektowania kształtowników giętych na zimno

Szczegółowe zasady wymiarowania konstrukcji z elementów giętych na zimno są opisane w pozycjach literatury [7, 15, 26, 35, 52]. Dotyczą one konstrukcji z kształtowników profilowanych z blach o grubościach od 1,5 mm do 6 mm oraz blach i kaset profilowanych o grubościach od 0,5 mm do 3 mm [26]. W niniejszym opracowaniu ograniczymy się tylko do podania podstawowych zasad wymiarowania elementów zaprojektowanych z kształtowników giętych na zimno.

7.1. Przekroje zastępcze

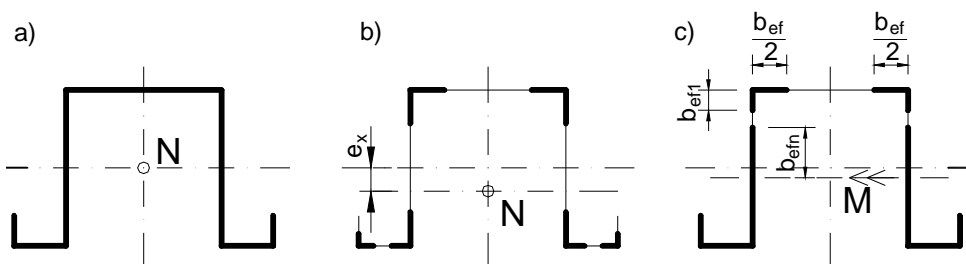
Konstrukcje z cienkościennych kształtowników profilowanych z blach na zimno cechują się dużą wrażliwością na skutki utraty stateczności miejscowej ścianek. Z tego też powodu nośność takich przekrojów oblicza się w sposób odmienny od określania nośności przekroju z elementów walcowanych na gorąco [25]. Kształtowniki gięte na zimno zbudowane są z cienkich blach uformowanych w ścianki o różnych szerokościach (środniki, pasy) i różnych warunkach podparcia (środnik – płyta podparta na dwóch krawędziach, pas – na jednej krawędzi). Istotną rolę w określaniu nośności przekrojów odgrywają wszelkiego rodzaju żebra usztywniające poszczególne ścianki (rys. 6.1). Z uwagi na znaczną smukłość poszczególnych ścianek, efekt miejscowej utraty stateczności może decydować o nośności przekroju ściskanego lub zginanego. Jednakże fakt osiągnięcia naprężenia krytycznego w pojedynczej ściance kształtownika nie oznacza, że została wyczerpana zdolność ścianki do dalszego przenoszenia obciążeń. W smukłej ściance wyboczeniu ulega środkowa część ścianki (rys. 7.1), natomiast części ścianki przylegające do krawędzi podpartych nadal pracują przenosząc obciążenia. Szerokości pasów przylegających do krawędzi podpartych i przenoszących obciążenia nazywa się szerokością współpracującą b_e . Stan, w którym obciążenia są przenoszone tylko przez pasma ścianek współpracujących nazywa się stanem nadkrytycznym.

Nośność przekroju, którego ściskane ścianki ulegają miejscowej utracie stateczności oblicza się w stanie nośności nadkrytycznej. Znając szerokości współpracujące poszczególnych ścianek, określone dla danego rodzaju obciążenia elementu, można wyznaczyć pole A_e przekroju zastępczego, jako sumę szerokości współpracujących. Do wyznaczania nośności pola przekroju zastępczego A_e nie stosuje się średniej granicy plastyczności całego kształtownika f_{ya} . Do oceny tego pola zawsze przyjmuje się minimalną granicę plastyczności materiału wyjściowego f_{yb} .



