

Uwagi do projektowania galerii-estakad w elektrowniach

Dr inż. Zdzisław Kurzawa, prof. nadzw. dr hab. inż. Maciej Szumigała,
Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Konieczność ochrony środowiska wiąże się między innymi z ograniczeniami emisji dwutlenku węgla i wprowadza do naszej gospodarki (przemysłu) szereg obostrzeń. Z drugiej strony dalszy konieczny rozwój gospodarczy wymaga zwiększenia dostaw energii, a zwłaszcza energii elektrycznej. To wszystko sprawia, że konieczne są poważne inwestycje w energetyce. Przedmiotem publikacji są pewne aspekty projektowania budowlanego tak dużych inwestycji na przykładzie obiektów infrastruktury w elektrowniach. Różnorodność konstrukcji obiektów energetycznych jest bardzo duża. Są to budynki o konstrukcji szkieletowej stanowiącej obudowę bloków energetycznych (tj. kotłów, turbozespołów), obiekty magazynowe typu silosy i zasobniki. Poważną część infrastruktury stanowią obiekty zasilania i transportu surowców energetycznych projektowane najczęściej w postaci galerii-estakad o bardzo dużej rozpiętości. Owe estakady stanowią konstrukcję nośną dla podajników taśmowych. Na przykładzie zaprojektowanych i istniejących tego typu obiektów autorzy pragną poruszyć zagadnienia dotyczące wybranych zasad ich projektowania.

2. Galerie estakadowe

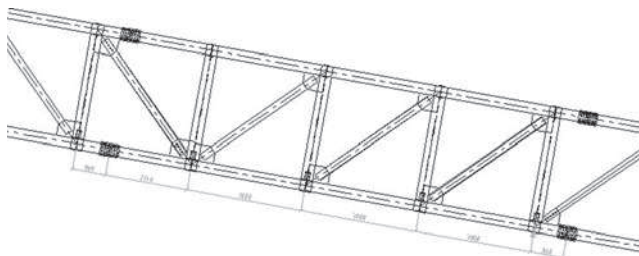
Obecnie większość rozbudowywanych lub modernizowanych elektrowni opalana jest węglem kamiennym lub brunatnym. Surowiec energetyczny dostarczany jest do kotłowni, zakładów jego uzdatniania lub miejsca magazynowania za pomocą taśmociągów (rys.1).

Taśmociągi montowane są w galeriach o konstrukcji stalowej. Łączna długość jednego ciągu estakad może przekraczać 1000 m. Ciągi podzielone są na przęsła, podparte słupami wahaczowymi (płaska konstrukcja) i słupami-bastionami o konstrukcji przestrzennej. Wysokości słupów (około 60 m), jak i rozpiętości przęseł (80 m) mogą być znaczne.

Konstrukcja galerii jest zazwyczaj powłoką prętową o przekroju prostokątnym. Ściany pionowe owej powłoki to kratownice o pasach równoległych i zakratowaniu typu N w postaci słupków i krzyżulców rozciąganych (rys. 2). Pasy wykonywane są najczęściej z dwuteowników szerokostopowych ustawionych środkami w płas-



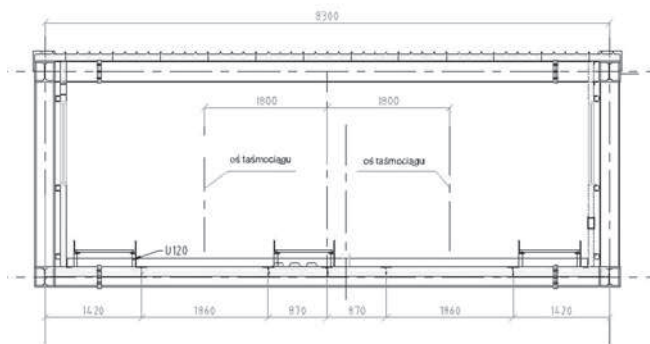
Rys. 1. Widok typowej galerii przenośników taśmowych



