

dr hab. inż. Artur Piekarczyk, prof. ITB¹⁾
ORCID: 0000-0003-0988-4511

Dachy walcowe – przegląd typowych rozwiązań konstrukcyjnych

Cylindrical roofs – overview of typical design solutions

DOI: 10.15199/33.2022.06.02

Streszczenie. Dachy walcowe po raz pierwszy powstały ponad 100 lat temu jako tymczasowe obiekty do zastosowań wojskowych. Wraz z postępem technicznym udoskonalano konstrukcję, która obecnie jest stosowana w budownictwie cywilnym i nosi nazwę potoczna K-span. W systemie zastosowano samonośne głęboko profilowane blachy stalowe, które są zazwyczaj wytwarzane i montowane w miejscu wbudowania. K-span zyskał popularność dzięki niewielkim kosztom produkcji oraz łatwości i szybkości montażu. Mimo wieloletniej praktyki, nadal występują awarie tego typu konstrukcji. Wynika to głównie z nietypowego ukształtowania profilu nośnego. Problemy projektowe systemu K-span były przedmiotem wielu opracowań naukowych i nadal pozostają aktualne.

Słowa kluczowe: dachy walcowe; Nissen Bow Hut; Quonset Hut; K-span; profile podwójnie gięte.

Abstract. Cylindrical roofs were designed more than 100 years ago as temporary structures for military use. Along with technical progress, the structure was improved, which is now used in civil engineering and is commonly known as the K-span. The system uses deep corrugated profiles that are usually manufactured and assembled at the construction site. K-span has gained popularity because of its low production cost and easy installation. Despite many years of practice, failures of this type of structure still occur. This is mainly due to the unusual shape of the profile. The design problems of the K-span system have been the subject of many scientific studies and remain valid today.

Keywords: cylindrical roofs; Nissen Bow Hut; Quonset Hut; K-span; double corrugated profile.

Założenia techniczne dotyczące lekkich konstrukcji dachu zostały precyzyjnie określone przez wymagania inżynierii wojskowej. Zgodnie z nimi zadanie hali powinno być w kształcie łuku w celu uzyskania odpowiedniej sztywności i nośności oraz umożliwić łatwy i szybki montaż. Pierwsze koncepcje konstrukcyjne spełniające te wymagania zostały opracowane przez Petera Normana Nisse- na z British Royal Engineers [1, 2] i pochodziły z czasów I wojny światowej. Zaprojektowano konstrukcję łukową z pokryciem z blachy stalowej pod nazwą **Nissen Bow Hut** (fotografia 1). Opracowane rozwiązanie było podstawą dalszego rozwoju tych konstrukcji. W latach



Fot. 1. System konstrukcyjny Nissen Bow Hut z czasów I wojny światowej [2]
Photo 1. Nissen Bow Hut construction system from World War I [2]

czterdziestych XX w. zespół inżynierów pod kierownictwem Otto Brandenber- gera i patronatem George’a A. Fullera zaproponował modyfikację założeń konstrukcyjnych polegającą na zastosowaniu przetłoczenia podłużnego oraz zakrzywienia blach (fotografia 2) i w efekcie opracował system **Quonset Hut**.



Fot. 2. System Quonset Hut – montaż okładzin [1]
Photo 2. Quonset Hut system – assembly of claddings [1]

W praktyce okazało się, że blachy z przetłoczeniem podłużnym i zakrzywieniem wykazują cechy samonośne. W związku z tym możliwe stało się usunięcie kłopotliwej i czasochłonnej w montażu ramowej podkonstrukcji wsporczej. W efekcie powstała technologia przekryć samonośnych bez konstrukcji wsporczej, stosowana głównie w budownictwie wojskowym. Z upływem czasu koncepcja samonośnych przekryć

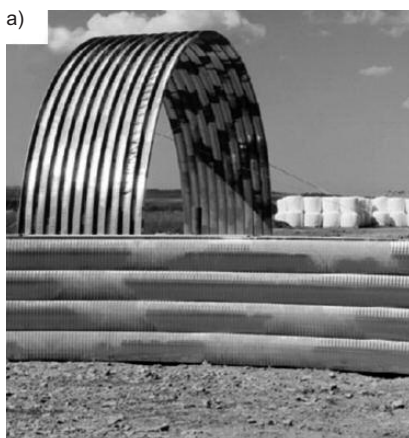
dachowych zyskała dużą popularność w budownictwie rolniczym oraz użyteczności publicznej głównie ze względu na skrócenie czasu potrzebnego do wzniesienia obiektu i redukcję kosztów inwestycji. Obecnie system konstrukcyjny najczęściej występuje pod nazwą **K-span** i jest dostępny w różnych odmianach praktycznie na całym świecie.

