

Współczesne metalowe elewacje perforowane

Dr inż. Paweł Żwirek, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwujemy w budownictwie realizację znacznej liczby obiektów, w których stosowane są elewacje z wykorzystaniem elementów perforowanych (rys. 1). Postęp, jaki dokonał się w zakresie technologii projektowania oraz produkcji tego typu elementów, spowodował, że stosowanie elementów o nawet bardzo skomplikowanych kształtach powierzchni oraz wzorze perforacji, przy zachowaniu wymaganej jakości i dokładności wykonania stało się zarówno technicznie możliwe, jak również akceptowalne z ekonomicznego punktu widzenia.

Stosowanie elementów perforowanych niejednokrotnie nie wynika jedynie ze względów estetycznych. Potrzeba zastosowania elementów perforowanych może wynikać również z konieczności częściowego ograniczenia nasłonecznienia wnętrza obiektu lub korekty parametrów akustycznych przegrody [2], czy też zapewnienia wymiany powietrza dla urządzeń znajdujących się za fasadą. Elementy perforowane mogą być stosowane również dla stworzenia elewacji będącej równocześnie ekranem umożliwiającym wyświetlanie programowanych komputerowo wzorów – jak np. dla Stadionu Narodowego w Warszawie. Wspomniane okoliczności i specyfika elewacji perforowanych powoduje, że w ich projektowaniu i realizacji należy przeanalizować zagadnienia, które zazwyczaj nie występują w przypadku elewacji z pełnymi elementami okładzinowymi.

Dzięki zredukowanemu – w porównaniu z pełną okładziną – ciężarowi jednostkowemu oraz zmniejszonemu (w przypadku odpowiedniego wzoru perforacji) obciążeniu wiatrem elementy perforowane mogą być z powodzeniem stosowane w rewitalizacji istniejących obiektów [3], gdzie niejednokrotnie wartość dodatkowych obciążeń od nowych elementów musi być ograniczona.

Na przestrzeni ostatnich lat znacząco poszerzyła się oferta producentów w zakresie liczby dostępnych technologii i materiałów do wykonywania elementów okładzinowych elewacji. Elementy okładzinowe elewacji perforowanych mogą być wykonywane m.in. z: metalu (aluminium, stal, miedź, brąz), materiałów kompozytowych [8,9], płyt włókno-cementowych [10], laminatów wysokociśnieniowych [16], prasowanych płyt z wełny skalnej z termoutwardzalnym lepiszczem bitumicznym [11], tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem szklanym czy też prefabrykatów betonowych.

Wybór materiału powinien oprócz względów estetycznych zależeć także od kształtu i intensywności wzoru perforacji. Znajomość właściwości materiałów oraz technologii produkcji elementów perforowanych są kluczowe dla uzyskania estetycznych i poprawnych technicznie, a jednocześnie akceptowalnych ze względu na koszty produkcji rozwiązań. Zdaniem autora spośród wymienionych materiałów największe możliwości w zakresie: formowania kształtu pojedynczego elementu okładzinowego, stopnia skomplikowania wzoru perforacji, intensywności perforacji zapewniają elewacje metalowe. W dalszej części pracy zostaną omówione wybrane zagadnienia związane z wykonaniem i projektowaniem metalowych elewacji perforowanych.

2. Zagadnienia projektowe

Specyfika projektowania elewacji perforowanych wymaga uwzględnienia szeregu zagadnień, które nie występują w przypadku elewacji pełnych. Należy tutaj wymienić takie zagadnienia jak:

- wygląd, estetyka i kolorystyka konstrukcji wsporczej,
- ochrona termoizolacji (jeśli występuje) znajdującej się za okładziną perforowaną przed wpływami środowiskowymi, takimi jak wiatr, śnieg, deszcz i promieniowanie słoneczne,
- świątłoszczelność na styku elementów okładzinowych,
- dostęp do przestrzeni za okładziną,
- bezpieczeństwo użytkowania,
- funkcjonalność.

Rysunek 2 przedstawia przykładowe rozwiązania konstrukcji wsporczej współczesnych elewacji, w tym perforowanych. Rozwiązanie przedstawione na rysunku 2a jest szczególnie atrakcyjne w przypadku obiektów przemysłowych, w których powszechnie stosowane są płyty warstwowe do wykonywania ścian zewnętrznych. Wybrane typy obecnie produkowanych płyt warstwowych [17] umożliwiają mocowanie wyłącznie do zewnętrznej, stosunkowo cienkiej (grubość 0,5–0,6 mm) stalowej okładziny płyty pionowych profili, które stanowią konstrukcję wsporczą dla elementów okładzinowych. Z kolei rozwiązanie przedstawione na rysunku 2b składa się z punktowych wsporników nazywanych konsolami, do których mocowane są profile pionowe stanowiące konstrukcję wsporczą dla okładziny. W przypadku elewacji o bardziej złożonej geometrii stosuje się rozwiązanie przedstawione na rysunku 2c, gdzie okładzina elewacyjna