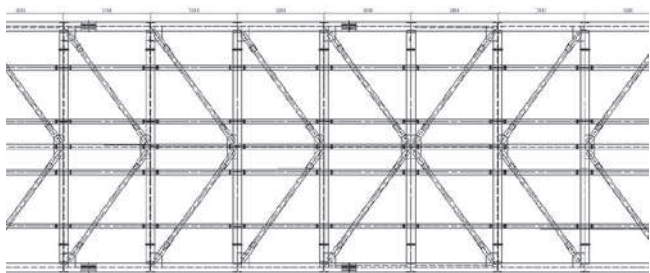
Rys. 2. Konstrukcja kratowych elementów pionowych galerii

czyźnie kratownicy. Słupki projektowane są z lżejszych dwuteowników szerokostopowych typu HEA ustawionych środkami prostopadle do płaszczyzny kratownicy. Na rozciągane krzyżulce przeważnie przyjmowane są przekroje dwugąździowe z dwóch ceowników ustawionych środkami do siebie obejmującymi blachy węzłowe. Płaskie, pionowe kratownice łączone są ze sobą za pomocą poprzecznych poziomych rygli tworząc konstrukcję przestrzenną (rys. 3). Na przekroje rygli dolnych stosowane są zazwyczaj dwuteowniki szerokostopowe, natomiast rygle górne wykonywane są z lżejszych przekrojów IPE. Rygle są sztywno połączone ze słupami kratownic pionowych tworząc zamknięte ramy.

Między ryglami dolnymi umieszcza się podłużne żebra z małych przekrojów szerokostopowych. Rozstaw żebra jest różny w zależności od zagospodarowania ga-



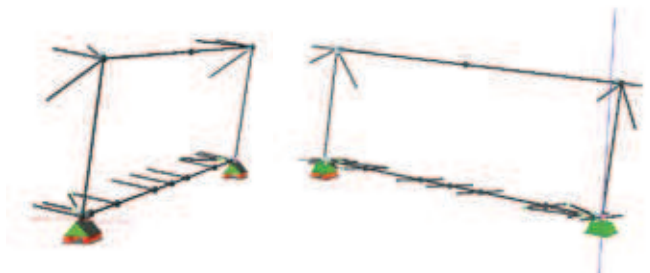
Rys. 3. Układ poprzeczny galerii



Rys. 4. Stężenia poziome galerii

lerii (liczba i rozmieszczenie taśmociągów oraz pomostów dla obsługi i rodzaju innych instalacji). Na ryglach górnych nie umieszcza się żebrow podłużnych, lecz bezpośrednio na nich układa się obudowę dachu.

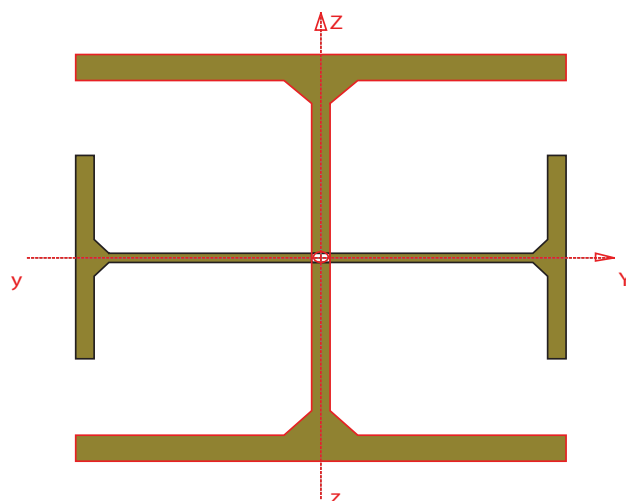
Dla zapewnienia niezmienności geometrycznej przestrzennego układu i przeniesienia sił poziomych projektuje się stężenia w płaszczyźnie dachu i podłogi (rys. 4). Stężenia wykonuje się z rur w postaci zakratowania typu „K”. Całość konstrukcji jest podzielona na elementy wysyłkowe o długości około 12 m. Pionowe kratownice połączone są za pomocą zakładkowych styków śrubowych. Elementy poprzeczne, tj. rygle łączone są za pomocą styków śrubowych doczołowych (rys. 3). W podobny sposób łączone są podłużne żebra podłogi z ryglami poprzecznymi. Stężenia połączone są za pomocą styków śrubowych zakładkowych. Obudowa galerii jest dość specyficznie umieszczona. Płyty war-