Rys. 7.1. Rozkład naprężeń w ściance podpartej na dwóch krawędziach a) przy małych naprężeniach, b) w stanie nadkrytycznym

Procedury projektowe dotyczące wymiarowania elementów ściskanych i zginanych wymagają określenia powierzchni przekroju zastępczego. Zgodnie z teorią nośności nadkrytycznej, przekrój zastępczy jest to przekrój, który powstaje po potrąceniu niewspółpracujących (ulegających miejscowej utracie stateczności w stanie nadkrytycznym) części powierzchni przekroju poprzecznego. Przekrój zastępczy dla danego stanu naprężeń określa się ustalając wielkość i rozmieszczenie odcinków szerokości współpracującej b_{ef} jego poszczególnych ścianek. Na rysunku 7.2 przedstawiono przykłady przekrojów zastępczych dla przekroju kapeluszowego ściskanego i zginanego.



Rys. 7.2. Przekrój kapeluszowy (monosymetryczny): a) pełny, b) zastępczy dla ściskania osiowego, c) zastępczy dla zginania.

W normach [26, 35] podane są zależności do określania szerokości współpracującej ścianek płaskich i z usztywnieniami pośrednimi, o różnych warunkach podparcia (z usztywnieniami brzegowymi lub bez) oraz dla różnych rozkładów naprężeń w ściankach. W procedurze określania przekroju zastępczego uwzględniona jest również redukcja powierzchni przekroju wynikająca z technologicznego zaokrąglenia naroży kształtowników. Należy nadmienić, że w przypadku przekrojów monosymetrycznych i niesymetrycznych, redukcja powierzchni ścianek pociąga za sobą zmianę położenia środka ciężkości przekroju współpracującego w stosunku do przekroju pełnego (rys. 7.2).

7.2. Nośność przekroju

Nośność przekroju bisymetrycznego i punktowo symetrycznego osiowo ściskanego, w którym nie występuje przesunięcie środka ciężkości przekroju zastępczego w stosunku do środka ciężkości przekroju nominalnego określa się z następującej zależności:

$$N_{Rc} = A_e \cdot f_{yb} / \gamma_m, \quad (7.1)$$

gdzie: A_e – pole przekroju zastępczego,
 f_{yb} – minimalna granica plastyczności materiału wyjściowego,
 γ_m – częściowy współczynnik bezpieczeństwa.

W przypadku prętów monosymetrycznych i niesymetrycznych, w ściankach, w których wskutek redystrybucji naprężeń w stanie nadkrytycznym następuje zmiana położenia środka ciężkości przekroju zastępczego w stosunku do środka ciężkości przekroju nominalnego, należy uwzględnić dodatkowe zginanie (jedno- lub dwukierunkowe) momentami, będącymi iloczynami siły osiowej i mimośrodków e_x i e_y , wynikających z przesunięcia środka ciężkości przekroju zastępczego:

$$\Delta M_y = N \cdot e_x, \quad \Delta M_x = N \cdot e_y. \quad (7.2)$$

Wówczas nośność przekroju ściskanego należy sprawdzić z warunku interakcyjnego (7.5).

Nośność przekroju jednokierunkowo zginanego w płaszczyźnie symetrii (w zakresie sprężystym) określa się z zależności:

$$M_R = W_e \cdot f_{yb}, \quad (7.3)$$

gdzie W_e – wskaźnik wytrzymałości przekroju zastępczego, który w zależności od potrzeby będzie oznaczony jako W_{ec} lub W_{et} .

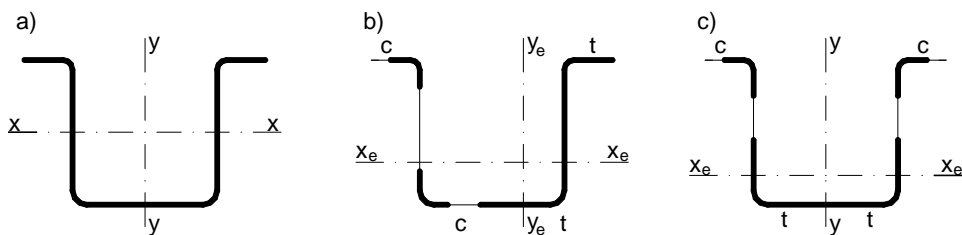
Plastyczną rezerwę nośności można uwzględniać tylko dla jednokierunkowego zginania, jednakże po spełnieniu szeregu warunków [26, 35], które w niniejszym opracowaniu nie są przedstawione z uwagi na obszerny zakres zagadnienia.