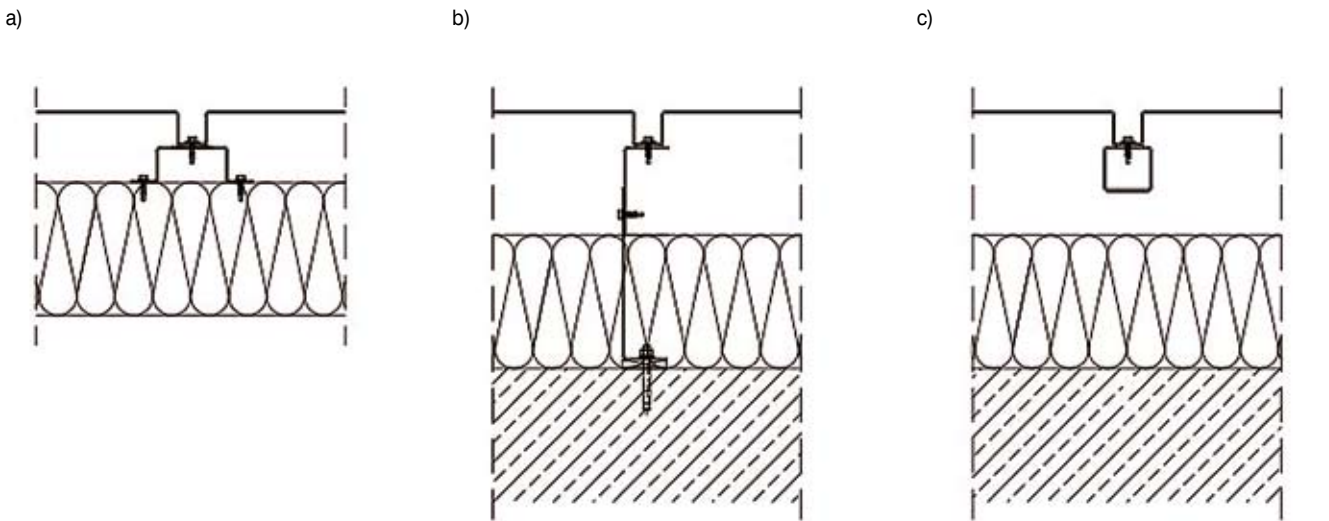


Rys. 1. Przykłady obiektów z elewacją wykonaną z perforowanych elementów okładzinowych: a) Stadion Narodowy w Warszawie, b) Ośrodek Dokumentacji Sztuki Tadeusza Kantora „Crikoteka” w Krakowie, c) hala widowiskowo-sportowa w Radomiu (w trakcie realizacji) [7]

jest mocowana do specjalnie ukształtowanej konstrukcji stalowej, dzięki czemu konstrukcja ścian samego budynku może mieć mniej skomplikowany kształt i nie musi odzwierciedlać kształtu projektowanej elewacji.

Niezależnie od zastosowanego rozwiązania konstrukcji wsporczej należy uwzględnić w mniejszym lub większym stopniu estetykę konstrukcji wsporczej – zarówno profili, jak i elementów złącznych. O ile w przypadku elewacji pełnych konstrukcja wsporcza jest przeważnie wykonywana z aluminiowych lub stalowych ocynkowanych elementów nielakerowanych, o tyle w przypadku okładzin perforowanych konstrukcja wsporcza przeważnie jest malowana na odpowiedni kolor. Dla okładzin perforowanych, które przesłaniają m.in. szklane fasady (rys. 1b), konstrukcja wsporcza

może być szczególnie dobrze widoczna od strony wewnętrznej budynku. W takiej sytuacji niezwykle ważne jest stosowanie odpowiednich rozwiązań węzłów konstrukcji, które w znacznym stopniu wpływają na estetykę. Istotne znaczenie może mieć dobór kształtu profili pionowych podkonstrukcji. Przykładowo stosowanie pionowych profili o przekroju otwartym kątowym lub teowym może powodować, że od strony wewnętrznej widoczne mogą być wiertła łączników samowiercących powszechnie stosowanych do mocowania metalowych elementów perforowanych. Kształtowanie węzłów konstrukcji wsporczej fasad perforowanych przesłaniających fasady szklane wymaga często stosowania rozwiązań niestandardowych. Należy pamiętać, że odchyłki w montażu konstrukcji stalowej nieprzekraczające



Rys. 2. Przekroje poziome i widoki konstrukcji wsporczej okładzin elewacyjnych (opis w tekście)