W artykule przedstawiono **najpopularniejsze rozwiązania łupinowych samonośnych konstrukcji z blach profilowanych** oraz krótką charakterystykę konstrukcyjną rozwiązań najczęściej stosowanych w Polsce.

Przegląd typowych rozwiązań stosowanych w Polsce

System **ABM (Automatic Buildings Machine – fotografia 3)** wykorzystuje głęboko profilowane trapezowe blachy stalowe zakrzywiane w łuk kołowy [3, 4]. Pojedyncze profile o długości odpowiadającej rozpiętości przekrycia mogą być produkowane z jednego arkusza blachy za pośrednictwem mobilnej walcarki, bezpośrednio na placu budowy. Profile łączone są w pakiety, które następnie scala się ze sobą, tworząc ciągłą samonośną powłokę walcową (fotografie 3 i 4).

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; a.piekarczyk@itb.pl

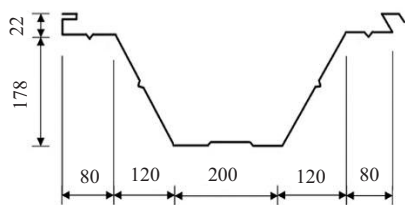


Fot. 3. Montaż dachu w systemie ABM 120 [5]
Photo 3. Installation of the roof in ABM 120 system [5]



Fot. 4. Montaż przekrycia w systemie ABM 240 [6]
Photo 4. Installation of the cover in ABM 240 system [6]

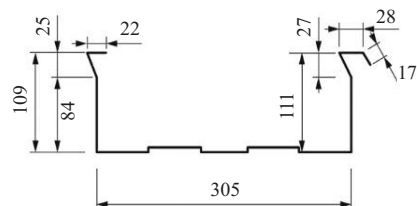
W Polsce system K-span stosowany jest w dwóch odmianach: ABM 240 i ABM 120. **ABM 240** wytwarzany jest z blachy stalowej o grubości rdzenia $0,5 \div 1,5$ mm w procesie walcowania na zimno [7] i umożliwia uzyskanie profili łukowych o rozpiętości $15 \div 36$ m i wysokości $6 \div 12$ m. Minimalny promień gięcia wynosi 7,6 m. W pierwszym etapie powstaje prostoliniowy odcinek profilu o przekroju korytkowym (rysunek 1). W drugim etapie profilowi nadaje się krzywiznę o zadanym promieniu przez zagniatanie wewnętrznych powierzchni przekroju. W ten sposób uży-



Rys. 1. Przekrój poprzeczny profilu w systemie ABM 240
Fig. 1. Profile cross-section in ABM 240 system

skuje się element łukowy z charakterystycznym karbowaniem środkowym. Pojedyncze profile scala się ze sobą w pakiety przez zagniatanie krawędzi swobodnych, w których znajduje się 3 – 5 profili w zależności od wymiarów łuku. Pakiety transportowane są do miejsca wbudowania za pośrednictwem specjalnych zawiesz (fotografia 4).

System ABM 120 wytwarzany jest w procesie walcowania na zimno przez mobilną walcarkę analogicznie jak w przypadku ABM 240. Różnica polega na zastosowaniu innej geometrii przekroju poprzecznego profilu (rysunek 2) oraz możliwości do uzyskania wymiarów zewnętrznych. Rozpiętość przekryć łukowych w systemie ABM 120 wynosi $12 \div 24$ m. Profil wytwarzany jest z blachy stalowej o grubości rdzenia $0,5 \div 1,0$ mm. Scalanie i montaż elementów odbywa się analogicznie jak w przypadku systemu ABM 240.