Rys. 5. Realizacja swobodnego podparcia konstrukcji przestrzennej (w modelowaniu numerycznym z lewej – podpora przesuwna, z prawej – podpora przegubowa)

stwowe dachu ułożone są na zewnątrz wzdłuż osi galerii na ryglach dachowych. Ściany pionowe częściowo przeszklone mocowane są od wewnątrz konstrukcji. Podłogę galerii stanowi płyta żelbetowa wylana na blachę fałdową i oparta na podłużnych żebrowach. Ocieplenie montowane jest między żebrow a od zewnątrz osłaniającą blachą fałdową. Zatem konstrukcja ścian pionowych i częściowo podłogi znajduje się na zewnątrz (rys. 3). Wymaga to uwzględnienia dodatkowego obciążenia w postaci różnicy temperatur. Z tego powodu podparcie galerii projektuje się jako w pełni umożliwiające swobodę odkształceń, zarówno wzdłuż (podpora bastion i wahacz), jak i poprzecznie (drugi punkt w osi każdej podpory jest wyraźnie przesuwany).

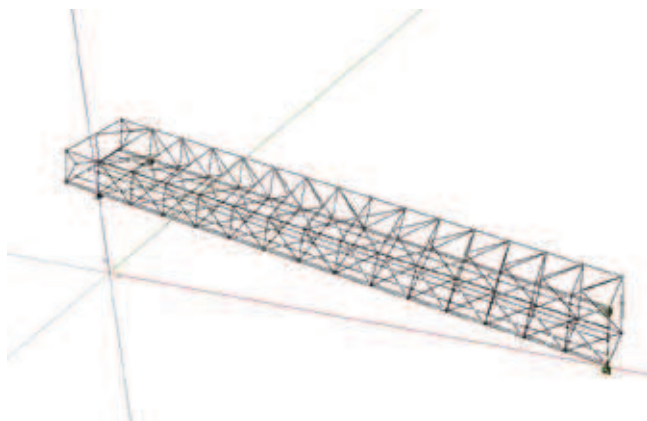
Opisana konstrukcja stosowana jest standardowo we wszystkich galeriach o różnych rozpiętościach. Przy rozpiętości ponad 40 m stosowane jest od dołu podwieszenie. Zmiana nośności uzyskiwana jest również poprzez zmianę gatunku stali lub wzmocnienie standardowego przekroju (rys. 6).



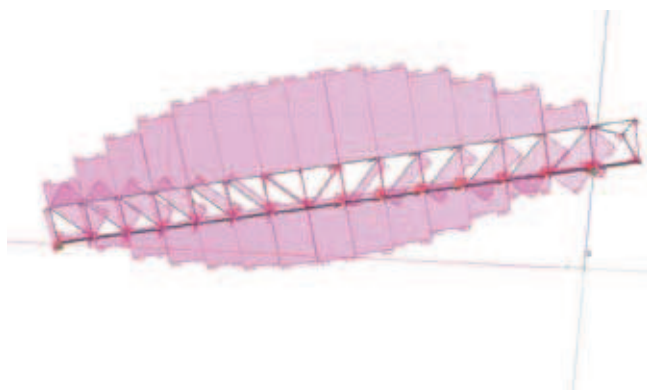
Rys. 6. Przykładowy przekrój wzmocnionego pasa górnego

3. Projektowanie estakad

Galerie taśmociągów projektuje się zazwyczaj, wykorzystując ogólnie dostępne oprogramowanie inżynierskie, jako konstrukcje przestrzenne. Często firmy projektowe znajdują się poza krajem i proces projektowania odbywa się wg EC (obciążenia, współczynniki i kombinacje obciążeń, wymiarowanie). Inwestor po otrzymaniu projektu, zgodnie z wymaganiami lokalnych Wydziałów Budownictwa i Architektury oraz Nadzoru Budowlanego, zleca jego weryfikację w zakresie zgodności z polskimi przepisami. Weryfikacja jest zazwyczaj bardziej formalna niż faktyczna. Po zatwierdzeniu projektu budowlanego następuje zlecenie przygotowania dokumentacji warsztatowej zazwyczaj firmie lokalnej. Po wykonaniu konstrukcji i jej zmontowaniu okazuje się, że niespełnione są wymagania zawarte w kontrakcie. Właśnie na takim



