

Konteneryzacja w budownictwie polarnym

Dr inż. arch. Andrzej Kuryłek
JUKU Architekci, Warszawa

Budownictwo polarne określić można w daleko idącym skrócie, jako realizowane w wysokich szerokościach geograficznych Ziemi. W Antarktyce służy niemal wyłącznie celom naukowo-badawczym oraz ich logistycznemu wsparciu (zapisy Układu Antarktycznego [18], Protokołu Madryckiego [15]). W Arktyce charakter realizacji jest nieporównywalnie szerszy, obejmując między innymi unikalne miasta i osady, obiekty związane z aktywnością militarną, eksploracją złóż naturalnych, obsługą morskich oraz lotniczych szlaków transportowych, akwizycją danych meteorologicznych, badaniami naukowymi oraz wsparciem SAR. Budynki i budowle polarne mają charakter czasowy (obozy terenowe), sezonowy lub permanentny. Parametr ten jest kluczowy z punktu widzenia cech ogólnobudowlanych oraz wymaganego wyposażenia. Co zrozumiałe, najbardziej zaawansowane są obiekty całoroczne. Niezależnie od ram czasowych, polarna aktywność uzależniona jest w stopniu krytycznym od logistyki morskiej oraz powietrznej (jedną z cech charakterystycznych obszarów polarnych jest brak połączeń drogowych z obszarami zurbanizowanymi). W budowie oraz obsłudze stacji oraz baz polarnych zasadnicza rola (pod względem skali przewozów) przypada logistyce morskiej. Tak dostarczane jest na ogół paliwo, materiały budowlane i eksploatacyjne oraz zaopatrzenie niezbędne do przeżycia i pracy załóg. Dotyczy to również obiektów usytuowanych w głębi

Grenlandii lub Antarktydy, nawet jeśli okresowo obsługiwane są drogą lotniczą. Pośrednim ogniwem łańcucha dostaw pomiędzy wybrzeżem a habitatami w głębi lądu (lądolodu, lodu szelfowego) są wówczas konwoje lądowe [10]. W budowlanej aktywności polarnej wykorzystywane są rodzaje konteneryzacji, które sprowadzić można do trzech systemów:

- lotniczego
- morskiego
- budowlanego.

KONTENERYZACJA LOTNICZA

Lotnictwo cywilne posługuje się wysoce przemysłowymi, wypracowanymi na przestrzeni dekad standardami konteneryzacji. Ze względu na parametry typowych cywilnych pasażerskich statków powietrznych (przede wszystkim średnice kadłubów, daleko idącą w lotnictwie redukcję masy), najważniejszym stosowanym obecnie systemem standaryzującym logistykę lotniczą jest ULD *Unit Load Device*. Jednostkami ULD są palety lub charakterystyczne wieloboczne kontenery (zgodnie z regulacjami IATA [7] podstawowy podział dotyczy zastosowania w samolotach: szerokokadłubowych, wąskokadłubowych i przeznaczonych do połączeń regionalnych). Paleta lotnicza to sztywne

plyta wykonana z elementów ze stopów lekkich, posiadająca standaryzowane zaczepy przeznaczone do jej stabilizacji względem kadłuba oraz mocowania pasów lub siatek zabezpieczających ładunek [1, 4]. Kontenery lotnicze tworzą konstrukcję zamkniętą (między innymi ze względów bezpieczeństwa pożarowego oraz przeciwdziałania skutkom eksplozji), wykonaną z aluminium lub kombinacji aluminium z poliwęglanami (typu Lexan) lub aramidami (na przykład Twaron, Endumax [17]). Jeżeli ładunek wymaga transportu w temperaturze kontrolowanej, kontenery lotnicze wyposażone są w urządzenia zapewniające takie warunki. W odniesieniu do obsługi obiektów polarnych ULD ma jednak znaczenie drugorzędne. Wynika to z faktu, że podstawą polarnej logistyki lotniczej są samoloty transportowe (czyli niepasażerskie, z częściowo wydzielonymi w kadłubie lukami bagażowymi), których parametry przewozowe zdefiniowane były pierwotnie przez użytkowników militarnych. Jako pochodna wymiarów oraz masy transportowanych pojazdów, śmigłowców, uzbrojenia i palet z ładunkiem. Niektóre modele samolotów transportowych są wręcz zdolne do przewozu kilku standaryzowanych kontenerów morsko-lądowych. Cecha ta jest przydatna w szczególności do transportu elementów zabudowy typu kontenerowego (stanowiska dowodzenia, kierowania systemami UAV, szpitale polowe, bloki prądotwórcze itp.). Budownictwo polarne realizowane z definicji w trudnych warunkach klimatycznych, przy permanentnym braku lokalnych dróg utwardzonych, podczas krótkich sezonów budowlanych (dzień polarny) posiada zbliżone wymagania w stosunku do logistycznego wsparcia pola walki. Z tego powodu wykorzystanie wojskowych samolotów transportowych jest naturalne, w konsekwencji popularne w warunkach arktycznych i antarktycznych. W szczególności podczas budowy, rozbudowy, obsługi arktycznych baz wojskowych oraz stacji naukowo-badawczych usytuowanych w głębi lądolodu antarktycznego, znacznie rzadziej grenlandzkiego, ze względu na niewielką liczbę działających tam obecnie obiektów (w połowie XX wieku prowadzona była

