



# Wieże PERI VST – wszechstronny system rusztowań podporowych do najcięższych zastosowań. Wybrane realizacje w Polsce

tekst: mgr inż. PIOTR BORUCKI, PERI Polska Sp. z o.o.

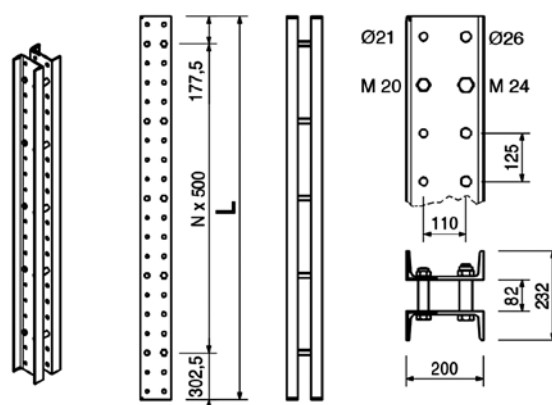
Najbliższe lata w Polsce będą czasem kontynuacji wielkich zmian, zapoczątkowanych w latach 90. XX w. Budownictwo infrastrukturalne będzie przeżywać energiczny rozwój. Powstaną nowe drogi ekspresowe i autostrady. Budowane będą nowe oraz rozbudowywane i modernizowane istniejące elektrownie i inne budowle przemysłowe, a także budynki użyteczności publicznej, takie jak hale widowiskowe, muzea czy dworce kolejowe i autobusowe.

Wiele z tych obiektów będzie miało wyszukane formy architektoniczne i konstrukcyjne, wymagające podparcia rusztowaniami o dużej nośności na znacznych wysokościach. Proponowanym przez PERI rozwiązaniem do wykonywania tego typu konstrukcji jest system wież podporowych o bardzo dużej nośności – PERI VST (ryc. 1).

## Wieża podporowa PERI VST

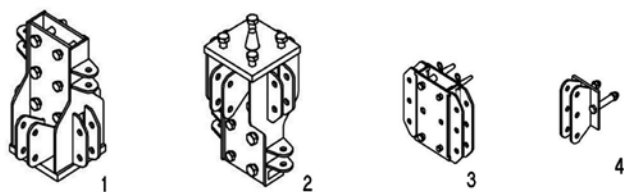
Konstrukcja nośna wież PERI VST powstała w efekcie poszukiwań nowego sposobu wykorzystania szyn systemu pomostów samowznoszących RCS (ryc. 2). Jednym z rozwiązań było zastosowanie szyn jako elementów pionowych wież podporowych o bardzo dużej nośności. Podwójny profil 2 x

U200, tworzący szynę RCS, charakteryzuje się dużym przekrojem poprzecznym i znaczną sztywnością w obu kierunkach zginania.



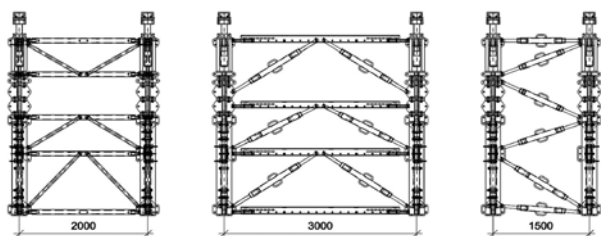
Ryc. 2. Szyny RCS

Profile U200 szyny RCS są otworowane na całej długości co 125 mm i łączone co 500 mm śrubami M20 i M24 z tulejami stalowymi zapewniającymi stały odstęp profili U200 na całej długości szyny, równy 82 mm. Otwory w profilach wykorzystano do montażu stóp VST, łączników VST oraz blachownic i przystawek węzłowych VST (ryc. 3). Elementy te w połączeniu ze stężeniami VST tworzą moduły wież podporowych PERI VST.