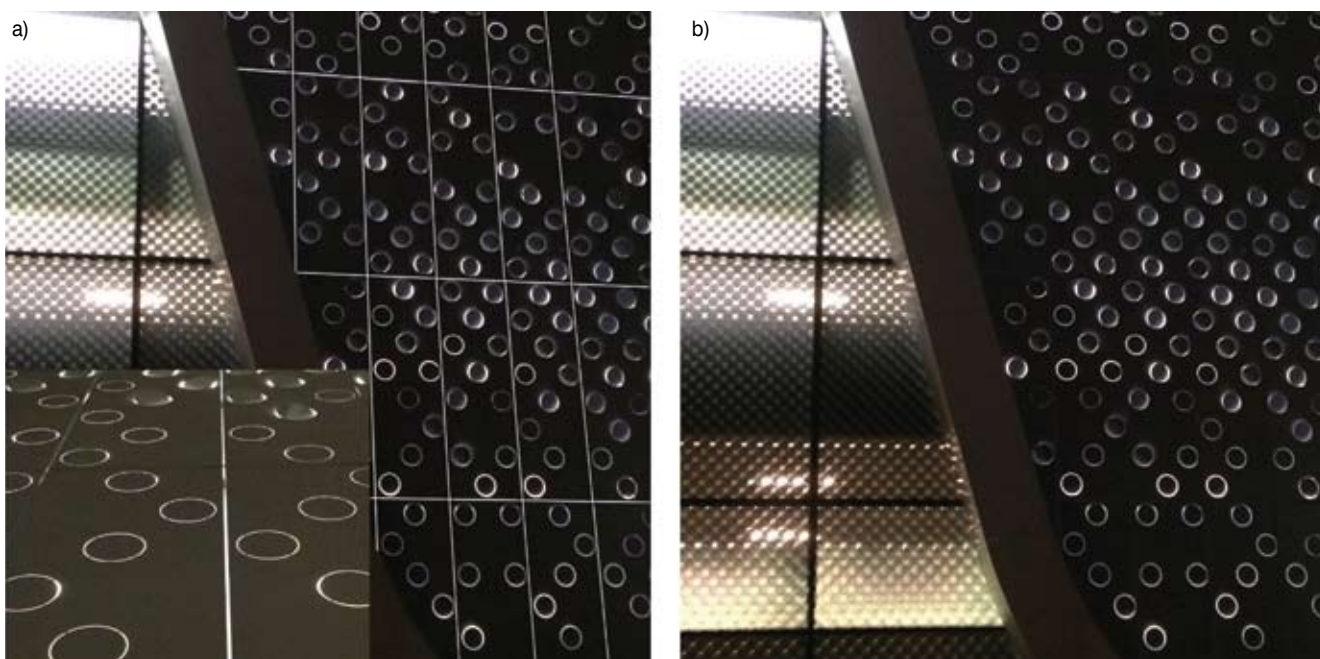
wartości tolerancji określonych w normie [12] często okazują się niewystarczające. W takiej sytuacji można stosować rozwiązania, w których projektuje się główną konstrukcję stalową, na której dodatkowo montowana jest konstrukcja drugorzędna umożliwiająca wymaganą precyzję montażu elementów okładzinowych. Wymagane tolerancje montażu elementów okładzinowych powinny być określone w dokumentacji projektowej bowiem mają istotny wpływ na koszty realizacji elewacji.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe konstrukcji wsporczej elewacji perforowanej zasadniczo nie różnią się od projektowania konstrukcji wsporczej elewacji z pełnymi okładzinami i mogą być wykonywane w oparciu o normę [14] w przypadku konstrukcji stalowych oraz [15] dla konstrukcji aluminiowych. W pracy [5] przedstawiono procedury i przykłady liczbowe projektowania podkonstrukcji i pełnych aluminiowych oraz kompozytowych [8, 9] elementów okładzinowych.

Osobną kwestię stanowią zagadnienia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych perforowanych elementów okładzinowych.

Brak norm projektowania dla tego typu elementów powoduje, że projektantowi pozostają następujące możliwości: symulacje komputerowe oparte na modelach powłokowych lub badania doświadczalne. Uzyskanie wiarygodnych wyników symulacji numerycznych może być trudne do uzyskania ze względu na występujące w blachach perforowanych skomplikowane rozkłady naprężeń własnych powstałych w procesie wykrawania otworów lub zmiany strukturalne w rejonie krawędzi otworów wykonywanych techniką laserową – spowodowanych występowaniem wysokiej temperatury, a które mogą znacząco wpływać na zachowanie elementu okładzinowego. Dodatkową trudność może stanowić poprawne zamodelowanie obciążenia wiatrem.

Znacznie bardziej wiarygodne wyniki można uzyskać, stosując badania eksperymentalne [1, 4, 6]. W pracy [4] opisano przebieg i podstawowe wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym dla elementów okładzinowych Stadionu Narodowego w Warszawie (rys. 1a). Badania pozwoliły zweryfikować zachowanie samego elementu perforowanego, jak również określenie



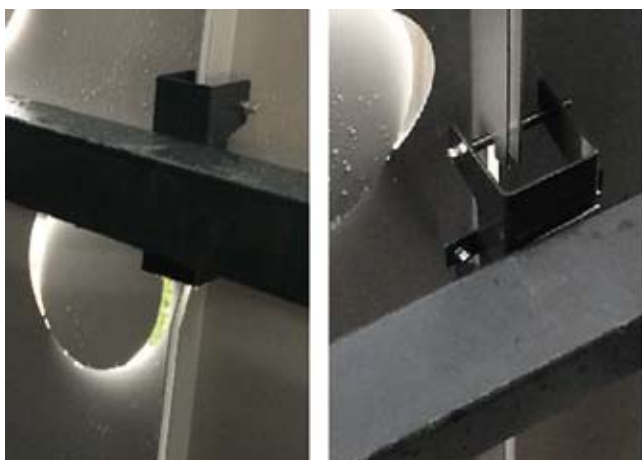
Rys. 3. Widok podświetlonych od strony wewnętrznej okładzin perforowanych: a) z otwartymi fugami, b) z zamkniętymi fugami

wartości współczynników aerodynamicznych niezbędnych do wyznaczenia oddziaływań od elementów okładzinowych na konstrukcję wsporczą [13].

