



Elewacje aluminiowe

Dr inż. Paweł Kossakowski, Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Betonowych, Politechnika Świętokrzyska

1. Wprowadzenie

Elewacja to w wielu przypadkach wizytówka budynku decydująca o jego wyglądzie. Dotyczy to przede wszystkim fasad, których mianem określa się elewacje, zwłaszcza dekoracyjne i efektowne. Interesująca forma i kolorystyka elewacji często przyćmiewa inne elementy architektury i konstrukcji, zarówno obiektów historycznych jak i nowoczesnych. Jednym z elementów, których właściwości decydują o możliwościach osiągnięcia zamierzonych efektów w zakresie kształtowania elewacji, jest zastosowany materiał. Przez wieki elewacje rozmaitych budowli wykonywano przede wszystkim z kamienia. Obecnie obserwuje się zastosowanie do tego celu wielu innych materiałów, a jednym z nich jest aluminium i jego stopy.

2. Podstawowe właściwości aluminium i jego stopów

Zawartość aluminium (chem. *glin*, oznaczany symbolem *Al*) w różnych związkach występujących w skorupie ziemskiej jest bardzo wysoka – szacunki mówią o wielkości nawet 8%. Jest to więc metal powszechny, który dzięki swym właściwościom jest szeroko wykorzystywany w różnych dziedzinach działalności człowieka. Swą popularność aluminium zawdzięcza połączeniu pożądanych cech i zalet, takich jak przede wszystkim wysokie parametry mechaniczne i względnie niska gęstość, bardzo dobra odporność korozyjna oraz wysoka

przewodność cieplna i elektryczna. Dodatkowo łatwo poddaje się ono obróbce, jest spajalne, nietoksyczne, a dzięki możliwości nieograniczonego wręcz recyklingu może być wielokrotnie odzyskiwane i wykorzystywane. Dlatego aluminium można traktować jako materiał ekologiczny i przyjazny dla środowiska [1].

Podstawowe właściwości czystego aluminium o znaku AR1 są następujące [2]:

- gęstość $\gamma_c = 2698 \text{ kg/m}^3$,
- moduł sprężystości podłużnej $E = 72 \text{ GPa}$,
- moduł sprężystości poprzecznej $G = 27 \text{ GPa}$,
- współczynnik Poissona $\nu = 0,34$,
- współczynnik rozszerzalności cieplnej $\epsilon_t = 0,000024 \text{ 1}^\circ\text{C}$ w zakresie temperatur 20–100 °C,
- współczynnik tarcia $\mu = 0,2\text{--}0,5$.

W technice szerokie zastosowanie znajdują stopy aluminium, będące w wielu przypadkach podstawowym materiałem konstrukcyjnym. Ich główną zaletą jest wysoka wytrzymałość sięgająca nawet 700 MPa. W odniesieniu do stopów obrabianych plastycznie, poddawanych wyciskaniu, wytrzymałość ta waha się w granicach 150–300 MPa. W tym zakresie jest to więc materiał porównywalny z wieloma gatunkami stali konstrukcyjnych i jednocześnie o wiele lżejszy – gęstość aluminium to jedynie około 1/3 gęstości stali. Elementy o podobnej nośności wykonane ze stopów aluminium są o wiele lżejsze w porównaniu do analogicznych elementów stalowych. Przegląd właściwości stopów aluminium stosowanych jako materiałów konstrukcyjnych podano w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości stopów aluminium stosowanych do produkcji elementów konstrukcyjnych [3]

Rodzaj stopu	Stopy bez obróbki cieplnej			Stopy z obróbką cieplną				
	1000	3000	2000	2000	6000	7000		
Główne dodatki	czyste aluminium	Mn mangan	Mg magnez	Cu miedź	Mg, Si magnez, krzem	Zn, Mg cynk, magnez		
Typ stopu					słaby	mocny	słaby	mocny
Wytrzymałość na rozciąganie f_t [N/mm ²]	150	200	300	400	200	300	350	550
Wydłużenie względne ϵ_t [%]	3–4	5	10	10	12	8	12	10
Poziom trwałości	A	A	A	D	B	B	C	D
Spawalność	tak	tak	tak	nie	tak	tak	tak	nie
Możliwość wyciskania	bardzo dobra	–	średnia, słaba	słaba	bardzo dobra	dobra	średnia	słaba



Inną istotną zaletą aluminium są korzystne właściwości mechaniczne obserwowane w niskich temperaturach, a zwłaszcza odporność na kruche pękanie, co pozwala na jego szerokie stosowanie w elementach poddawanych bezpośredniemu oddziaływaniu czynników klimatycznych.