dość intensywna aktywność wojskowa w ramach utajnionego do lat 90. programu znanego jako *Project Iceworm*).

KONTENERYZACJA MORSKA

Od lat 60. XX wieku kluczowym elementem szeroko rozumianej logistyki morskiej oraz lądowej są standaryzowane kontenery wielokrotnego użytku, umożliwiające przewóz różnymi środkami transportu bez konieczności przeładowywania zawartego w nich ładunku. Zgodnie ze standardami ISO, długość typowych kontenerów morskich jest wielokrotnością 10 stóp (10, 20, 30, 40), a wysokość wynosi 8 lub 8,5 stopy [9]. Użytkowane są także kontenery o innych wymiarach (wysokość 9,5 stopy, długość 49 stóp), te jednak mogą nie mieścić się w lukach statków przystosowanych do żeglugi po morzach stref podbiegunowych (posiadających odpowiednie do realizowanych zadań klasy lodowe). Na przykład użytkowany w ramach obsługi polskiej stacji arktycznej Hornsund statek „Horyzont II” może pomieścić jedynie dwa standardowe kontenery 20-stopowe. Typowe kontenery morskie wykonywane są ze stali lub aluminium, a dopuszczalne masy przewożonego w nich ładunku podano w tabl. 1. Znajomość tych parametrów jest kluczowa w całym procesie projektowania budowlanych obiektów polarnych, ponieważ determinują one gabaryty elementów stosowanych na polarnym placu budowy. Inaczej mówiąc, elementy składowe budynków lub budowli polarnych, których wymiary oraz masa są rozbieżne ze standaryzacją kontenerową są trudne do dostarczenia i rozładunku *in situ*, co czyni ich użycie kosztownym, a w wielu przypadkach wręcz niemożliwym.

W warunkach polarnych wykorzystywane są także cysterny walcowe wpisane w ramy zgodne z podaną standaryzacją, a wręcz cysterny prostopadłościennne, wykorzystujące maksymalnie kubaturę wpisaną w standaryzację kontenerów morskich.

Tabl. 1. Charakterystyka wymiarowa wybranych kontenerów. Źródło: Opracowanie własne na podstawie [9]

Długość		Szerokość		Wysokość		Materiał	Masa kontenera [t]	Maksymalna masa ładunku [t]	Maksymalna masa całkowita [t]		
[ft]	[m]	[ft]	[m]	[ft]	[m]						
20	6,10	8,0	2,44	8,0	2,44	stal	2,0	18,3	20,3		
				8,5	2,59	stal	2,3	28,2	30,5		
						aluminium	1,9	18,4	20,3		
40	12,19			8,0	2,44	stal	3,4	27,1	30,5		
						aluminium	2,8	27,7	30,5		
				8,5	2,59	stal	3,6	26,9	30,5		
						aluminium	3,4	27,1	30,5		
				9,5	2,90	stal	3,9	28,6	32,5		
						aluminium	3,9	26,6	30,5		
49	14,95			8,5	2,59	8,5	2,59	stal	–	–	30,5
						9,5	2,90	stal	–	–	30,5

Cechy budowlanych realizacji polarnych determinują: typ lokalnego klimatu, jego kategoria, rodzaj podłoża (lód morski, lądolód, stabilne lodowce szelfowe, stabilne i niestabilne podłoża osadowe, podłoża skalne, wieczna zmarzlina [11, 12]), zdolność ekonomiczna, logistyczna oraz proceduralna inwestora (lub operatora), zadania jakie obiekt ma realizować. Stacje oraz bazy arktyczne i antarktyczne można usystematyzować według wielu parametrów, w tym także pod względem formy [10]:

- zindywidualizowana,
- tradycyjna
- namiotowa,
- modułowo-barakowa,
- modułowa w powłoce,
- technologie przemysłowe,
- kontenerowa w powłoce,
- kontenerowa.