Nośność przekroju dwukierunkowo zginanego należy sprawdzać na podstawie zależności interakcyjnej:

$$\frac{M_x}{M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} \leq 1, \quad (7.4)$$

w której M_{Rx} i M_{Ry} są obliczeniowymi nośnościami przekroju wg wzoru (7.3), określonymi niezależnie dla obu płaszczyzn zginania.

Na rys. 7.3. przedstawiono przekroje zastępcze kształtownika kapeluszowego, odpowiadające momentom M_y i M_{Ry} (rys. 7.3.b) oraz M_x i M_{Rx} (rys. 7.3.c).



Rys. 7.3. Przekroje zastępcze odpowiadające zginaniu względem: b) osi y-y, c) osi x-x
(c – ścianka ściskana, t – ścianka rozciągana)

Nośność przekroju dwukierunkowo zginanego i ściskanego sprawdza się z następującej zależności:

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M_x + \Delta M_x}{M_{Rcx}} + \frac{M_y + \Delta M_y}{M_{Rcy}} \leq 1, \quad (7.5)$$

w której:

M_{Rcx} i M_{Rcy} – nośności obliczeniowe przekroju wg (7.3), przy czym wskaźniki wytrzymałości odpowiadają największym naprężeniom ściskającym przekroju zastępczego, określonym niezależnie dla obu płaszczyzn zginania,

ΔM_x i ΔM_y – dodatkowe momenty zginające wg (7.2),

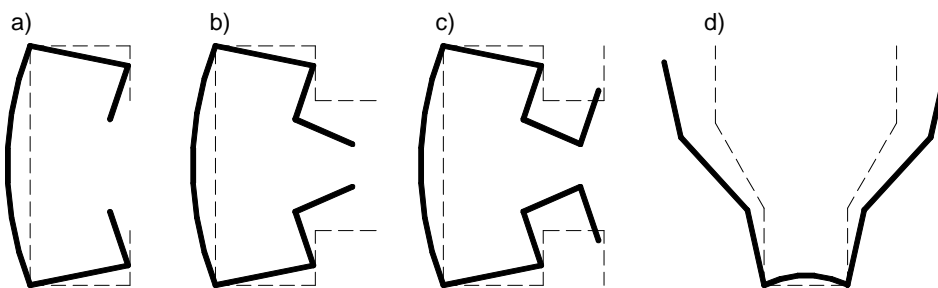
N_{Rc} – nośność obliczeniowa przekroju przy ściskaniu wg (7.1).

7.3. Nośność elementu

Sprawdzając nośność elementów ściskanych lub zginanych należy uwzględnić interakcję różnych form niestateczności:

- miejscowej niestateczności ścianek przekroju (przyjmując cechy geometryczne jak dla przekroju zastępczego z uwzględnieniem rezerwy nadkrytycznej ścianek po utracie stateczności miejscowej);
- niestateczności ogólnej (wyboczenie, zwichrzenie);
- niestateczności dystorsyjnej.

Dystorsyjne zniekształcenie konturu występuje w kształtownikach o przekroju otwartym jak na rysunku 7.4. Najbardziej narażone na tę formę utraty stateczności są kształtowniki, których pasy zostały przedłużone ze względów konstrukcyjnych (rys. 7.4.b,c,d). Kształtowniki o przekroju z usztywnieniami brzegowymi jak na rysunku 7.4.a) są odporne na tę formę utraty stateczności.