W wielu sytuacjach istotniejsza od korzystnych cech i parametrów mechanicznych jest wysoka odporność na korozję aluminium i jego stopów. W typowych, neutralnych warunkach środowiska, o pH w zakresie od 4 do 9, jak również w środowisku lekko kwaśnym oraz w przypadku kiedy nie dochodzi do skraplania pary wodnej, można stwierdzić, że aluminium w zasadzie nie koroduje. Jest to możliwe dzięki samoodnawialnej gęstej i szczelnej warstwie tlenku glinu, który tworząc się na powierzchni materiału, przeciwdziała procesom korozyjnym. W porównaniu do czystego aluminium niższa odporność korozyjna jest obserwowana w przypadku jego stopów, co jest ściśle związane z zawartością pierwiastków składowych. Największą odpornością korozyjną cechują się stopy aluminium zawierające krzem i magnez, a najmniejszą stopy z miedzią. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że w środowiskach silnie zasadowych i kwaśnych dochodzi do korozji stopów aluminium. W sytuacji gdy elementy narażone są na oddziaływanie tego typu środowiska, należy stosować odpowiednie zabezpieczenie antykorozyjne.

Bardzo ważną zaletą aluminium i jego stopów jest możliwość łatwej obróbki i formowania, co jest szczególnie istotne podczas produkcji elementów i wyrobów. Z uwagi na korzystne cechy plastyczne materiał ten łatwo poddaje się zabiegom takim jak gięcie czy wyciskanie, dzięki czemu możliwe jest wykonywanie profili o bardzo skomplikowanych przekrojach i geometrii.

3. Aluminium – materiał elewacyjny

O szerokich możliwościach stosowania aluminium i jego stopów do wykonywania elewacji i fasad budynków decyduje połączenie wielu opisanych powyżej korzystnych właściwości, z których najważniejsze to:

- dobre parametry mechaniczne,
- relatywnie niska gęstość,
- wysoka odporność na korozję,
- ognioodporność,
- wysoka trwałość,
- cechy plastyczne umożliwiające łatwe formowanie elementów o dowolnych kształtach,
- walory estetyczne.

Korzystne parametry mechaniczne aluminium, a szczególnie jego stopów, pozwalają na wykonywanie elementów o znacznych wymiarach i odpowiedniej nośności. Pozwala to na wykorzystywanie ich do wykonywania elewacji i fasad, które są często poddawane znacznym obciążeniom klimatycznym. Dotyczy to choćby ciężaru lodu tworzącego się i gromadzącego w okresie zimowym, ale przede wszystkim obciążenia wiatrem. W przypadku

elewacji budynków wysokich, w tym obszarów przykrawędziowych ścian, obciążenie wiatrem przybiera znaczne wartości i dlatego poszukuje się materiałów, które przy relatywnie niskiej gęstości mają dobrą wytrzymałość, porównywalną z wytrzymałością stali konstrukcyjnych. Elementy powierzchniowe wykonane z aluminium cechują się na tyle dużą nośnością, że znajdują zastosowanie do wykonywania elewacji i fasad narażonych na opisane wyżej obciążenia.

Innym czynnikiem związanym z oddziaływaniem środowiska atmosferycznego jest zjawisko korozji, na które są narażone materiały elewacyjne, a w tym zakresie aluminium ma bardzo dobre parametry. Jak wspomniano, w przypadku środowiska neutralnego aluminium w zasadzie nie wymaga dodatkowego zabezpieczenia antykorozyjnego. Tego typu zabiegi są jednak niezbędne w odniesieniu do warunków specyficznych, np. ekspozycji elewacji na środowisko wody morskiej, gdzie należy zastanowić się nad doбором odpowiedniego środka zapobiegawczego lub zastosować stop aluminium odporny na tego typu czynniki.

Właściwości antykorozyjne aluminium przekładają się w naturalny sposób na wysoką trwałość wykonywanych elewacji, wydłużając znacząco okres ich eksploatacji w porównaniu do innych materiałów.