Rys. 2. System ABM 120 – wymiary przekroju poprzecznego
Fig. 2. ABM 120 system – cross-section dimensions

Technologia produkcji systemu UBM (Ultimate Building Machine), podobnie jak w przypadku ABM, bazuje na wytwarzaniu profili w całości przez mobilne walcarki i umożliwia ich produkcję o zmiennym promieniu gięcia wraz z elementami prostoliniowymi. Możliwe jest wyprodukowanie profilu o kształcie przekroju poprzecznego budynku (fotografia 5). Grubość rdzenia



Fot. 5. Obiekt wzniesiony w systemie UBM [8]
Photo 5. Object erected in the UBM system [8]

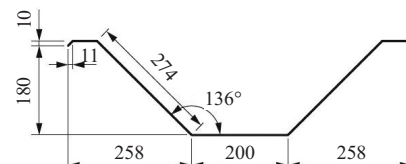
blach wynosi $0,5 \div 1,0$ mm, a rozpiętość konstrukcji $7 \div 20$ m.

System TG [4, 9] (fotografia 6) wytwarzany jest ze stali o grubości rdzenia $0,8 \div 2,0$ mm na stacjonarnych prasach jako element prefabrykowany o długości ok. 3 m. Pojedyncze elementy scalane są ze sobą śrubami w pełnowymiarowe zadanie. Wymiary hal łukowych w systemie TG: rozpiętość $9,0 \div 42$ m; wysokość $4,0 \div 12,9$ m. Profile wytwarzane są jako elementy prefabrykowane. Przekrój poprzeczny profilu i widok powierzchni po zmontowaniu przedstawiono na rysunku 3 i fotografiach 6 i 7.



Fot. 6. System TG – powierzchnia po zmontowaniu

Źródło: materiały własne
Photo 6. TG system – the surface after assembly



Rys. 3. System TG – przekrój poprzeczny
Fig. 3. TG system – cross-section

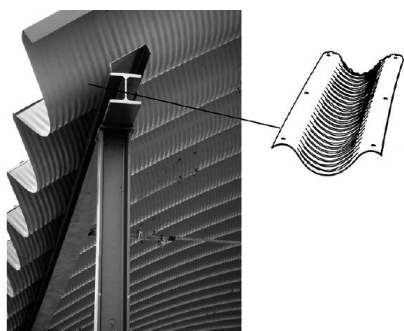


Fot. 7. Montaż dachu łukowego w systemie TG [10]

Photo 7. Installation of an arched roof in TG system [10]

Odmiana rozwiązań konstrukcyjnych K-span o nazwie Wonder Buildings (WB) [11] wykorzystuje (podobnie jak TG) elementy prefabrykowane łączone śrubami. W odróżnieniu od innych rozwiązań (z profilami trapezowymi), przekrój poprzeczny w kształcie fali wytwarzany jest z blachy o grubo-

ści 0,5 ÷ 1,5 mm (fotografia 8). System WB umożliwia budowę segmentów hal pełnych – modułów ścienna-dachowych o rozpiętości 5,2 ÷ 18,9 m i wysokości 3,0 ÷ 6,7 m oraz dachów łukowych o rozpiętości 9,1 ÷ 32 m i wysokości 4,3 ÷ 7,3 m. W tabeli zestawiono podstawowe parametry techniczne różnych odmian systemu K-span.



Fot. 8. Przekrycie hali w systemie Wonder Buildings [12] – szczegół krawdzi okapowej
Photo 8. Hall covering in the Wonder Buildings system [12] – detail of the eaves edge

Podstawowe parametry techniczne systemu K-span

Basic technical parameters of the K-span system

Odmiana systemu K-span	Grubość rdzenia blachy [mm]	Maksymalna rozpiętość ^{*)} [m]
ABM 240	0,5 – 1,5	36
ABM 120	0,5 – 1,0	24
UBM	0,5 – 1,0	20
TG	0,8 – 2,0	42
WB	0,5 – 1,5	32

^{*)} maksymalna rozpiętość konstrukcji jest równa wyniosłości łuku

Dobór rozpiętości i wysokości konstrukcji powinien być realizowany na podstawie obliczeń statycznych w zależności od zakresu obciążeń i warunków montażu. W Polsce najbardziej popularne są systemy K-span odmiany: ABM 240, ABM 120 oraz TG [13]. System K-span ABM ewoluował w kierunku stosowania przekrojów o różnym kształcie i wymiarach poprzecznych. Obecnie na świecie, a szczególnie na rynkach azjatyckich, dostępnych jest kilkaset tego typu rozwiązań.