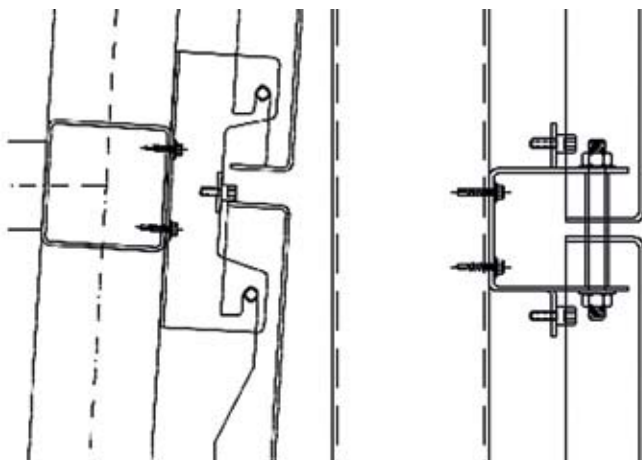
Jeżeli bezpośrednio za elementami perforowanymi znajduje się termoizolacja (rys. 2b), niezwykle istotna jest analiza wpływu na nią czynników środowiskowych, takich jak: śnieg, wiatr, deszcz czy też promieniowanie słoneczne. Szczególnie wrażliwa na działanie śniegu i deszczu okazuje się wełna mineralna. Brak zewnętrznej warstwy osłonowej na wełnie mineralnej może powodować stopniową erozję materiału. Warstwa osłonowa np. w postaci powszechnie stosowanej wiatroizolacji powinna być odporna na bezpośrednie działanie promieni słonecznych, w szczególności promieniowania słonecznego. Dodatkowo zewnętrzne warstwy termoizolacji powinny być wolne od wszelkich opisów, które pozostają widoczne od strony zewnętrznej przez otwory w okładzinie. Wpływ czynników środowiskowych na wełnę mineralną może być wyeliminowany poprzez dobór odpowiedniego rozmiaru i wzoru perforacji oraz dzięki zachowaniu odpowiedniej odległości pomiędzy okładziną a termoizolacją. Wpływ czynników środowiskowych może zostać też wyeliminowany przez wykonanie tynku cienkowarstwowego na termoizolacji. W takiej sytuacji projektując konstrukcję wsporczą elewacji, warto zminimalizować liczbę punktów, w których konstrukcja wsporcza przebija termoizolację, albowiem punkty te są trudne do obrobienia i uszczelnienia, a ponadto stanowią punktowe mostki termiczne obniżające izolacyjność termiczną przegrody. Osiąga się ten cel poprzez zaprojektowanie bardziej masywnych (niż w przypadku elewacji pełnych) konsol oraz zwiększenie przekroju pionowych profili nośnych. Jeszcze inne rozwiązanie zastosowano w przypadku obiektu przedstawionego na rysunku 1b. Do żelbetowej i stalowej konstrukcji stalowej budynku zamontowane zostały płyty warstwowe

lokalnie poprzębijane wspornikami stalowymi, do których przykręcona została pionowa konstrukcja wsporcza okładzin elewacyjnych. Ze względów estetycznych zastosowano płyty warstwowe o kolorze zbliżonym do koloru elementów perforowanych.

Rozwój technologii LED, a w szczególności jej niskie zapotrzebowanie na energię elektryczną i długi czas bezawaryjnej eksploatacji powoduje, że elewacje perforowane są bardzo często podświetlane od strony wewnętrznej. Obecność źródła światła w przestrzeni za okładziną wymaga stosowania odpowiednich rozwiązań w miejscach styku pojedynczych elementów okładzinowych. Przykładowo na rysunku 3 pokazano tę samą elewację z otwartymi i zamkniętymi fugami pionowymi i poziomymi. Rozwiązanie przedstawione na rysunku 3a ujawnia dodatkowy ortogonalny podział elewacji, który nie zawsze jest pożądany ze względów estetycznych. Elewacje perforowane często stosuje się w celu ukrycia zamontowanych na ścianach zewnętrznych urządzeń i kanałów związanych z instalacjami wentylacji, klimatyzacji, czy też oddymiania. W opisanej sytuacji, a także w przypadku elewacji podświetlanych od strony wewnętrznej konieczne jest zapewnienie odpowiedniego dostępu do obsługi, konserwacji i naprawy wspomnianych urządzeń. Dla rozwiązania wg rysunku 2c projektuje się przeważnie za elementami okładzinowymi odpowiednie pomosty i drabiny. Rozwiązaniem alternatywnym może być zaprojektowanie demontowalnych elementów okładzinowych wieszanych na specjalnych wieszakach (rys. 4) lub przykręcanych. W przypadku elementów przykręcanych powinny być stosowane śruby z gwintem metrycznym wkręcane do nitonakrętek zainstalowanych w konstrukcji wsporczej. Do przykręcania paneli przewidzianych do okresowego demontażu i montażu nie powinny być stosowane łączniki samowierzące.



Rys. 4. Przykład elementu okładzinowego zawieszanego



Zagadnienie dostępu do przestrzeni pod okładziną perforowaną jest szczególnie ważne w przypadku okładzin perforowanych przesłaniających fasady szklane wymagające okresowego mycia. Dla elementów wieszanych, szczególnie w miejscach dostępnych dla osób postronnych, powinny być zainstalowane w fudze poziomej (rys. 4) specjalne blokady uniemożliwiające przypadkowe ściągnięcie panela z wieszaka.

Specyfika okładzin perforowanych powoduje, że wymagają one uwzględnienia w projektowaniu specjalnych zagadnień związanych z bezpieczeństwem i funkcjonalnością. Stosowanie elementów perforowanych w dolnych częściach elewacji, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie ciągów komunikacyjnych powoduje, że należy przeanalizować, czy sam kształt oraz rozmiar oczka perforacji nie stanowi „pułapki” na dłonie lub palce przechodniów. Stosowanie dużych otworów we wspomnianych miejscach wymaga odpowiedniego, estetycznego, odpornego na akty wandalizmu wykończenia warstw leżących pod okładziną perforowaną – którą przeważnie jest termoizolacja. Ponadto zbyt duże otwory zlokalizowane przy ciągach komunikacyjnych mogą umożliwiać wrzucanie śmieci za okładziną perforowaną. Wspomniane okoliczności powodują, że w praktyce często stosuje się rozwiązania, w których duże otwory perforacji zastępuje się otworowaniem, które ukazuje jedynie rysunek konturu otworu (por. rys. 5c i 5d).