Forma kontenerowa, pomimo swojej prostoty, posiada wypracowaną pozycję w budownictwie polarnym [8]. Możliwe do wpisania w nią funkcje są niemal nieograniczone (mieszkalne, laboratoryjne, techniczne, magazynowe, administracyjne, hydroponiczne, szpitalne, inne [6, 16]). Nawet stacje, których budynki główne mają zaawansowane technologicznie cechy form zindywidualizowanych, korzystają na ogół z całej gamy obiektów typu kontenerowego w ramach zaplecza techniczno-magazynowego. Za przykład podać można budynek hydroponicznej hodowli roślin projektu EDEN-ISS, działający przy antarktycznej stacji Neumayer III lub kubaturową rozbudowę chińskiej stacji Taishan z 2019 roku, zaplecze stacji Concordia lub stacji Princess Elisabeth.

Popularną formą zabudowy polarnej są pojedyncze kontenery lub ich zgrupowania, przy czym na ogół stosowane są kontenery 20-stopowe. Zbieżności kontenerów użytkowych z transportowymi ogranicza się do wymiarów i poszycia zewnętrznego. Przeznaczone do celów bytowych są odpowiednio ocieplane, wykańcane, wyposażane, posiadają zazwyczaj instalacje wewnętrzne, ergonomiczne otwory okienne oraz drzwiowe [3]. Rynek obfituje w producentów takich rozwiązań, które standardowo obsługują place budów, terenowe bazy wydobywcze (na przykład gazu łupkowego złóż Kanady i Alaski (na przykład w ramach działającego jako obszar niemunicypalny Deadhorse)). Na rynku funkcjonują również firmy oferujące wyspecjalizowane obiekty kontenerowe zaprojektowane kompleksowo do celów militarnych oraz medycznych [14]. Rozwiązania te są na tyle elastyczne oraz uniwersalne, że łatwo można je implementować w środowisku polarnym.

Istotnymi zaletami systemowych rozwiązań kontenerowych jest ich sztywność, szczelność, kompatybilność modułów, a także możliwość różnorodnej konfiguracji rzutów i stosowanie układów wielopoziomowych. Ograniczenia wynikają bardziej z wymogów ochrony przeciwpożarowej, bezpieczeństwa oraz higieny pracy, sposobu dostępu z zewnątrz, niż ograniczeń konstrukcyjnych. Ze względu na ochronę podłoża przed ciepłem, ale także przeciwdziałanie zasypywaniu śniegiem, czy wręcz „tonięciu” w lodowym podłożu, polarne realizacje kontenerowe są na ogół wynoszone ponad poziom terenu za pomocą słupów,

ram, przestrzennych rusztów, a wręcz systemów lewarujących. W trudnym terenie ograniczeniem może okazać się konieczność zapewnienia dojazdu do miejsca posadowienia, utwardzonego odpowiednio do parametrów planowanego środka transportu, a także przestrzeń potrzebna do swobodnej pracy dźwigu wyładowującego oraz ustawiającego kontenerowe moduły. W przypadku użycia śmigłowca (na przykład maszyn typu Kamov Ka-32, o udźwigu ładunku podwieszanego do 5 ton [13]), należy już na etapie projektowym skoordynować cechy elementów składowych obiektu z wymogami operatora przewidywanego do użycia statku powietrznego. Zaletą rozwiązań kontenerowych jest różnorodność możliwych do zastosowania metod podparcia: punktowego, liniowego lub w formie płaszczyzny. Standaryzowane moduły bytowe wymagają przyłączy trójfazowych 380 V (zalecana moc poboru nie mniej niż 10 kW), a także przyłącza elektrycznego 230 V. Dane te są jednak poglądowe, ponieważ realizacje polarne różnią się istotnie pod względem przepisów obowiązujących w kraju operatora oraz wymogów środowiskowych w docelowym miejscu posadowienia (sieć elektroenergetyczna, typ generatorów, charakterystyka izolacji cieplnej oraz akustycznej, dopasowanie do wymogów BHP oraz PPOŻ, schemat pracy załogi w ujęciu krótko oraz długoterminowym). Kluczowe pod tym względem są założone metody dostarczania lub pozyskiwania wody, odprowadzania i utylizacji ścieków oraz gromadzenia odpadów stałych [19].