Dyskusja

Przedstawione przykłady przekryć łukowych z profilowanych blach stalowych nie wyczerpują wszystkich możliwych rozwiązań w tym zakresie. Dy-

namicznie rozwijający się rynek lekkich stalowych hal stymuluje powstawanie nowych systemów, które najczęściej są modyfikacjami już istniejących. Modyfikacje polegają głównie na stosowaniu przekroju poprzecznego o różnych wymiarach i kształcie, co częściowo wpływa na możliwości konstrukcyjne (maksymalna rozpiętość) i zużycie materiału. Oprócz zmian ukierunkowanych na możliwości konstrukcyjne i oszczędność materiału, powstają również propozycje koncepcyjne łączące wspomniane kierunki modyfikacji. W przypadku obiektów użyteczności publicznej zazwyczaj stosuje się dachy dwupowłokowe z wewnętrzną warstwą ocieplenia. To zastosowanie stanowi najnowszy trend rozwoju systemu K-span. Idea takiego rozwiązania polega na zastosowaniu dwóch powłok częściowo współpracujących ze sobą. Zewnętrzna powłoka narażona jest na oddziaływanie warunków środowiskowych, a wewnętrzna przenosi ciężar ocieplenia i wyposażenia technicznego obiektu. Zewnętrzna powłoka współpracuje z wewnętrzną przez specjalne jednostronne zamki tylko wtedy, gdy jej statyka (np. przemieszczenia przekraczające z góry założoną wartość) wymaga wzmocnienia w przenoszeniu obciążeń zewnętrznych. Takie rozwiązanie wpływa na globalne zmniejszenie zużycia materiału, ale znacznie komplikuje projektowanie. Obecnie wspomniana innowacja jest tylko projektem koncepcyjnym i nie powstały jeszcze żadne realizacje tego typu.

Niezależnie od rozpatrywanych odmian systemu K-span mają one jedną wspólną cechę. Na powierzchni średnica występują głębokie przetłoczenia poprzeczne, które powstają w wyniku drugiego etapu walcowania, tj. zakrzywienia profilu. Ta cecha profili systemu K-span znacznie utrudnia stosowanie do projektowania zasad przedstawianych na przykład w normie [14], ponieważ żadna z wymienionych nie obejmuje swym zakresem takiej specyfikacji ukształtowania powierzchni.

Trudności projektowe związane z brakiem normowych metod obliczeń mogły być przyczyną awarii i katastrof łukowych struktur systemu K-span. Jeden z przypadków błędnego projektu przedstawiono w publikacji [15]. Zdaniem autorów tej publikacji do awarii przyczyniły się daleko

idące uproszczenia w przyjęciu charakterystyki przekroju poprzecznego oraz zaniedbania w obliczeniach wyoboczenia globalnego.

Przedstawione zdarzenia budzą uzasadnione wątpliwości co do poprawności dotychczas stosowanych inżynierskich metod projektowania. W [15] wskazywano na konieczność uwzględnienia w projektowaniu specyfiki profili K-span przez zastosowanie odpowiednich metod badawczych i obliczeniowych. Okazuje się bowiem, że zaniedbywanie poprzecznego karbowania profili niesie ze sobą ryzyko niewłaściwej oceny nośności i stateczności struktur wykonanych w technologii K-span.

Obecnie najskuteczniejszym sposobem zapobiegania powstawaniu awarii jest projektowanie na podstawie wyników badań albo wdrożenie numerycznych metod obliczeniowych uwzględniających zasady analiz przedstawionych w [16]. Obszerne prace naukowe dotyczące podejścia badawczego i analitycznego przedstawione zostały w publikacjach zagranicznych i krajowych. Prace zagraniczne dotyczyły analiz obliczeniowych i badań, które odnosiły się do konkretnych rozwiązań. Wynik tych publikacji jednoznacznie wskazywał znaczny wpływ karbowania profilu na nośność i stateczność struktury. W kraju również prowadzono badania nad opisem metod analiz i oceny struktur typu K-span. Na Politechnice Śląskiej [17] realizowano prace nad odmianą ABM 120, a w ITB testowano odmianę ABM 240 [18]. Ostatecznie obydwie ośrodki zaproponowały własne metody analiz i oceny systemów K-span, które w wielu przypadkach prowadzą do podobnych wniosków.