Obecność stosunkowo dużych otworów perforacji wymagać może zastosowania specjalnych zabezpieczeń, np. w postaci dodatkowych siatek montowanych za elementem perforowanym, tak aby wyeliminować możliwość przedostawania się ptaków pod elementy okładzinowe. Ryzyko przedostawania się ptaków za elementy okładzinowe można także wyeliminować, dobierając odpowiedni rozmiar otworów perforacji.

3. Technologia produkcji

Metalowe perforowane elementy okładzinowe wykonywane są obecnie w postaci:

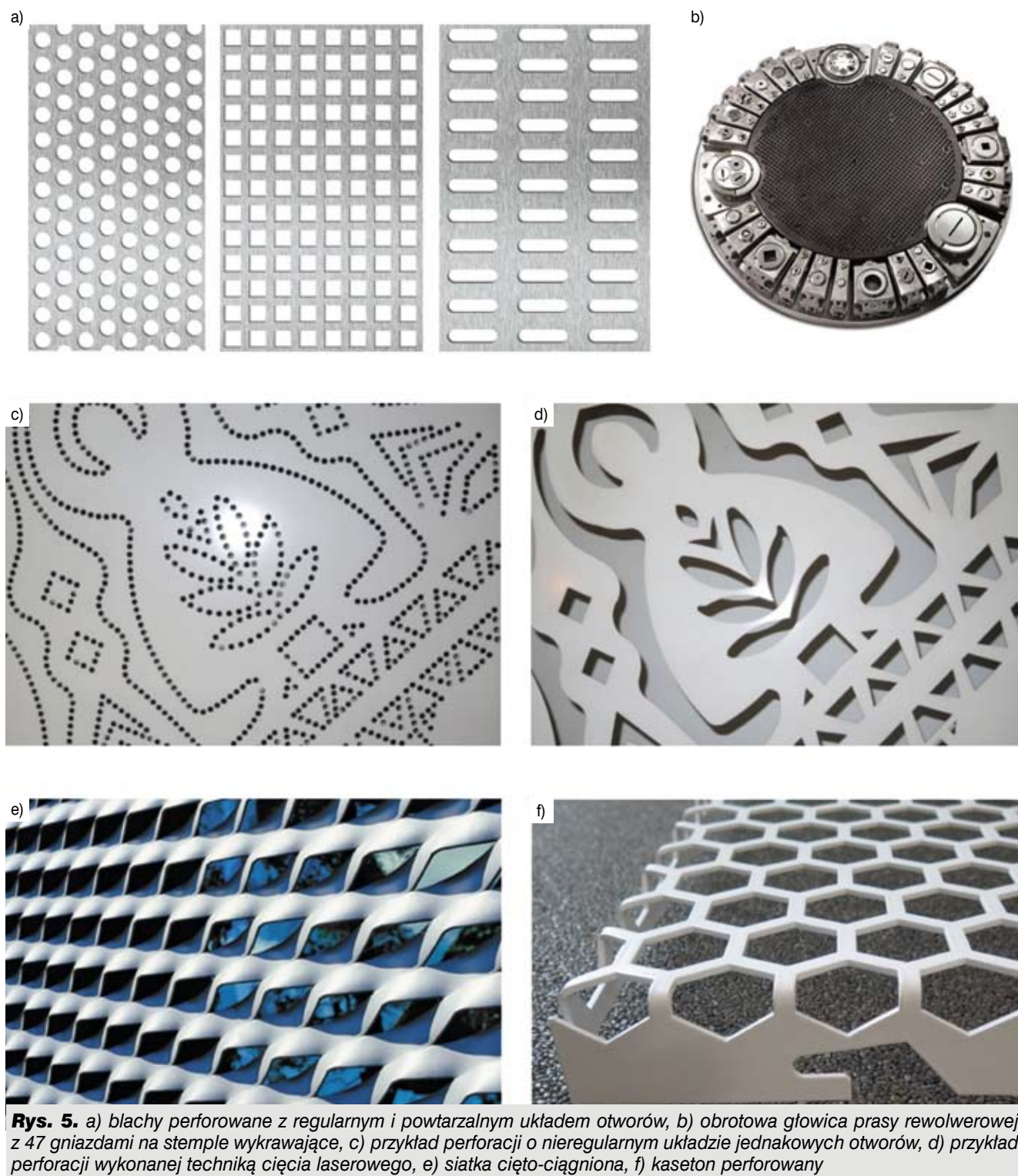
- płaskich formatek perforowanych mocowanych bezpośrednio do rusztu (rys. 5a),

- płaskich elementów perforowanych formowanych w samonośny panel (rys. 5f),
- siatek cięto-ciągnionych (rys. 5e).