Rys. 7.4. Przykładowe formy symetrycznych odkształceń dystorsyjnych

Nośność elementów jednokierunkowo zginanych, które mogą ulec zwichrzeniu, należy sprawdzać na podstawie następującej zależności:

$$\frac{M}{\varphi_L \cdot M_R} \leq 1, \quad (7.6)$$

gdzie: φ_L – współczynnik zwichrzenia określany ze wzorów normowych,

M_R – nośność przekroju jak w (7.3).

Na tę postać niestateczności są szczególnie wrażliwe przekroje, które dzięki zachowaniu sztywnego konturu mogą, jako całość, przemieszczać się bocznie i obracać, a więc przekroje dwuteowe zginane w płaszczyźnie większej bezwładności, zetowe, ceowe w obydwu płaszczyznach (mniejszej i większej bezwładności) oraz kapeluszowe, gdy strefa rozciągana obejmuje większą część środka.

Nośność elementu ściskanego ze względu na wyobczenie giętne, skrętne lub giętno-skrętne sprawdza się na podstawie zależności:

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} \leq 1, \quad (7.7)$$

gdzie: φ – współczynnik wyobczenia określany ze wzorów normowych,

N_{Rc} – nośność obliczeniowa przekroju jak w (7.1).

Nośność elementów ściskanych i zginanych, których przekroje ulegają przemieszczeniom w kierunkach osi x-x i y-y między punktami podparcia, ale nie ulegają skręceniu wokół osi z-z, należy sprawdzać z uwzględnieniem wyobczenia giętnego [26]:

$$\frac{N}{\varphi_{\min} N_{Rc}} + \frac{K_x (M_x + \Delta M_x)}{M_{Rcx}} + \frac{K_y (M_y + \Delta M_y)}{M_{Rcy}} \leq 1, \quad (7.8)$$

gdzie: $\varphi_{\min} = \min(\varphi_x, \varphi_y)$,

- φ_x, φ_y – współczynniki wyobceniowe względem osi x i y,
- M_{Rcx}, M_{Rcy} – nośność obliczeniowa przekroju obliczone jak w (7.3) dla zginania odpowiednio w płaszczyźnie y-y i x-x,
- ΔM_x i ΔM_y – dodatkowe momenty zginające wg (7.2),
- K_x, K_y – współczynniki amplifikacji momentów zginających, które uwzględniają postać zmienności wykresu momentów zginających między punktami podparcia (stężeń) odpowiednio w płaszczyznach y-y i x-x.

Nośność elementów ściskanych i zginanych, których przekroje mają swobodę przemieszczeń w kierunkach osi x-x i y-y między punktami podparcia, a także ulegają skręceniu wokół osi z-z należy sprawdzać z uwzględnieniem niestateczności giętno-skrętnej (wyobczenia i zwichrzenia) [26]:

$$\frac{N}{\varphi_{\min} N_{Rc}} + \frac{K_x (M_x + \Delta M_x)}{\varphi_L \cdot M_{Rcx}} + \frac{K_y (M_y + \Delta M_y)}{M_{Rcy}} \leq 1. \quad (7.9)$$

W przypadku słupów i belek stanowiących szkielet paneli ściennych lub stropowych nośność na ściskanie i zginanie sprawdza się na podstawie zależności (7.10) pod warunkiem, że kształtowniki stalowe są skutecznie zabezpieczone przed zwichrzeniem lub wyobczeniem poprzez trwałe połączenie z ciągłym usztywnieniem tarczowo-płytowym lub gęsto rozmieszczonymi usztywnieniami poprzecznymi.