Ryc. 3. Elementy wieży VST: stopa VST (1), łącznik VST (2), blachownica węzłowa (3) i przystawka węzłowa VST (4)

Słupy podstawowych modułów wież podporowych PERI VST, o rozstawie osiowym słupów 2,0 x 2,0 m, stężane są ryglami VST 200 oraz czterema typami stężeń VST (200/150, 200/112,5, 200/100, 200/62,5), łączonych do słupów sworzniami pasowanymi  $\varnothing 21 \times 120$ , zabezpieczanych zawleczkami 4/1. Moduły wież o rozstawach większych niż podstawowe stęża się ryglami uniwersalnymi SRU i wyporami wysokoosnymi SLS – elementami komplementarnego systemu PERI VARIOKIT (ryc. 4). Typoszereg długości rygli SRU pozwala na konstruowanie wież o rozstawie słupów od 2,25 do 3,50 m ze skokiem co 0,25 m oraz od 4,00 do 6,50 m ze skokiem co 0,50 m. Moduły wież o rozstawach mniejszych niż podstawowe stęża się tylko wyporami wysokoosnymi SLS. Regulowana płynnie długość wypór umożliwia dowolny rozstaw słupów, nie mniejszy niż 0,80 m. Wszystkie stężenia są mocowane do słupów wieży za pomocą sworzni pasowanych  $\varnothing 21$  lub  $\varnothing 24$  mm, zabezpieczonych zawleczkami. Z jednej strony sposób łączenia na sworznie gwarantuje szybki montaż, z drugiej strony przez pasowanie redukuje do minimum luzy montażowe.

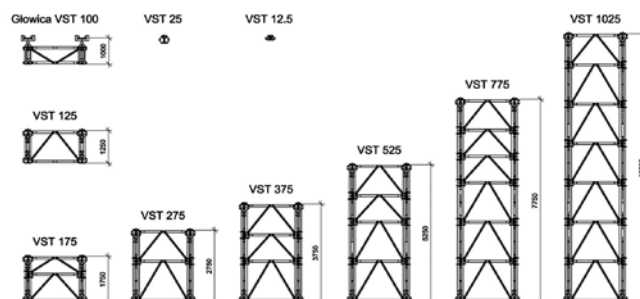


Ryc. 4. Wieża podporowa PERI VST złożona z modułów podstawowych (z lewej) oraz dwa przykładowe warianty wież stężonych ryglami SRU i wyporami wysokoosnymi SLS

Typowe szyny wspinania RCS umożliwiają konstruowanie wież podporowych PERI VST z następujących modułów (ryc. 5):

- głowicowy VST 100 o wysokości regulowanej od 0,86 do 1,14 m,
- VST 125 o wysokości 1,25 m (profile RCS 98 o długości 980 mm),
- VST 175 o wysokości 1,75 m (szyny RCS 148 o długości 1480 mm),
- VST 275 o wysokości 2,75 m (szyny RCS 248 o długości 2480 mm),
- VST 375 o wysokości 3,75 m (szyny RCS 348 o długości 3480 mm),
- VST 525 o wysokości 5,25 m (szyny RCS 498 o długości 4980 mm),
- VST 775 o wysokości 7,75 m (szyny RCS 748 o długości 7480 mm),
- VST 1025 o wysokości 10,25 m (szyny RCS 998 o długości 9980 mm),

- kompensacyjny VST 25 o wysokości 0,25 m (podstawki VST 25),
- kompensacyjny VST 12,5 o wysokości 0,125 m (podstawki VST 12,5).



Ryc. 5. Moduły wieży VST

Moduł głowicowy ma zamontowane głowice VST 100 (ryc. 6) zamiast szyn wspinania RCS ze stopami i łącznikami VST. Trzpień głowicy ma zabudowany system mechaniczny, który w połączeniu ze zintegrowanym systemem hydraulicznym pozwala na łatwe podnoszenie i opuszczanie z obciążeniem do 700 kN w zakresie od 0,86 do 1,14 m (wysokość całkowita głowicy). Głowica posiada płytę uchylną, tworzącą jednokierunkowy przegub. Boczne ograniczniki są wyposażone w zestaw przekładek dystansowych, którymi można dopasować szerokość uchwytu głowicy do szerokości podpieranego elementu (np. dźwigara stalowego) w zakresie od 0,20 do 0,32 m.