Ale dobre parametry mechaniczne i odporność na korozję w wielu przypadkach nie decydują o wyborze tego właśnie materiału do wykonania elewacji. Wielokrotnie istotniejsza jest techniczna możliwość wykonania elewacji czy fasady o danym kształcie z materiału, który na to pozwoli, oraz walory estetyczne determinujące bryłę i formę obiektu. W tym zakresie aluminium jest szeroko wykorzystywane, czego przykłady podano w dalszej części artykułu. Podstawową cechą, dzięki której aluminium znajduje zastosowanie do wykonywania elewacji budynków o dowolnym wręcz kształcie, są jego właściwości plastyczne, umożliwiające łatwe formowanie, obróbkę oraz kształtowanie elementów o dowolnej geometrii.

W równym stopniu co geometria o wyglądzie budynku decyduje także jego kolorystyka i tekstura materiału elewacyjnego. Dotyczy to w szczególności aluminium, którego obróbka nadaje powierzchni charakterystyczny wygląd. Istotną cechą są również efekty wizualne, z jakimi można się spotkać w różnych warunkach oświetlenia elewacji aluminiowych.

Jeśli chodzi o elementy wykorzystywane obecnie do wykonywania elewacji i fasad aluminiowych, to pomijając klasyczne przeszklenia wykonywane jako ślusarka aluminiowa, najciekawsze efekty są obserwowane w przypadku stosowania różnego rodzaju płyt. Wykonywane są one jako elementy z blach surowych, które są cięte i układane w rozmaity sposób, zgodnie z wizją architekta. Niekiedy są one również pokrywane powłokami z farby. Blachy aluminiowe często poddaje się anodowaniu, przez co znacząco podwyższa się ich odporność korozyjną oraz nadaje pożądaną kolor oraz fakturę powierzchni.



Ostatnio coraz większe zastosowanie znajdują panele kompozytowe, w których warstwy zewnętrzne wykonywane są z cienkiej blachy aluminiowej, natomiast rdzeń stanowi tworzywo sztuczne. W ten sposób powstaje lekki, ale odpowiednio wytrzymały materiał, z którego można wykonać samonośny element fasady elewacyjnej. Gotowe blachy lub panele kompozytowe są mocowane do podkonstrukcji, wykonywanej najczęściej z profili stalowych montowanych do ścian budynku.

4. Przykłady aluminiowych elewacji i fasad budynków

Jak już wspomniano, w przypadku wielu obiektów o ich oryginalnym i efektownym wyglądzie decydują elewacje. Przykłady kilku budynków o interesujących elewacjach wykonanych z aluminium przedstawiono poniżej.

Terminal portu lotniczego w Farnborough

Niewątpliwie motywem przewodnim towarzyszącym projektowi terminalu portu lotniczego w Farnborough w Wielkiej Brytanii była tematyka awiacyjna, bo wizja architektoniczna zmaterializowała się w obiekcie imitującym skrzydło samolotu niejako unoszące się nad poziomem terenu (rys. 1).



Rys. 1. Terminal portu lotniczego w Farnborough – widok od strony płyty lotniska [4]



Rys. 2. Terminal portu lotniczego w Farnborough – elewacja boczna [5]

Niczym rzeźba obiekt ten przyjmuje różny wygląd w zależności od miejsca obserwacji, co widać, gdy porówna się jego elewacje pokazane na rysunkach 1 i 2. Bryła budynku o wydłużonym kształcie, lekko załamana w połowie długości swą charakterystyczną formę zawdzięcza płynnemu przejściu ścian w dach.

Efekt ten udało się osiągnąć w dużej mierze dzięki elewacji, do wykonania której zastosowano płyty aluminiowe. Zostały one ułożone w ukośne pasma z romboidalnym rytmem podziału poszczególnych elementów. Wyoblenie elewacji uzyskano dzięki właściwościom plastycznym aluminium, które stwarzają nieograniczone wręcz możliwości formowania i kształtowania elementów. Dzięki temu przejście ścian w dach jest płynne i lekkie, nawiązując do kształtu i przekroju skrzydeł samolotów. Budynek terminalu lotniczego w Farnborough jest przykładem urzeczywistniania wizji architektonicznych w zakresie dynamicznego i nieograniczonego kształtowania geometrii i formy obiektów.