$$\frac{N}{N_{Rc}} + \frac{M}{M_R} \leq 1. \quad (7.10)$$

Piśmiennictwo

- [1] AmTech: Opis technologii SUNDAY system™. AmTech sp. z o.o., Głogów Małopolski.
- [2] AmTech: Projekty konstrukcyjne wraz z wykonawstwem konstrukcji stalowych - dla nadbudów. AmTech sp. z o.o., Głogów Małopolski.
- [3] AmTech: Technologia SUNDAY system™ - Materiały szkoleniowe. AmTech sp. z o.o., Głogów Małopolski.
- [4] Balex Metal: Poradnik projektanta, katalogi i rysunki techniczne. Balex Metal Sp. z o.o., Bolszewo 2007.
- [5] Baranowski W., Cyran M., Iwaszkiewicz T., Kubalski A., Liwski E., Romanowski J., Zieliński J.: Modernizacja i nadbudowa budynków, Poradnik. Wacetob sp. z o.o., Warszawa 2001.
- [6] Bogucki W., Żybertowicz M.: Tablice do projektowania konstrukcji metalowych. Arkady. Warszawa 2005.
- [7] Bródka J., Broniewicz M., Gizejowski M.: Kształtowniki gięte. Poradnik projektanta. PWT, Rzeszów 2006.
- [8] Bródka J., Łubiński M.: Lekkie konstrukcje stalowe. Arkady, Warszawa 1971.
- [9] EJOT: EJOT – katalog łączników obudowy lekkiej, mocowanie termo i hydroizolacji, łączniki kotwy mechaniczne i chemiczne. EJOT Polska Sp. z o.o., Ciasna 2007.
- [10] Fisher: Technika mocowania, katalog główny 2006/07. Fischer Polska, Kraków 2006.
- [11] Florian: Wytyczne producenta płyt warstwowych „Sandwich”. Florian Centrum S.A. Grupa Mittal Steel Poland S.A., Kutno 2006.
- [12] Florian: Blachodachówki i blachy trapezowe. Florian Centrum S.A. Grupa Mittal Steel Poland S.A., Kutno.
- [13] Florprofile: Blachy trapezowe, panele elewacyjne, kasety ścienne, płatwie dachowe, łukowe blachy trapezowe. Florprofile Sp. z o.o., Świętochłowice 2006.
- [14] Frączek E., Kazimierczak R., Łosicki Z., Urbańska-Galewska E.: Budownictwo mieszkaniowe – potrzeby społeczne a realia. Inżynieria i Budownictwo, nr 12, s. 437-439, 1988.
- [15] Goczek J., Supeł Ł.: Kształtowniki gięte w obudowie hal. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2007.
- [16] Hilti: Katalog produktów. Hilti Poland, Warszawa 2007.
- [17] Hilti: Podręcznik techniki mocowań. Hilti Poland, Warszawa 2006.
- [18] Kingspan: Kingspan dla projektantów – System obudowy dachów i ścian płyty warstwowe. Kingspan Sp. z o.o., Lipsko 2006.
- [19] Kingspan: TARMONT – płyty warstwowe – katalog. Kingspan Sp. z o.o., Trzcianka 2005.
- [20] Koelner: Katalog techniczny. Koelner S.A., Wrocław 2007.
- [21] Lindab: Roof – Wall catalogue 2000 - Lindab roof and Wall system manual. Lindab Sp. z o.o., Sadowa 2000.
- [22] Miettinen E., Ripati H., Saari R.: Use of steel in housing renovation. TRY. The Finnish Constructional Steelwork Association Ltd. Tampere 1998.
- [23] Pruszyński: Blachy Pruszyński - Katalog firmy. Pruszyński Sp. z o.o., Sokółów k/Warszawy 2007.
- [24] PN-B-02361:1999. Pochylenia połaci dachowych.