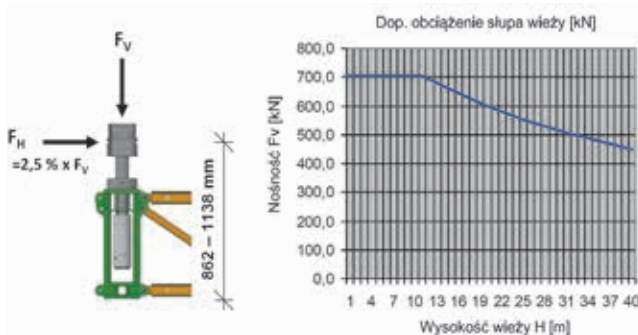
Ryc. 6. Głowica VST 100. Na zdjęciu widoczne są siłowniki hydrauliczne zamontowane w głowicach

Sztywność elementów konstrukcyjnych wieży pozwala na montaż poziomy jednostkami o długości nawet do 10,5 m, a następnie podnoszenie przez obrót do pionu i transport żurawiem w pozycji pionowej do miejsca zabudowania. Nadbudowywanie kolejnych segmentów jest łatwe dzięki gniazdom i wtykom ukształtowanym w elementach stykowych: stopach i łącznikach VST, a także w głowicach VST 100 (ryc. 7).



Ryc. 7. Montaż kompletnego modułu głowicowego VST 100. Widoczne są wtyki łączników dolnego modułu

Nośność wieży podporowej PERI VST zbudowanej z modułów podstawowych, o rozstawie osiowym słupów w rzucie 2,0 x 2,0 m, sięga maksymalnie 700 kN na słup wieży. Nomogram nośności w zakresach wysokości do 40 m pokazano poniżej (ryc. 8). Określając nośność wieży, uwzględniono w obliczeniach wpływ poziomej siły równej 2,5% obciążenia pionowego, działającej na głowicę w punkcie przyłożenia obciążenia pionowego. Nośność wieży można zwiększyć, montując dodatkowy słup lub tarczę, które łączy się z wieżą PERI VST za pomocą łączników poziomych VST (rozstaw osiowy słupów równy 0,375 m) lub wypór wysokonośnych SLS (ryc. 9).

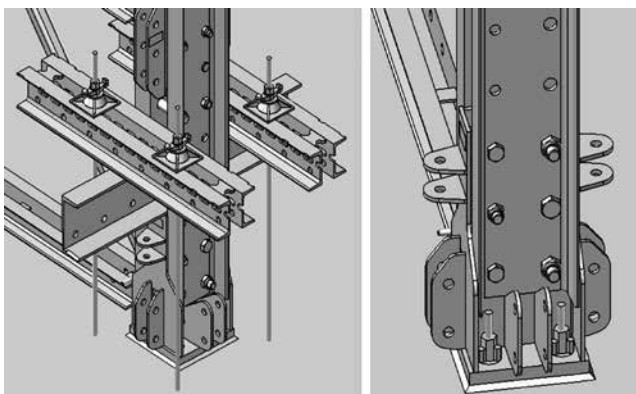


Ryc. 8. Nomogram nośności wieży podporowej PERI VST w zależności od wysokości



Ryc. 9. Wieże podporowe PERI VST wzmocnione ze stężeniami z łączników poziomych VST (z lewej) lub wypór wysokonośnych SLS

Wieże podporowe PERI VST narażone na oddziaływanie wiatru lub innych sił poziomych, w których nie są spełnione warunki stateczności na obrót i (lub) przesunięcie, kotwi się do podłoża pod wieżami (ryc. 10).