Wybór technologii wykonywania perforacji okładzin metalowych uzależniony jest od wzoru perforacji oraz rodzaju materiału. Powszechnie stosowane są następujące technologie wykonywania perforacji w blachach płaskich: wykrawanie na prasach, wycinanie techniką laserową oraz frezowanie. Wykonywanie otworów techniką wykrawania polega na zastosowaniu stempla i matrycy. Po umieszczeniu materiału pomiędzy stemplem a matrycą prasa naciska na stempel, powodując powstanie otworu (analogiczna zasada działania jak powszechnie znanych dziurkaczy biurowych do papieru). Do wykrawania stosowane są przeważnie dwa rodzaje pras: prasy szerokoperforujące oraz prasy rewolwerowe. W prasach szerokoperforujących przeważnie stosowane są listwy o szerokości całych arkuszy blachy (1000 mm, 1250 mm i 1500 mm) wyposażone w stemple i matryce, dzięki czemu podczas jednej operacji wykonywane są jednocześnie otwory na całej szerokości arkusza blachy. Materiał wsadowy do produkcji blach perforowanych dostarczany jest w kęgach, a następnie jest: rozwijany, prostowany przez zespół walców, perforowany na prasie szerokoperforującej i przycinany na arkusze o określonej długości. Szybkość procesu perforacji oraz możliwość produkowania arkuszy o pożądanej długości powoduje, że w przypadku regularnych wzorów perforacji o dużej intensywności jest to obecnie najtańsza technologia produkcji.

W prasach rewolwerowych, podobnie jak w prasach szerokoperforujących, do wykrawania stosowane są stemple i matryce. Stempel i matryca ustawione są w ustalonej pozycji, natomiast specjalny stół roboczy przesuwany w zaprogramowany wcześniej sposób materiału – jednocześnie w kierunku podłużnym i poprzecznym. Po ustawieniu materiału w odpowiedniej pozycji prasa powoduje ruch stempla i wykonanie otworu. Współczesne prasy rewolwerowe mają głowice wyposażone w zestaw wielu stempli (rys. 5b), które w trakcie procesu wykrawania mogą być zmieniane w sposób automatyczny.

W przypadku jednego rodzaju otworu, rozmieszczonego

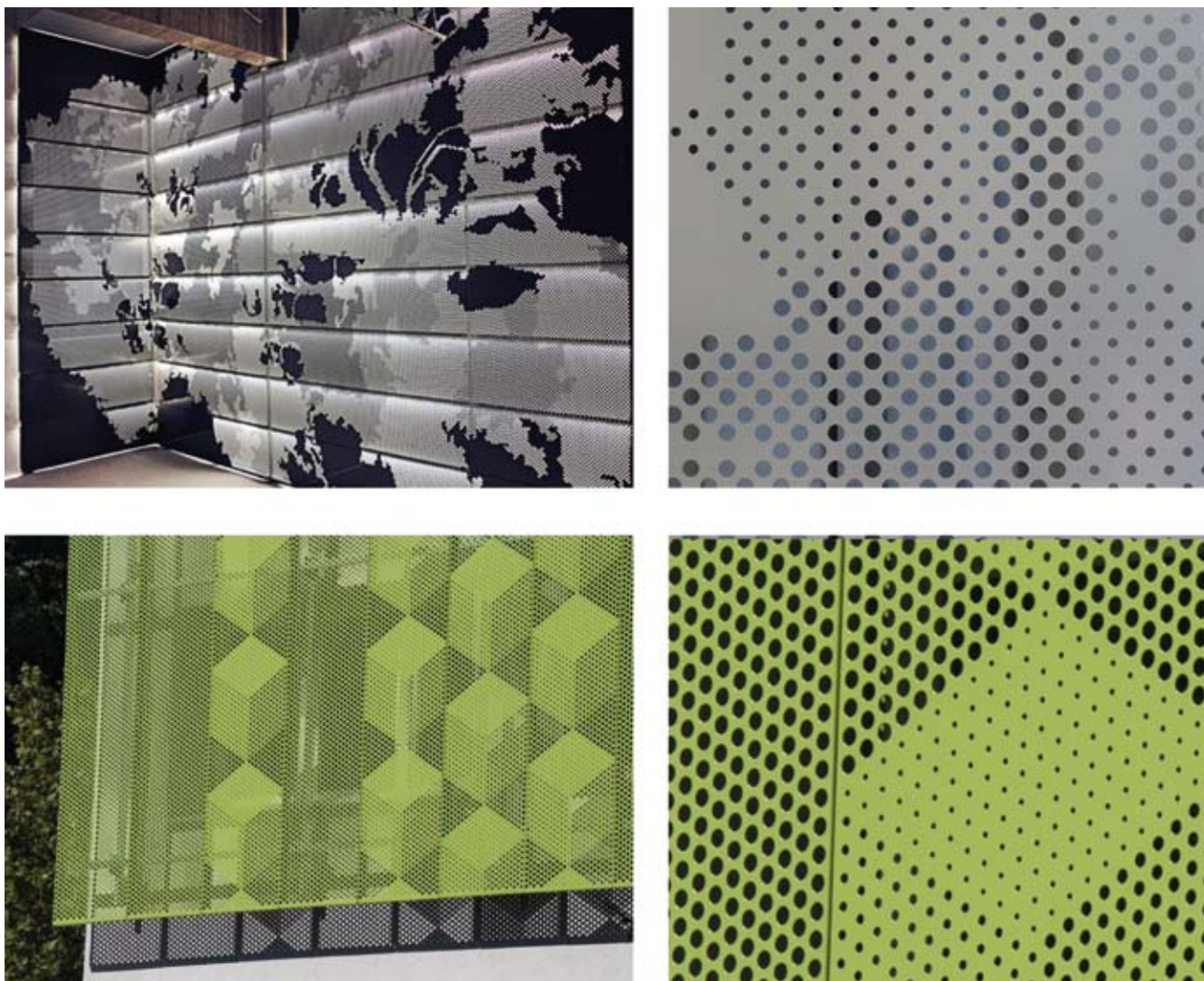


Rys. 5. a) blachy perforowane z regularnym i powtarzalnym układem otworów, b) obrotowa głowica prasy rewolwerowej z 47 gniazdami na stemple wykrawające, c) przykład perforacji o nieregularnym układzie jednakowych otworów, d) przykład perforacji wykonanej techniką cięcia laserowego, e) siatka cięto-ciągniona, f) kaseton perforowany