Rys. 7. Przemysłowy schemat statyczny przęsła galerii



Rys. 8. Rozkład sił normalnych ($N_G=3461$ kN, $N_D=2230$ kN) w jednej z realizowanych galerii powłokowych

etapie projektowania zwrócono się o opinię techniczną, gdyż po zmontowaniu konstrukcji galerii okazało się, że ugięła się (wg pomiarów geodezyjnych) więcej niż zakładano, mimo braku pełnego obciążenia. Wymogi sztywności były dość ostre, gdyż ze względu na warunki eksploatacyjne taśmociągów galeria nie powinna ugiąć się więcej niż 30 mm. Spełnienie tych warunków było prawie nierealne, bo wymagałoby znacznego zwiększenia sztywności konstrukcji. W tej sytuacji należało wykonać konstrukcję z przeciwstrzałką (od obciążeń stałych). Z opisu projektowego nie wynikało czy konstrukcję (prawdopodobnie) wykonano z czy bez przeciwstrzałki. Wykonawca natomiast zarzucał projektantowi, że konstrukcja ma zbyt małą sztywność. Okazało się jednak, że konstrukcja ma wystarczającą sztywność, bo ugięcie od obciążeń zmiennych (śnieg, wiatr, ciężar węgla i obciążenie użytkowe w galerii) zawierało się w granicach wymagań. Przeprowadzono dodatkowo weryfikację obliczeń statyczno-wytrzymałościowych. Wymodelowano niezależnie konstrukcję za pomocą innego oprogramowania i sprawdzono nośność zgodnie z PN. Okazało się, że jest nieco przekroczona (o 2–7%) nośność kilku ważnych prętów (krzyżulec skrajny i słupek, pas górny i pas górny w części środkowej – wzmocnio-

ny). Szczególnie problematyczna była nośność pasa górnego, na który w dokumentacji przewidziano stal S355 (takie same profile, lecz ze stali S235 zastosowano w innych prętach konstrukcji).

Podczas obliczeń statycznych zauważono, że w analizie przestrzennej tej konstrukcji osiowe siły ściskające w pasie górnym są wyraźnie większe (co do wartości bezwzględnej) niż w pasie dolnym (rys. 8), co było wynikiem przestrzennej pracy konstrukcji. Część sił rozciągających jest przenoszona przez podłużne żebra ruszta podłogi. Zrozumiałe zatem stało się dla czego projektant starał się podnieść obliczeniowo nośność pasa górnego przez jego wzmocnienia, a gdy to nie wystarczyło, przez zmianę gatunku stali na stal o wyższej wytrzymałości. Taki zabieg obliczeniowy jest dość prosty, jednak niebezpieczny z punktu widzenia wykonawczego. Stanowi to niedopuszczalny i szkolny błąd projektanta w zakresie zasad doboru gatunku stali na konstrukcje.

4. Uwagi projektowe i wykonawcze

Na podstawie przeprowadzonych analiz i obliczeń, dostarczonych materiałów oraz informacji ze strony projektanta i własnego doświadczenia w podobnych sprawach można stwierdzić, że należy bardzo ostrożnie podchodzić do całego procesu projektowania. Zazwyczaj przygotowany projekt budowlany nosi charakter ofertowy i na jego podstawie przygotowany jest kosztorys. Przetarg wygrywa firma wykonawcza, która proponuje najniższą cenę (zazwyczaj poniżej kosztorysu). Projektant nie ma już żadnej możliwości korekty na etapie projektu wykonawczego (jeżeli w ogóle otrzyma na niego zlecenie).

Proces inwestycyjny w polskiej wersji to nieustanna gra (zazwyczaj nieczysta) między inwestorem, wykonawcą, projektantem i podwykonawcami. Wykonawca liczy na aneksowanie umowy, pragnie zmusić projektanta do ustępstw chcąc wykonać obiekt możliwie najtaniej. Projektant, jeżeli popełni nawet minimalny błąd (a błędów nie popełnia ten, kto nie projektuje) jest zazwyczaj na straconej pozycji. Z tego powodu projektanci konstruktorzy powinni dość ostrożnie przygotowywać projekty budowlane. Stąd pozwałam sobie przedstawić kilka wniosków ogólnych:

- Projektowanie konstrukcji przy bardzo dokładnym modelowaniu przestrzennym i prawie 100% wykorzystaniu nośności nie jest zalecane. Wiele mniej problemów pojawiłoby się, gdyby zaprojektowano galerie tradycyjnie jako konstrukcje płaskie. Siły w pasach górnym i dolnym byłyby prawie równe, stanowiąc superpozycję z układu pionowego i poziomego. Można wówczas dobrać większe przekroje pasów z zapasem nośności w stosunku do modelu przestrzennego.
- Galerie taśmociągów jako konstrukcje zewnętrznie statycznie wyznaczalne są korzystne z uwagi na możliwość rezygnacji z obciążenia zmianami temperatury.