Ryc. 10. Zakotwienia wieży podporowej PERI VST w dwóch wariantach: za pośrednictwem profili stalowych (z lewej) i bezpośredni

Pomosty robocze do obsługi głowic VST 100 oraz do komunikacji można wykonać w systemie PERI Up Rosett i przymocować do wież za pomocą łączników VST-Up (ryc. 11).



Ryc. 11. Pomost roboczy w systemie PERI Up Rosett do obsługi głowic VST 100

### Wiadukt WA-31 w ciągu autostrady A4

Ustrój nośny wiaduku WA-31, zbudowanego w miejscowości Stanisławice, ukształtowano w przekroju jako układ dwóch symetrycznych skrzynek, o szerokości płyty pomostowej każdej ze skrzynek równej 14,2 m i wysokości równej 2,5 m. Ustrój wyniesiono nad poziom istniejącego terenu od 6,0 przy przyczółkach do ponad 12,0 m przy nasypie dwutorowej linii kolejowej położonej pod obiektem. Długość całkowita ustroju nośnego wynosi 612 m i jest podzielona na 13 przęseł o rozpiętościach od 32,0 do 50,0 m (ryc. 12).

Podstawową przyczyną zastosowania wież podporowych PERI VST do podparcia części ustroju nośnego była niska nośność podłoża gruntowego pod obiektem. Standardowe rozwiązanie – rusztowanie stacjonarne z wież podporowych o lekkiej konstrukcji – wymagałoby kosztownego wzmocnienia podłoża gruntowego na całej powierzchni pod wznoszonym ustrojem.



Ryc. 12. Przekrój poprzeczny i widok wież podporowych VST



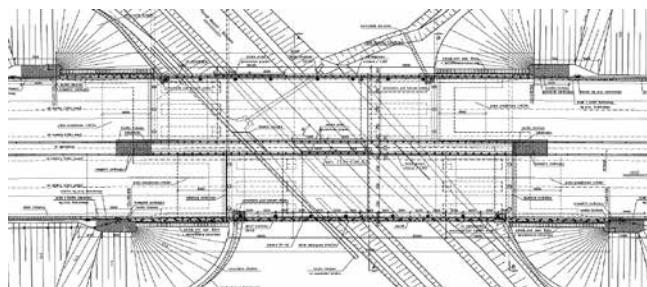
Ryc. 13. Widok wież podporowych PERI VST montowanych w poziomie

Zaprojektowano podparcie z wież PERI VST o wymiarach osiowych w rzucie  $2,0 \times 2,0$  m (podstawowy układ wieży) i wysokości od 6,0 do 8,0 m, zwieńczonych rusztem z dźwigarów stalowych HEB 400 I = 12,0 m. Wieże podporowe rozmieszczono w planie w odstępach 4,0 m w kierunku podłużnym oraz 4,8 m w kierunku poprzecznym. Spowodowało to koncentrację znacznych obciążeń na niewielkich powierzchniach pod wieżami i ograniczyło zakres wzmocnienia podłoża do ok. 20% powierzchni pod obiektem. Wieże podporowe PERI VST montowano w pozycji poziomej, budując segmenty składowe wież (ryc. 13). Następnie segmenty łączono w kompletne wieże, obracano do pionu i przenoszono dźwigiem do miejsca wbudowania.

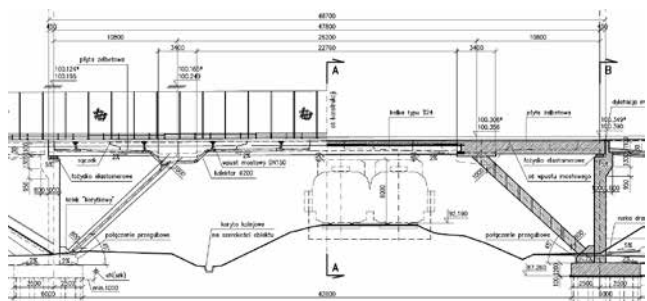
Dodatkową zaletą przyjętego rozwiązania okazał się dobry dostęp podnośników i wózków widłowych podczas demontażu rusztowań pod wykonanym ustrojem. Odstępy pomiędzy wieżami były wystarczające do przejazdu i manewrowania maszyn podczas zdejmowania stalowych dźwigarów nośnych z wież podporowych, a następnie demontażu wież całymi segmentami.