Spotykane kompozycje kontenerowych stacji i baz polegają na ustawieniu kontenerów liniowo lub w grupach liczących po kilka, kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt. Grupy te odpowiadają na ogół sektorom funkcjonalnym [10]. Spotykane są układy do trzech kondygnacji, dachy na ogół są płaskie, rzadziej dwuspadowe o niewielkim nachyleniu (w przypadku centralnej części bazy Siewiernyj Klewier zastosowano dach trójpłaszczyznowy). Stosowane podparcie jest na ogół punktowe, ewentualnie z użyciem platform stalowych, wyniesionych ponad teren (zależnie od lokalnych warunków terenowych i klimatycznych). Kwestia estetyki obiektów kontenerowych jest dyskusyjna, mogą być one także problematyczne pod względem bezpieczeństwa pożarowego. Zwarte układy, sąsiadujące ze sobą bezpośrednio moduły o relatywnie niewielkiej kubaturze (upakowane elementy wyposażenia, bliskość elementów grzewczych) często mieszczące obciążoną infrastrukturę techniczną (na przykład spaliny generatory prądotwórcze), instalacje paliwowe mogą sprzyjać łatwemu zapłonowi oraz szybkiemu rozprzestrzenianiu się ognia. Za ciekawe (nie zawsze idealne pod względem funkcjonalnym) można wskazać poniższe budowlane realizacje kontenerowe.

Przykłady arktyczne:

- całoroczne Obserwatorium im. Ernsta Krenkela (Rosja),
- całoroczna baza wojskowa Siewiernyj Klewier (Rosja),
- całoroczna baza wojskowa Arkticzskij Trilistnik (Rosja).

Przykłady antarktyczne [2]:

- całoroczna stacja naukowa Troll (operator norweski),
- sezonowa stacja naukowa Mario Zucchelli (operator włoski),
- sezonowa stacja naukowa Mountain Evening/Vechernyaya (operator białoruski).

Ostatni przykład to obiekt należący do Białoruskiej Akademii Nauk, oddalony 28 km od rosyjskiej stacji Mołodiożnaja.

Realizacja składa się zaledwie z trzech kontenerów ustawionych na platformie stalowej, niwelującej nierówności skalnego podłoża. Oddano ją do użytku w 2015 roku, zaprojektowano jako obiekt budżetowy, ale mogący pracować przy obciążeniu temperaturą do -60°C, wiatrem do 80 m/s [5]. Pokazuje to, że nawet niewielkie realizacje kontenerowe są uzasadnioną oraz racjonalną odpowiedzią na potrzeby polarnych inwestorów dysponujących ograniczonymi środkami finansowymi oraz logistycznymi.

Analizując pracujące długoterminowo bazy i stacje polarne, wychwycić można prawidłowość, zgodnie z którą zaprojektowane indywidualnie, nawet funkcjonujące początkowo jako czyste przestrzenne obiekty, uzupełniane są w funkcji czasu zabudową wtórną, która ma na ogół formę kontenerową. Jednocześnie znaczna część stacji (w tym uznawane obecnie za unikalne architektonicznie) dotarła do miejsc docelowego montażu jako prefabrykaty dostarczone w kontenerach. Te z kolei wykorzystane bywają jako elementy składowe założeń przestrzennych. Szczególną formą polarnych realizacji są formy kontenerowe w powłoce [10], które uznać należy za jedną z ciekawszych metod kształtowania układów stacji polarnych. Wybitnym przykładem są dwie antarktyczne stacje naukowo-badawcze, które uznać można za wyznacznik wczesnych standardów budownictwa polarnego:

- Neumayer III (operator niemiecki),
- Bharati (operator indyjski).