Ten rodzaj podparcia powoduje, że częste nierówne osiadania podpór nie mają wpływu na rozkład sił wewnętrznych w konstrukcji. Jednak ze względów bezpieczeństwa (niezawodności), zgodnie z zaleceniami Eurokodów, należałoby projektować konstrukcje o możliwie wysokim stopniu hiperstatyczności. Przeszywnienie konstrukcji wpływa ponadto na zmniejszenie przemieszczeń. Należy w tym wypadku zastanowić się, co w danej sytuacji jest korzystniejsze. Gdyby galerie były obudowane od zewnątrz, to można by zrezygnować lub ograniczyć wpływ obciążenia temperaturą; tym bardziej, gdy wewnątrz galerii jest montowana instalacja grzewcza.

- Zwiększanie nośności przekroju poprzez lokalną zmianę gatunku stali o wyższej wytrzymałości jest zabiegiem niezalecanym. Zastosowanie różnych gatunków stali w elementach wysyłkowych jest dopuszczalne, lecz wymaga przestrzegania zasady, że nie można stosować różnych gatunków stali dla przekrojów o takiej samej charakterystyce (wymiarach profilu) zastosowanych na różne pręty konstrukcji.
- Przy ostrych wymaganiach dotyczących sztywności galerii (np. 20–30 mm) należy bezwzględnie wprowadzić przeciwstrzałki w konstrukcji. Fakt ten powinien znaleźć wyrażne odzwierciedlenie w rysunkowej dokumentacji warsztatowej i opisie technicznym. Zalecany jest przy tym chociaż częściowy próbny montaż.

- Na rzeczywistą wielkość ugięć wpływa również rodzaj styków montażowych. Styki śrubowe zakładkowe, choć łatwiejsze w montażu i uznawane za bezpieczniejsze, mogą być źródłem dodatkowych deformacji. Przy dużych rozpiętościach wystarczy niewielki „dodatkowy luz” montażowy (rozwiercenie otworu), i jak wykazały analizy, ugięcie wyraźnie wzrasta. Pod tym względem korzystniejsze są styki doczołowe.

- Na wielkość ugięć wpływać może również rzeczywista grubość podłogowej płyty betonowej wykonanej na blachach fałdowych. Na skutek ugięć blachy fałdowej rzeczywista grubość (ciężar własny) może być znacznie większa. Zalecane byłoby stosowanie sztywniejszej blachy fałdowej i przez zastosowanie odpowiednich łączników na żebrach stalowych (sworznie) można byłoby włączyć płytę żelbetową do współpracy i całą konstrukcję stropu dolnego uznać jako zespoloną stalowo-betonową (co zwiększyłoby sztywność całej konstrukcji).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bródka J., Przebudowa i utrzymanie konstrukcji stalowych, Arkady, Warszawa 1995 Łódź
- [2] PN-EN1090-2:2009 : Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych

Maszyny do natrysku betonu - Torkretnice

PAN-DA System wysokociśnieniowy

Zawierająca dysza mieszająca "ULTRA"



CLEVER & CO
Elektro- und Maschinenfabrik GmbH
Sulzbach Technology



Torkretnice typu A1N



Torkretnice typu C1N



Zespół tłoczący beton natryskowy



Pompy wysokociśnieniowe PAN-DA typu San 1 100



Pompy wysokociśnieniowe PAN-DA typu BN



Dysza natryskowa dla mieszania mokrych i suchych

- Do wykonywania betonu natryskowego i mas ogniotrwałych
- Mieszanie na najwyższym poziomie
- Zastosowanie w każdym systemie natryskiwania metodą na sucho
- Ograniczenie zapylenia
- Zmniejszenie odskoku



Clever & Co. Tel.: +49/ 101201/ 83 574-20
Elektro- und Maschinenfabrik GmbH Fax: +49/ 101201/ 83 574-44
Laubenhof 14-1B E-Mail: info@clever-co.de
45326 Essen/ Niemcy www.clever-co.de