### Wiadukt WA122 w ciągu autostrady A1

Konstrukcja nośna wiaduku WA122 w ciągu autostrady A1 w miejscowości Turzno pod Toruniem składa się z dwóch trójprzęsłowych ustrojów nośnych, o rozpiętościach przęseł w osiach podpór równych  $10,8 + 26,2 + 10,8$  m. Przęsła oparto na przyczółkach oraz na ukośnych podporach pośrednich, tworzących z płytą ustroju nośnego ramę kozłową. Podpory pośrednie są monolitycznymi, żelbetowymi słupami o zmiennym przekroju o grubości od 0,80 do 1,00 m i szerokości równej 2,20 m. Słupy są w rozstawie poprzecznym wynoszącym 2,50 m w świetle.



Ryc. 14. Rzut wiaduku WA122



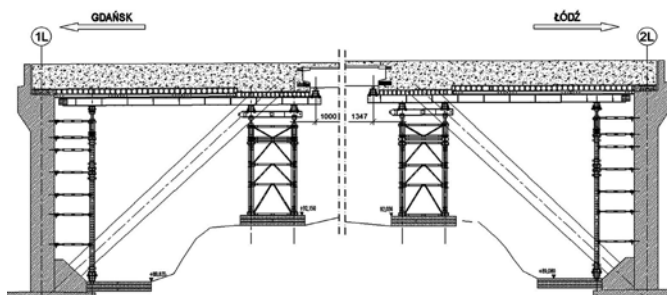
Ryc. 15. Widok wiaduku WA122

Pod środkowym przęsłem ustroju przebiega dwutorowa, zelektryfikowana linia kolejowa Poznań Wschód – Skandawa o dużym natężeniu ruchu (ryc. 14). Nasyp kolejowy wyniesiono nad poziom sąsiedniego terenu o ok. 3,5 do 4,0 m. Kąt skrzyżowania obiektu z przeszkodą wynosi  $52^\circ$ . Nad torami

jako elementy nośne ustroju wiaduku zastosowano dźwigary prefabrykowane T24 (ryc. 15), a części skrajne nad ukośnymi podporami pośrednimi wykonano jako monolityczne płyty o grubości od 1,24 (w przęsle) do 1,44 m (w styku podpory ukośnej i dźwigarów T24).



Ryc. 16. Widok rusztowań podporowych wiaduku WA122 przed ułożeniem dźwigarów T24



Ryc. 17. Przekrój podłużny rusztowań podporowych wiaduku WA122

Projekt rusztowań podporowych ustrojów nośnych musiał uwzględnić z jednej strony uwarunkowania geometryczne terenu i konstrukcji, z drugiej strony technologię rozbiórki rusztowań po wykonaniu obiektu. Deskowanie i rusztowanie podporowe ukośnych podpór pośrednich musiało być dopasowane do podparcia dźwigarów prefabrykowanych T24 oraz monolitycznej płyty przęsła skrajnych. Po analizie kilku wariantów wybrano rozwiązanie mieszane: rusztowanie podporowe PERI MULTIPROP z deskowaniem PERI VARIO pod ukośnymi podporami pośrednimi oraz wieże podporowe PERI VST, zwieńczone dźwigarami stalowymi pod dźwigarami T24 i przęsłami skrajnymi (ryc. 16).