na regularnej, przeważnie trójkątnej, kwadratowej lub prostokątnej siatce (rys. 5a) najtańszą techniką wykonywania perforacji jest wykrawanie na prasach szerokoperforujących. Jeśli wzór perforacji składa się z niewielkiej liczby typów otworów rozmieszczonych w sposób nieregularny (rys. 5c), stosuje się prasy rewolwerowe.

Techniką wykrawania mogą być wykonywane otwory w blachach wykonanych z różnych rodzajów metali w tym również blach ocynkowanych i fabrycznie malowanych. Jeśli

elementy okładzinowe mają być wykonywane z blach stalowych ocynkowanych i fabrycznie malowanych, technika wykrawania może okazać się najbardziej ekonomiczna. W przypadku blach stalowych ocynkowanych wykonywanie otworów techniką wykrawania powoduje, że antykorozyjna warstwa cynku z powierzchni blachy „zaciągana” jest na krawędź otworu w trakcie operacji wykrawania otworu, dzięki czemu nie jest wymagane dodatkowe zabezpieczenie ciętej krawędzi blachy.



Rys. 6. Przykłady rysunków wykonanych techniką perforowania z wykorzystaniem pras rewolwerowych

Wykonywanie perforacji na prasach szerokoperforujących oraz rewolwerowych może być połączone z techniką tłoczenia o niewielkiej głębokości. Ostatnio niezwykle popularne stało się tworzenie na elewacjach rysunków z wykorzystaniem techniki perforacji. Jak widać na rysunku 6, interesujące rysunki można uzyskać, stosując niewielką liczbę typów otworów (w prezentowanych przykładach jedynie dwóch) rozmieszczonych na regularnej siatce. Wykrawanie na prasach rewolwerowych jest w takim wypadku najczęściej stosowaną techniką. Obecnie dostępne są programy tworzące automatycznie na podstawie obrazu zbiór otworów o zadanej wielkości, kształcie i zakresie wymiarów pojedynczego otworu.

Stosowanie pras rewolwerowych i szerokoperforujących umożliwia wykonywanie perforacji we wszystkich stosowanych obecnie do wykonywania elewacji metalach.

Cięcie laserowe jest procesem termicznym, w którym promień laserowy jest wytwarzany w źródle laserowym (rezonatorze) i doprowadzany do głowicy maszyny tnącej, gdzie następuje jego zogniskowanie z dużą mocą za pomocą soczewki. Tak skupiony promień laserowy trafia

na blachę, powodując jej topienie. Cięty materiał zostaje stopiony na całej grubości promieniem laserowym o dużej intensywności, a następnie wydmuchany ze szczeliny cięcia za pomocą gazu tnącego, który wypływa z dyszy z dużą energią kinetyczną. Technika cięcia laserowego przeważnie jest stosowana w przypadku nieregularnych kształtów otworów jak np. na rysunku 5d. Należy jednak pamiętać, że cięcie laserowe jest procesem termicznym i nie powinno być stosowane do wykonywania otworów w blachach stalowych fabrycznie lakierowanych, ocynkowanych lub ocynkowanych i malowanych – ze względu na uszkodzenie wspomnianych powłok pod wpływem wysokiej temperatury. Próby naprawy i zabezpieczenia antykorozyjnego pozbawionych powłok ciętych laserowo krawędzi blach nie są ekonomicznie uzasadnione. Malowanie krawędzi po cięciu laserowym może przynieść nieakceptowalny efekt estetyczny. Osobną kwestią jest również możliwość utraty gwarancji na powłoki antykorozyjne obrabianego materiału.

Ostatnio dość popularna w budownictwie jest stal typu corten (rys. 1b), czyli stal z dodatkiem pierwiastków stopowych,

takich jak miedź, chrom, nikiel i fosfor wykazująca podwyższoną odporność na korozję. Technika cięcia laserowego w połączeniu z blachami typu cor-ten pozwala na uzyskanie efektywnych i stosunkowo niedrogich okładzin – głównie ze względu na brak konieczności wykonywania dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych i mniej rygorystyczne wymagania w zakresie zabezpieczenia powierzchni materiału w trakcie obróbki, transportu i montażu gotowych elementów okładzinowych.

Najbardziej, ze względów ekonomicznych, stosowana jest technika perforowania blach za pomocą obróbki skrawaniem w postaci frezowania. Frezowanie stosowane jest zazwyczaj w przypadku grubych blach, gdzie dodatkowo stawia się wymagania odnośnie kształtu krawędzi otworu. Oprócz płaskich perforowanych blach na elementy okładzinowe często są obecnie stosowane siatki cięto-ciągnione (rys. 5e). Są to pierwotnie płaskie blachy miejscowo ponacinane, a następnie rozciągane, tak aby uzyskać trwałą deformację obrabianego materiału. Siatki cięto-ciągnione mają ograniczone możliwości w zakresie gięcia i z tego względu przeważnie stosowane są jako płaskie formatki przykręcane bezpośrednio do podkonstrukcji lub montowane w ramach techniką spawania. Siatki cięto-ciągnione produkowane są z blach w kręgu i docinane na formatki wymaganej długości. Projektując elewację z zastosowaniem siatek cięto-ciągnionych w postaci płaskich formatek przykręcanych bezpośrednio do rusztu, należy zwrócić uwagę na tolerancje wymiarowe formatek, których wartości są o wiele większe, aniżeli w przypadku blach płaskich. Szczególnie duże wartości osiągają tolerancje o kierunku równoległym do długości taśmy, osiągając wartości nawet kilku centymetrów.