- [25] PN-90/B-03200. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- [26] PN-B-03207: 2002. Konstrukcje stalowe. Konstrukcje z kształtowników i blach profilowanych na zimno. Projektowanie i wykonanie.
- [27] PN-EN 10025-1: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych - Część 1: Ogólne warunki techniczne dostawy.
- [28] PN-EN 10025-2: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych - Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych.
- [29] PN-EN 10025-3: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych - Część 3: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych drobnoziarnistych spawalnych po normalizowaniu lub walcowaniu normalizującym.
- [30] PN-EN 10025-4: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych - Część 4: Warunki techniczne dostawy spawalnych stali konstrukcyjnych drobnoziarnistych po walcowaniu termomechanicznym.
- [31] PN-EN 10149-2: 2000. Wyroby płaskie walcowane na gorąco ze stali o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno. Warunki dostawy wyrobów walcowanych termomechanicznie.
- [32] PN-EN 10149-3: 2000. Wyroby płaskie walcowane na gorąco ze stali o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno. Warunki dostawy wyrobów normalizowanych lub walcowanych normalizująco.
- [33] PN-EN 10326: 2006. Taśmy i blachy ze stali konstrukcyjnych powlekane ogniowo w sposób ciągły - Warunki techniczne dostawy.
- [34] PN-EN 10327:2005 (U). Taśmy i blachy ze stali niskowęglowej ocynkowane ogniowo w sposób ciągły do obróbki plastycznej na zimno -- Warunki techniczne dostawy
- [35] PN-EN 1993-1-3:2006 (U). Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-3: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno.
- [36] PN-EN 1993-1-4:2006 (U). Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-4: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych.
- [37] Rannila Rautaruukki Group: Fasades and interior structures. Rannila Steel Oy, 1999.
- [38] Rannila Rautaruukki Group: Rannilan rekennejärjestelmät – käsikirja. Rannila Steel Oy 2001.
- [39] Rannila Rautaruukki Group: Rannilan vesikätköjärjestelmät – käsikirja. Rannila Steel Oy 2001.
- [40] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 kwietnia 2004r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie - ostatnia zmiana. (Dz.U. 2004 nr 109 poz. 1156).
- [41] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 września 2004 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego - (Dz. U. 2004 nr 202 poz. 2072).
- [42] Ruukki Konstruktion Polska: Ruukki more with metals – Biblioteka elektroniczna. Ruukki Construction Polska Sp. z o.o., Żyrardów 2006.
- [43] Schlaich J.: Konceptyjne projektowanie lekkich konstrukcji. Inżynieria i Budownictwo Nr 3, Warszawa 2007.
- [44] Stalprodukt: Kształtowniki gięte na zimno. Stalprodukt S.A., Bochnia 2006.
- [45] Stalprodukt: Poradnik projektanta. Stalprodukt S.A., Bochnia 2006.
- [46] Systemy suchych konstrukcji stalowych w budownictwie. Materiały Seminarium DryConDis, Warszawa, czerwiec 2006.

- [47] Trimo: Trimo – complete solutions – katalog rozwiązań. Trimo Polska Sp. z o.o., Warszawa 2007.
- [48] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 (z późniejszymi zmianami) Prawo budowlane (Dz. U. 1994, nr 89 poz. 414).
- [49] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. (Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717).
- [50] Wkręt–Met: Techniki zamocowań. Katalog 2007. Klimas Wkręt–Met Sp. z o.o., Kuźnica Kiedrzyńska 2007.
- [51] Voestalpine – SadeF: Buildings components for industrial buildings. 2004.
- [52] Żółtowski W., Król P.: Zasady projektowania konstrukcji z profili cienkościennych Lindab „Z” i „C” - Poradnik projektanta. Lindab Sp. z o.o., Warszawa 2000.

Wykorzystywane strony internetowe:

www.aguapanel.pl
www.amtech.com.pl
www.balex.com.pl
www.ejot.pl
www.fischerpolska.pl
www.floriancentrum.com.pl
www.florprofile.com.pl
www.florprofile.com.pl
www.hilti.pl
www.kingspan.pl
www.knauf.pl
www.koelner.pl
www.kronopol.com.pl
www.pkn.pl
www.pruszynski.pl
www.remo.pl
www.rheinzink.pl
www.ruukki.pl
www.stalprodukt.com.pl
www.stalprodukt.com.pl
www.voestalpine.com
www.wkret-met.com.pl