Zastosowanie wież systemu PERI VST zostało wymuszone bardzo dużymi obciążeniami rusztowań w punktach podporowych trzech skrajnych dźwigarów T24, zlokalizowanych nad skrajnią kolejową. Nośność wież wynosząca do 700 kN/słup oraz wykorzystanie podwójnych słupów wież w najbardziej obciążonych punktach rusztowania pozwoliły na bezpieczne podparcie dźwigarów prefabrykowanych na wspornikach o wysokości 1,00 i 1,35 m (ryc. 17).

Rusztowanie podporowe z wież PERI VST wraz z rusztem z dźwigarów stalowych zaprojektowano z uwzględnieniem projektu rozbiórki po wykonaniu obiektu, przemyślanego i uzgodnionego szczegółowo z wykonawcą. Wieże były rozbierane pod ustrojem całymi modułami, a następnie transportowane na stanowisko rozbiórki końcowej, gdzie były demontowane na łatwe do zapakowania elementy składowe.

### Most Gm1-5 w ciągu Drogowej Trasy Średnicowej (DTŚ)

W Gliwicach w ramach budowy węzła drogowego z autostradą A1 na odcinku G1 Drogowej Trasy Średnicowej (DTŚ) powstał most Gm1-5. Jest to obiekt składający się z trzech nitek głównego ustroju nośnego oraz czterech estakad łącznic. Główny ustrój nośny składa się z 10 przęseł o rozpiętościach teoretycznych od 35,0 do 50,0 m i ma długość całkowitą od 431,5 (nitka Gm1-5c) do 446,0 m (nitka Gm1-5a). W przekroju poprzecznym każda z nitek ma dwa dźwigary nośne o wysokości całkowitej 2,40 m i szerokości od 1,20 do 1,60 m. Szerokość płyty pomostowej i rozstaw dźwigarów głównych jest zróżnicowana na poszczególnych nitkach i wynosi odpowiednio 11,10 i 4,00 m dla nitek Gm1-5a/Gm1-5b oraz 15,10 m i 8,00 m dla nitki Gm1-5c. Obiekt jest położony nad czterema jezdniami autostrady A1, przechodzącymi pod obiektem po nasypie wyniesionym nad poziom przyległego terenu o ponad 7 m (ryc. 18). W efekcie w najwyższym punkcie ustrój nośny jest na wysokości ponad 13 m powyżej istniejącego terenu.



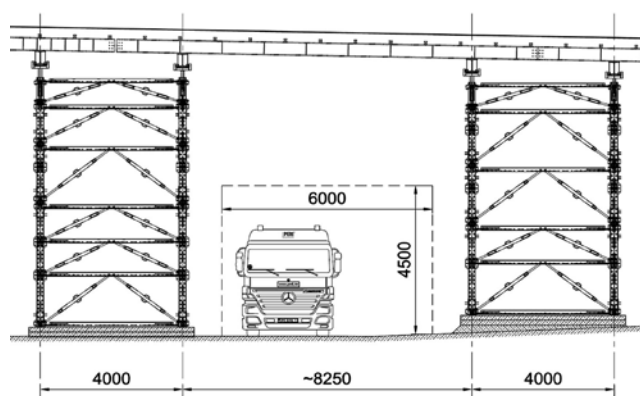
Ryc. 18. Montaż wież PERI VST rusztowania podporowego nad jezdniami autostrady A1

Analizy wstępne kosztów montażu i demontażu rusztowań podporowych wykazały, że klasyczne wykonanie nitek głównego ustroju nośnego na lekkich, wieżowych rusztowaniach stacjonarnych będzie mniej opłacalne niż zastosowanie wysokoosobnego systemu wież podporowych PERI VST. Rozwiązanie to wymagało stosowania ciężkiego sprzętu do przestawiania wież, ale cechowało się znacznym ograniczeniem nakładów robocizny.

W skali całego projektu dawało to znaczne oszczędności. Dodatkowo, aby zwiększyć korzyści płynące z zastosowania wież, wykorzystano deskowanie w systemie VARIOKIT z rollkami do przetaczania po podłużnych dźwigarach nośnych rusztowania podporowego. Skróciło to czas wykonania przęseł powtarzalnych do 21 dni.