Podsumowanie

Dachy walcowe z samonośnych profili podwójnie giętych może nie są atrakcyjne architektonicznie, ale ich zalety wynikają głównie z prostoty konstrukcji i przede wszystkim łatwości i szybkości montażu. Wytworzenie segmentów dachu na miejscu budowy oraz możliwość jego bezpośredniego wbudowania znacznie upraszczają logistykę procesów technologicznych. Brak podkonstrukcji nośnej ogranicza pracochłon-

ność i złożoność montażu. Jak dotychczas samonośne dachy walcowe K-span są chętnie stosowane w budownictwie militarnym praktycznie na całym świecie, w budownictwie cywilnym – najczęściej do budowy obiektów rolniczych (magazyny produktów rolnych, sprzętu rolniczego itp.), a coraz częściej również w budownictwie użyteczności publicznej (hale sportowe i handlowe, magazyny itp.).

Należy pamiętać, że stosunkowo prosta konstrukcja przysparza jednak sporo problemów projektowych. Okazuje się, że dotychczasowe metody projektowania zestawione w dokumentach normatywnych nie nadają się do zastosowania z uwagi na nietypowy kształt profilu. Próby usystematyzowania metod projektowania i oceny tych konstrukcji skutkowały powstaniem wielu publikacji naukowych, które podają przykłady badawczego lub obliczeniowego rozwiązywania problemów projektowych.

Literatura

- [1] Decker J. Chieci C, Quonset Hut: Metal Living for a Modern Age. New York: Princeton Archit. Press; 1 edition (Feb. 1 2006), 2005.
- [2] „Home | Nissen Hut”. <https://nissens.co.uk/> (udostępniono maj 25, 2022).
- [3] Piekarczyk A. Nowoczesne zadaszenia łukowe w budownictwie użyteczności publicznej. Mater. Bud. 2016; 1; 6: 216 – 217, doi: 10.15199/33.2016.06.90.
- [4] Cybulski R. Przegląd lekkich, stalowych hal i zadaszien łukowych. Nowocz. Hale. 2013; 3: 70 – 71.
- [5] Polska Farma Sp. z o.o Develagaro Proste hale łukowe. <http://develagro.pl/galeria/> (udostępniono mar. 24, 2017).
- [6] Richman JB. K-span-consulting. <http://k-span-consulting.com> (udostępniono mar. 28, 2017).

[7] The Marshal Group. The Marshal Group. Design/Build Construction Management. <http://marshalgroup-af.com/equipment.htm> (udostępniono mar. 24, 2017).

[8] Sino k-span Machinery Manufacturing Co., Ltd. <http://sinok.sell.everychina.com/p91037099/showimage.html> (udostępniono maj 23, 2022).

[9] Kurzawa Z, Rzeszut K, Szumigała M. Stalowe konstrukcje prętowe. Część III. Konstrukcje z łukami, elementy cienkościenne, pokrycia membranowe, belki podsuwnicowe. Poznań, Polska: Politechnika Poznańska, 2015.

[10] „TGHANGARS”. <http://www.tgbuildings.com/> (udostępniono maj 30, 2022).

[11] Wonder Buildings. Manufactured in the USA by American Shelter Technologies”, Igin Illinois USA, 2008.

[12] Wonder buildings: assembly and specification manual. Wonder Trussless Building, Inc., 1958.

[13] Shutterstock Hale łukowe. Samonośne hale łukowe szybkiego montażu – muratorplus.pl. <https://www.muratorplus.pl/technika/konstrukcje/hale-lukowe-samonosne-hale-lukowe-szybkiego-montazu-aa-gzZE-XLJh-jkLf.html> (udostępniono 01, 2022).

[14] PN-EN 1993-1-3: 2008. Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-3: Reguły ogólne – Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno. 2008.

[15] Biegus A, Kowal A. Collapse of halls made from cold-formed steel sheets. Eng. Fail. Anal. 2013; 31: 189 – 194, <https://doi.10.1016/j.engfailanal.2012.12.009>.

[16] PN-EN 1993-1-6:2009. Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-6: Wytrzymałość i stateczność konstrukcji powłokowych. 2009.

[17] Walentyński R, Cybulski R, Kozieł KJ. Achilles’ heel of the ABM 120 double corrugated profiles. New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Slovakia University of Technology in Bratislava. 2011: 25 – 28.

[18] Piekarczyk A. Doświadczalne i obliczeniowe metody oceny łukowych przekryć z blach podwójnie giętych. Warszawa. Instytut Techniki Budowlanej, 2018.

Przyjęto do druku: 04.06.2022 r.



ARBOCEL P – The Power of Innovation

- nieograniczone możliwości regulacji konsystencji, – łatwe i szybkie mieszanie,
- zagęszczanie i stabilizacja tynków i farb przy jednoczesnej poprawie aplikacji



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@jrs.pl