Akwarium Blue Planet w Kopenhadze

Od długiego już czasu w architekturze światowej można zaobserwować trend, w którym urzeczywistniają się najbardziej fantastyczne wizje architektów, niemożliwe do realizacji kilkadziesiąt lat temu, przede wszystkim



Rys. 3. Akwarium Blue Planet w Kopenhadze – widok z lotu ptaka [6]

z uwagi na ówczesne ograniczenia techniczne. Jednym z ciekawszych obiektów tego typu jest akwarium Blue Planet w Danii. Obecnie to największy tego typu obiekt w Europie, zaliczany do pięciu największych atrakcji Danii.

Bryła budynku w naturalny i organiczny sposób nawiązuje do charakteru i funkcji obiektu, bo Blue Planet to wielki wir wodny, który niejako wciąga i pochłania zwiedzających (rys. 3).

Efekt ten udało się osiągnąć m.in. dzięki elewacjom, w których na szeroką skalę zastosowano aluminium. Wykonano je z płyt aluminiowych w kształcie rombów, których pasma podążają za kierunkiem „wiru” budynku. Analogicznie do budynku terminalu portu lotniczego Farnborough, zastosowanie aluminium umożliwiło kształtowanie



Rys. 4. Akwarium Blue Planet w Kopenhadze – widok ogólny [7]



Rys. 5. Akwarium Blue Planet w Kopenhadze – widok elewacji [8]

płynnej i gładkiej elewacji, która nadała bardzo dynamiczny charakter całemu obiektowi (rys. 4 i 5). Interesujące efekty wizualne są obserwowane w różnych porach dnia i roku dzięki różnym efektom świetlnym i kolorystycznym, związanym z oświetleniem i odbijaniem światła przez płyty aluminiowe i otaczające obiekt morze.



Rys. 6. Centrum wystawowe New Hall Messe w Bazylei [9]



Rys. 7. Ażurowa elewacja z płyt aluminiowych centrum wystawowego New Hall Messe w Bazylei [10]



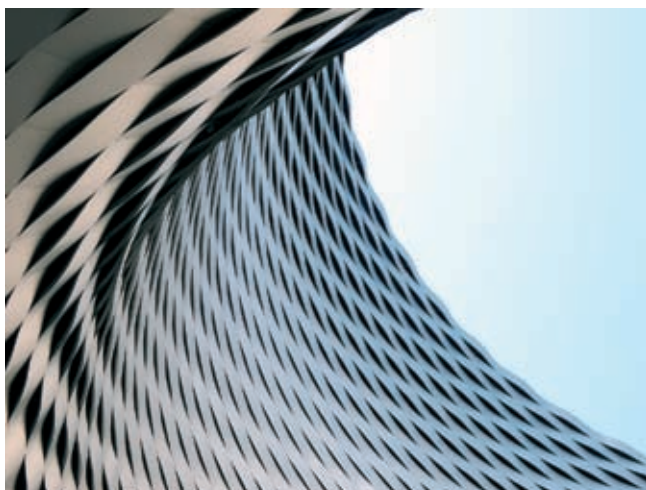
Rys. 8. Atrium centrum wystawowego New Hall Messe w Bazylei – widok ogólny [10]

Centrum wystawowe New Hall Messe w Bazylei

Również w przypadku centrum wystawowego New Hall Messe w Bazylei kształt i forma budynku determinowana jest przez elewacje wykonane z aluminium. Zaprojektowane i wykonane one zostały z pasów blachy aluminiowej, która wygięta i poskręcana nadała interesujący i dynamiczny rytm całemu budynkowi (rys. 6). Istotnym problemem i zagadnieniem, z jakim spotkali się inżynierowie, było zaprojektowanie i dostosowanie do warunków oświetleniowych odpowiedniego kształtu poszczególnych ścian i pasm płyt elewacyjnych. Zastosowanie anodowanych i półmatowych blach aluminiowych umożliwiło uzyskanie korzystnego efektu wizualnego, nasłonecznienia poszczególnych części budynku oraz zminimalizowanie efektu odbijania światła i olśnienia. Oryginalny efekt w zakresie kształtowania elewacji osiągnięto dzięki zastosowaniu wygiętych blach, stwarzających wrażenie przeplatania się poszczególnych pasm. W zależności od miejsca obserwacji, patrząc na niektóre części fasady budynku New Hall Messe w Bazylei mamy wrażenie, że jest on pokryty ażurową „skórą” składającą się z aluminiowych łusek (rys. 7). Charakterystyczne i bardzo spektakularne jest atrium znajdujące się mniej więcej w środku budynku. Jego zwieńczeniem jest kolista otwór, którego ściany uformowane zostały również w postaci ażurowych pasm blach aluminiowej (rys. 8 i 9).