Kolejną korzyścią było ograniczenie liczby wież podporowych do minimum. W przęsłach powtarzalnych, pomiędzy osiami E i J, było tylko po osiem wież w każdym przęśle. Dzięki temu mniejszy był też zakres wzmocnienia podłoża gruntowego, które ograniczało się tylko do obszarów bezpośrednio pod wieżami.

Inną korzyścią, trudną do oszacowania, było pozostawienie pod obiektem znacznych przestrzeni pomiędzy wieżami podporowymi PERI VST, które były wykorzystywane przez samochody i inne maszyny budowlane do komunikacji na budowie (ryc. 19).



Ryc. 19. Widok skrajni przejazdu technologicznego pod rusztowaniem podporowym



Ryc. 20. Widok rusztowania podporowego nad jezdniami autostrady A1



Ryc. 21. Widok rusztowania podporowego poza nasypem autostrady A1 (wieże o wysokości do 13,0 m)

Przejście nad jezdniami autostradowymi (głównymi i zbiorczymi) również zaprojektowano w systemie wież podporowych PERI VST. Układ geometryczny wież rusztowania w planie oraz rozpiętości stalowych dźwigarów nośnych zostały dopasowane do skrajni drogowych uzgodnionych z zarządcą autostrady (ryc. 20). Ponieważ podłużne dźwigary nośne miały nad jezdniami znacznie większe rozpiętości, dlatego zastosowano układ wież inny niż w przeszłach typowych. Wieże miały znacznie mniejsze rozstawy słupów i w rzędzie było o jedną, dwie wieże więcej (maksymalnie cztery wieże w rzędzie).

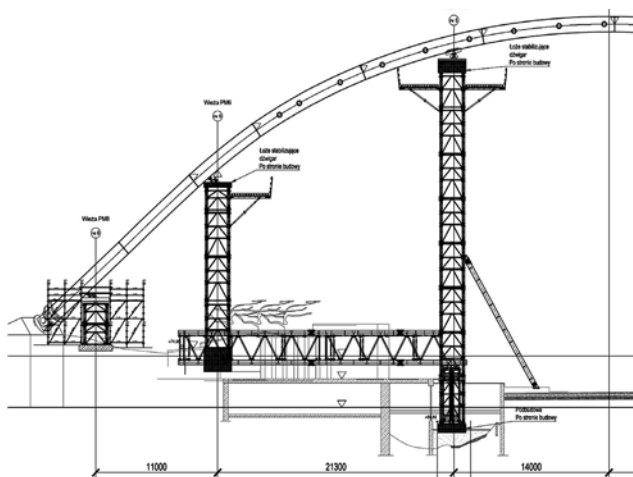
Po zakończeniu prac na nasypie autostradowym moduły wież zostały przebudowane przez wymianę stężeń na inne, o długościach dopasowanych do wież zaprojektowanych w kolejnych przeszłach. Scalone moduły wież podporowych były wielokrotnie wykorzystane, często rotując pomiędzy nitkami ustroju. Po zakończeniu pracy na budowie moduły wież rozbierano do płaskich tarcz, które były w całości wywożone poza teren placu budowy na przygotowane stanowisko do demontażu na elementy składowe.

## Opera Leśna w Sopocie

Przebudowa Opery Leśnej w Sopocie obejmowała m.in. wymianę konstrukcji nośnej zadaszenia sceny. Rusztowanie podporowe do montażu konstrukcji stalowej musiało składać się z wież o wysokości od 6,0 do 30,0 m i przenosić równocześnie obciążenia siłami pionowymi do 650 kN i poziomymi do 120 kN na wieżę. Zastosowano podparcie mieszane, złożone z wież podporowych w systemach PERI VST i PERI VARIOKIT.