PODSUMOWANIE

Ze względu na specyfikę obszarów polarnych, polegającą między innymi na niedostępności tradycyjnej infrastruktury drogowej, podstawą łańcuchów dostaw jest logistyka morska oraz lotnicza. Te z kolei bazują na usystematyzowaniu metod przewozu, które w skrócie określić można jako konteneryzację. Wypracowanie i usystematyzowanie metod przewozów morskich oraz drogowych, polegające na standaryzacji kontenerowej, wpłynęło na sposób kształtowania modułów użytkowych, określanych powszechnie jako kontenery budowlane. Złożone z nich realizacje cechuje na ogół prostota, a jednocześnie wysoka racjonalność inwestycyjna oraz użytkowa. Są łatwe w transporcie, szybkie w montażu i demontażu (łatwe do usunięcia z chwilą osiągnięcia założonego okresu eksploatacji), wykonane w całości przez profesjonalne zakłady wytwórcze (redukcja błędów wykonawczych *in situ*). Dla specjalistów z dziedziny wojskowości, inżynierii lądowej czy logistyki morskiej stosowanie systemów kontenerowych (w tym bytowych) jest zrozumiałe i naturalne. Architekci uznają jednak nader często takie rozwiązania za nieelegantkie lub ograniczające swobodę twórczą. Racjonalność dysponowania środkami polarnego inwestora sugeruje jednak, aby przy braku przeciwskażeń wynikających ze środowiskowych oraz krajobrazowych przepisów lokalnych, rozwiązania kontenerowe lub modułowe traktować jako wysoce uzasadnione. Większość budynków polarnych z założenia jest tymczasowa, a zatem ważną częścią projektu architektoniczno-budowlanego jest opracowanie prostych, nieszkodliwych dla środowiska zasad przyszłego demontażu, wywozu i utylizacji. Konteneryzacja jest być może mało elegancką, ale gotową oraz sprawdzoną odpowiedzią. Punktem wyjścia do projektowania rozwiązań polarnych mogą

być sprawdzone systemy zabudowy kontenerowej opracowane dla wojskowości, na potrzeby tymczasowych szpitali lub szeroka gama systemów wypracowanych na potrzeby wsparcia tradycyjnego placu budowy.

LITERATURA

1. Airplane Characteristics For Airport Planning AC AIRBUS A310, Issue: Dec 79.
2. Antarctic Station Catalogue, COMNAP, Nowa Zelandia, sierpień 2017.
3. Bernardo L. F. A., Oliveira L. A. P., Nepomuceno M. C. S., Andrade J. M. A.: Use of Refurbished Shipping Containers for the Construction of Housing Buildings: Details for the Structural Project, w: Journal of Civil Engineering and Management, 2013, iFirst: 1-19.
4. Boeing. Pallets and containers, StartupBoeing, marzec 2012.
5. Construction and Operation of Belarusian Antarctic Research Station at Mount Vechernyaya, Enderby Land. Final Comprehensive Environmental Evaluation, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk 2015.
6. Dörries C., Zahradnik S.: Container and Modular Buildings: Construction and Design Manual, DOM publishers, 2016.
7. IATA, Airport Handling Manual Effective, 1 January-31 December 2017, 37th Edition; Publikacja podlega stałej aktualizacji wraz ze zmianami wytycznych organizacji lotniczych oraz wymogów międzynarodowych.
8. Kestle L.: Remote Site Design Management, A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy In Antarctic Studies in the University of Canterbury, New Zealand, Christchurch 2009.
9. Krośnicka K. A.: Przestrzenne aspekty kształtowania i rozwoju morskich terminali kontenerowych. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2016.
10. Kuryłek A.: Architektura w środowisku ekstremalnym. Stacje polarne., Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2020.
11. Kuryłek A.: Podłoże budynków i budowli polarnych. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 1/2021, 17-24.
12. Materiały zebrane na potrzeby Uniwersytetu Morskiego w Gdyni (Akademii Morskiej w Gdyni) przez Panią prof. Annę Styszyńską. Materiał oparto na międzynarodowej terminologii lodowej, wydanej przez WMO (WMO Sea-ice Nomenclature – WMO/OMM/BMO – Nr 259, 1970 r.; Suplement Nr 5, 1989 r.).
13. Oficjalna strona producenta helikopterów Kamow: <https://kahelicopters.com/ka-32/>
14. Oficjalne strony przykładowych producentów: Tecno: <https://www.tecnove.com/en/homepage/> Karmod: <https://karmod.eu/products/living-containers>
15. Protokół o ochronie środowiska do Układu w sprawie Antarktyki, sporządzony w Madrycie 4 października 1991 r., tzw. Protokół Madrycki (ang. The Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty), obowiązujący od roku 1998.
16. Smith J. D.: Shipping containers as Building Components, V19.0 updated 30-04-06, Department of the Built Environment, University of Brighton, 2006.
17. Twaron® and Endumax® – based air freight containers – oficjalna strona internetowa producenta: <https://www.teijinaramid.com/en/applications/air-cargo-containers/>
18. Układ Antarktyczny podpisany w Waszyngtonie 1 grudnia 1959 r. (ang. Antarctic Treaty).
19. Waste Management in Antarctica 2006 Workshop Proceedings, COM-NAP Antarctic Environmental Officers Network (AEON) 10-11 July 2006.