Wykonywanie perforacji techniką laserową lub wykrawania na prasach rewolwerowych umożliwia równoczesne ukształtowanie konturu elementu okładzinowego, wykonywania otworów montażowych lub wieszaków zintegrowanych z elementem okładzinowym (rys. 5f).

W najprostszych rozwiązaniach perforowanych okładzin metalowych płaskie formatki blach są mocowane do konstrukcji wsporczej – w takiej sytuacji proces produkcji elementów okładzinowych kończy się na etapie odpowiedniego przycięcia krawędzi formatki materiału. Z kolei elementy okładzinowe, które zostały zaprojektowane jako kasetony, wymagają zagięcia krawędzi materiału (rys. 5f). Gięcie to wykonywane jest na prasach krawędziowych lub zagnarkach.

Kolejny etapy procesu produkcji metalowych okładzin perforowanych może obejmować kształtowanie konturu panela i jego formowanie, przeważnie na prasach krawędziowych.

Projektowanie wzoru perforacji musi uwzględniać ograniczenia technologiczne wynikające z rodzaju stosowanego materiału i technologii wykonywania otworowania. Zarówno w przypadku stosowania techniki wykrawania, jak i techniki laserowej minimalna szerokość materiału, który ma pozostać pomiędzy dwoma sąsiednimi otworami, zależy od grubości zastosowanego materiału.

4. Podsumowanie

Metalowe perforowane elementy okładzinowe umożliwiają uzyskanie niezwykle atrakcyjnych elewacji, które mogą nadawać bryle budynku unikalny charakter i podkreślać funkcję, jaką pełni. Projektowanie i realizacja elewacji perforowanych różni się istotnie od elewacji pełnych. Znajomość technologii produkcji oraz specyficznych zagadnień związanych z użytkowaniem tego typu elewacji, jak np. świątosczerlność, konieczność okresowego demontażu, względy bezpieczeństwa oraz użytkowe pozwalają na świadome projektowanie stosunkowo niedrogich i funkcjonalnych okładzin perforowanych.

Ze względu na niską wagę oraz mniejsze niż w przypadku okładzin pełnych obciążenie wiatrem perforowane elementy okładzinowe mogą być z powodzeniem stosowane do rewitalizacji fasad istniejących budynków.

BIBLIOGRAFIA

- [1] B.G. de Bray, Low speed wind tunnel tests on perforated square plates normal to the airstream: drag and velocity fluctuation measurements, Ministry of Supply, Aeronautical Research Council. Current Papers, C.P. No. 223, London 1957
- [2] B.M. Gibbs, R.N.S Hammand, The Acoustic Protection of Perforated Facades of Unusual Geometry, Architectural Science Review, tom 28, 1985
- [3] Fiszer J., Żwirek P., Rewitalizacja zabudowań z lat 70. XX wieku w obrębie Starego Miasta w Krakowie, Ceevil and Environmental Engineering Reports nr 19 (4) 2015
- [4] Flaga A., Eksperymentalne wspomaganie projektowania przy wpływach środowiskowych na budowie i ludzi – praca zbiorowa pod redakcją A. Flagi, ALF-GRAF, Lublin 2011
- [5] Gwóźdź M., Suchodota M., Obliczenia konstrukcji metalowych wg Eurokodu 9, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2015
- [6] Y. Uematsu, H. Sakurai, Y. Miyamoto, E. Gavansky, Wind force coefficients for designing porous canopy roofs, Journal of Civil Engineering and Architecture, tom 7, nr 9 (seria 70), str. 1047–1055, 2013

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [7] www.apa.krakow.pl
- [8] Aprobata Techniczna AT-15-3524/2012 Płyty kompozytowe Reynobond FR i Reynobond PE, ITB, Warszawa 2012
- [9] Aprobata Techniczna AT-15-4058/2010 Aluminiowe płyty kompozytowe Alucobond A2, Alucobond B2, i Alucobond Plus, ITB, Warszawa 2010
- [10] Aprobata Techniczna AT-15-9158/2013 Zestaw wyrobów do wykonywania wentylowanych okładzin elewacyjnych Isover-Equitone, ITB, Warszawa 2013
- [11] Europejska Aprobata Techniczna ETA-07/0141 Prefabrykowane płyty z wełny mineralnej z wykończeniem organicznym lub nieorganicznym oraz określonym systemem mocowania, EOTA 2011
- [12] PN-EN 1090-2 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych
- [13] PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru. PKN, Warszawa 2008
- [14] PN-EN 1993 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych
- [15] PN-EN 1999 Eurokod 9: Projektowanie konstrukcji aluminiowych
- [16] PN-EN 438-1 Wysokociśnieniowe laminaty dekoracyjne (HPL) – Płyty z żywic termoutwardzalnych (zwyczajowo nazywane laminatami) – Część 1: Wprowadzenie i informacje ogólne. PKN, Warszawa 2008
- [17] Ruukki Forma. Instrukcja projektowania