Wieże podporowe były zabezpieczone przed przewróceniem kratownicami HD z systemu PERI VARIOKIT (ryc. 22, 23). Dzięki temu nie stosowano odciągów do stabilizacji wież. Uprościło to znacznie montaż i ułatwiło manewrowanie segmentami konstrukcji stalowej dachu podczas transportu pionowego dźwigiem.

Bezpieczeństwo pracowników montujących segmenty konstrukcji stalowej wymagało wykonania pomostów roboczych w górnych częściach wież. Pomosty wykonano z elementów systemu PERI VARIOKIT (ryc. 24); rygli SRU, wypór wysokościowych SLS oraz przegubowych łączników rygli, łączonych za pomocą sworzni pasowanych  $\varnothing 21$  mm bezpośrednio do szyn RCS lub blachownic węzłowych wież podporowych PERI VST.



Ryc. 22. Wieże podporowe PERI VST o wysokości do 30 m z zabezpieczeniem z kratownicy HD (VARIOKIT)



Ryc. 23. Widok rusztowania podporowego



Ryc. 24. Wieża podporowa PERI VST o rozbudowanej konstrukcji i z systemem roboczym z elementów systemu PERI VARIOKIT

## Podsumowanie

Artykuł przedstawia system wież podporowych PERI VST. Opisano elementy składowe oraz podstawowe cechy wyróżniające system, takie jak: nośność 700 kN na stojak, standardowa wysokość stosowania do 40 m według DTR (wyższe możliwe według odrębnego opracowania), modułowa budowa ułatwiająca projektowanie, możliwość płynnego dopasowania geometrii w planie dzięki zastosowaniu stężeń z elementów systemu inżynierskiego PERI VARIOKIT, głowice VST 100 z hydraulicznym systemem odciążania, mogącymi służyć również do podnoszenia itp. Omówiono kilka wybranych realizacji w Polsce, w których zastosowano wieże podporowe w systemie PERI VST.

## Literatura

- [1] Borucki P.: *Praktyczne aspekty projektowania rusztowań podporowych i deskowań ustrojów nośnych obiektów mostowych*. Materiały konferencyjne VI Ogólnopolskiej Konferencji Mostowców *Konstrukcja i wyposażenie mostów*, Wiśła, 24–25 maja 2012.
- [2] Stożek S., Gulak P.: *Systemy bezpieczeństwa w rozwiązaniach PERI*. Forum Budowlane, lipiec 2012.
- [3] Ostaficzuk J., Woźniak M., Gałuszka P.: *Historia budowy obiektu Gm 1-5 w ciągu Drogowej Trasy Średnicowej. Problemy wykonawcze i rozwiązania technologiczne*. „Magazyn Autostrady” 2014, nr 6, s. 48–55.
- [4] *Ekstremalne obciążenia na dużych wysokościach jako zadanie dla ekspertów. Remont Opery Leśnej, Sopot*. „PERI Aktualności” 2011, nr 1, s. 14.
- [5] VARIOKIT *Schwerlastturm VST*. „Aufbau- und Verwendungsanleitung. Vorabzug” 2014, Nr. 4. PERI GmbH.
- [6] VARIOKIT *Schwerlastturm*. *Programmübersicht*, 8. April 2014. PERI GmbH.

Referat wygłoszony podczas Wrocławskich Dni Mostowych *Współczesne technologie budowy mostów*, Wrocław, 27–28 listopada 2014 r.



# Wieże wysokonośne VST

Za pomocą systemowych elementów zestawu inżynierskiego VARIOKIT montowane są wieże wysokonośne, przeznaczone do przenoszenia dużych obciążeń i dopasowane do zróżnicowanych geometrii

## Niezawodnie mocne

Wysoka nośność wieży - do 280 t (700 kN na słupek)

## Bezpieczne

Kompatybilne z systemem rusztowań PERI UP, zapewniającym bezpieczne schodnie i pomosty robocze

## Uniwersalne

Stosowane jako wieża, kombinacje wież, tarcze podporowe, rusztowanie przestrzenne