Galeria Korona w Kielcach

Śmiało można zaryzykować stwierdzenie, że przedstawione wyżej obiekty, w tym zwłaszcza centrum wystawowe New Hall Messe w Bazylei i Akwarium Blue Planet w Danii, to czołówka światowej architektury. Być



Rys. 9. Atrium centrum wystawowego New Hall Messe w Bazyli – korona elewacji z płyt aluminiowych [11]

może długo będziemy musieli czekać na podobne realizacje w naszym kraju. Należy jednak zauważyć ciekawe i zaawansowane technicznie obiekty realizowane w Polsce, czego przykładem może być Galeria Korona w Kielcach, gdzie zastosowano na dużą skalę aluminium do wykonania fasady budynku.



Rys. 10. Galeria Korona w Kielcach – widok fasady (fot. autora)



Rys. 11. Galeria Korona w Kielcach – fasada z perforowanych płyt kompozytowych alucobond (fot. autora)

Lokalizacja w centrum miasta tak dużego obiektu jak Galeria Korona zawsze nastęrcza pewne trudności, nawet w przypadku miasta wielkości Kielc. Problem ten udało się rozwiązać architektom, którzy umiejętnie wkomponowali go w otoczenie. Uniknięto efektu przytłoczenia, bo Galeria Korona nie dominuje nad innymi budynkami i pobliskimi obiektami. Efekt ten osiągnięty został dzięki umiejętnemu usytuowaniu budynku na działce jak również formie elewacji głównej (fasady). Budynek galerii i fasada zaprojektowane zostały w nawiązaniu do korony, będącej herbem miasta (rys. 10).

Wygląd i bryła budynku w dużej mierze zostały ukształtowane dzięki wykonaniu fasady w formie ekranu z płyt aluminiowych mocowanych do podkonstrukcji stalowej. Zastosowano kompozytowe płyty alucobond (rys. 11), gdzie warstwy zewnętrzne stanowi blacha aluminiowa zespolona z rdzeniem z tworzywa sztucznego. Płyty perforowano, przez co uzyskano efekt lekkości bryły budynku oraz przepuszczalności świetlnej ekranów. Dzięki zastosowaniu aluminium w zależności od oświetlenia budynek przybiera barwę delikatnej żółci lub złota, a w nocy można podziwiać różnokolorowe iluminacje.

5. Podsumowanie

Aluminium to obecnie jeden z podstawowych materiałów używanych w budownictwie i architekturze, którego obszar wykorzystania sukcesywnie się powiększa. Korzystne właściwości pozwalają na jego szerokie zastosowanie do wykonywania elementów bezpośrednio narażonych na działanie czynników klimatycznych, takich jak m.in. elewacje. Dzięki bardzo dużym możliwościom obróbki i kształtowania, panele aluminiowe doskonale nadają się do wykonywania najbardziej futurystycznych form elewacji, umożliwiając realizację dowolnych wręcz wizji architektonicznych, których kilka przykładów zaprezentowano w artykule. Interesujące są również nowoczesne rozwiązania w zakresie łączenia aluminium z innymi materiałami, czego efektem są szeroko stosowane obecnie płyty kompozytowe, stanowiące połączenie blach aluminiowych z tworzywem sztucznym.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kossakowski P., Aluminium – materiał ekologiczny. Przegląd Budowlany nr 10/2013
- [2] Żmuda J., Podstawy projektowania konstrukcji metalowych. Arkady, Warszawa 1997
- [3] Siwowski T., Drogowe mosty aluminiowe – wczoraj, dziś jutro. Drogi i Mosty, nr 1/200.
- [4] <http://greenbuilding.world-aluminium.org>
- [5] <http://cdn2.hubspot.net>
- [6] <http://orphek.com>
- [7] <http://www.architectural.com>
- [8] <http://www.byggeplads.dk>
- [9] <http://static.dezeen.com>
- [10] <http://www.catalogodiseno.com>
- [11] <http://farm3.staticflickr.com>