

# Techniczne aspekty budowy kanału spalin odsiarczonych w nowym bloku Elektrowni Ostrołęka C



mgr inż.  
**MICHAŁ KOCINIAK**  
DOMINION Polska Sp. z o.o.  
ORCID: 0000-0003-0090-4635



mgr inż.  
**JAROSŁAW KOSIARSKI**  
DOMINION Polska Sp. z o.o.  
ORCID: 0000-0002-5863-7368

W artykule przedstawiono szereg czynników, które zostały uwzględnione przy projektowaniu kanału spalin odsiarczonych metodą mokrą w nowo budowanym bloku Elektrowni Ostrołęka C.

W kwietniu 2019 roku firma DOMINION otrzymała zlecenie na budowę w systemie pod klucz żelbetowej, hiperboloidalnej chłodni kominowej dla nowego bloku 1000 MW w Elektrowni Ostrołęka C. W zakres zleconego zadania wchodzi wykonanie kanału spalin od absorbera do chłodni kominowej, którego celem będzie odprowadzanie do atmosfery odsiarczonych metodą mokrą spalin. Przy tym sposobie oczyszczania spalin z tlenków siarki zdecydowano się na wykonanie kanału spalin w technologii tworzywa wzmocnianego włóknem szklanym TWS, które cechuje duża odporność na oddziaływanie silnie agresywnego kondensatu. Warunki brzegowe dla tego zadania (odległość pomiędzy osią absorbera a osią chłodni wynosi ok. 147 m, poziom wyjścia kanału spalin z absorbera ok. +48 m nad poziomem terenu) spr-

wy, iż konieczne było przeprowadzenie szeregu analiz w celu optymalnego zaprojektowania kanału spalin zarówno z punktu widzenia technicznego, jak i ekonomicznego. W niniejszym artykule zostaną omówione najważniejsze aspekty, które wpłynęły na finalny kształt oraz projekt kanału spalin.

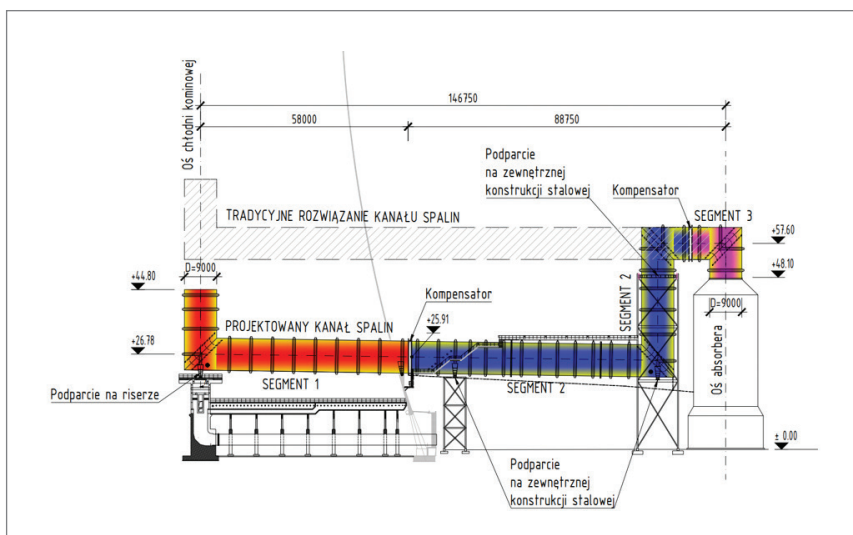
## Geometria kanału spalin

Przyłączenie kanału spalin do absorbera ma miejsce na poziomie ok. +48 m nad poziomem terenu. Ta wysokość oraz odległość między absorberem a chłodnią kominową spowodowały, iż w celu wyeliminowania trudności montażowych, a także konieczności wykonywania wysokich wsporczy konstrukcji stalowych między absorberem a chłodnią kominową oraz wysokiej konstrukcji wsporczej wewnątrz chłodni na riserze,

bezpośrednio za absorberem wykonano trzy załamania pod kątem 90 stopni. Zabieg ten umożliwił obniżenie poziomu, na którym następuje przejście kanału spalin przez powłokę chłodni kominowej do poziomu ok. +25,9 m nad poziomem terenu (poziom osi kanału spalin). Długość poziomego odcinka kanału spalin między absorberem a punktem oparcia na powłoce chłodni wynosi ok. 70 m, natomiast części znajdującej się w chłodni kominowej ok. 58 m. We wnętrzu chłodni kominowej, w jej centralnym punkcie na poziomie ok. +27 m znajduje się kolejne załamanie pod kątem 90 stopni, które ustanawia punkt wylotu spalin z kanału na poziomie ok. +44,80 m. Średnica kanału spalin na całej jego długości wynosi 9000 mm. Kanał spalin został finalnie podzielony na 3 niezależne segmenty połączone ze sobą za pomocą kompensatorów. Szczegółowa geometria kanału spalin z oznaczeniem podparć, punktów podziału na segmenty oraz zaznaczeniem tradycyjnego sposobu prowadzenia kanału została przedstawiona na rys. 1.

## Sposób podparcia poszczególnych odcinków

Przedstawiona w pkt 1. i 2. geometria kanału spalin została ustalona po przeprowadzeniu szeregu analiz uwzględniających obliczenie ciągu oraz strat przepływu z niej wynikających, obliczeń statyczno-wytrzymałościowych oraz zaleceń zawartych w [1]. Celem obliczeń statyczno-wytrzymałościowych było m.in. znalezienie takiego układu, który zapewniłby optymalny dobór grubości ścianki projektowanego z tworzywa wzmocnianego włóknem szklanym kanału spalin. Kolejnym ważnym zadaniem tej analizy było dobranie układu podpór w taki sposób, aby roz-



Rys.1. Geometria kanału spalin

kład reakcji umożliwił późniejsze optymalne zaprojektowanie oraz wykonanie i montaż wsporczych konstrukcji stalowych na placu budowy. Z uwagi na niejednoczesny montaż odcinka wewnątrz chłodni oraz odcinka na zewnątrz zdecydowano o zastosowaniu kompensatora tuż za podporą stałą na półwie chłodni. Przy doborze schematu statycznego istotną rolę odgrywało także zapewnienie swobody deformacji kanału spalin od obciążeń termicznych, aby nie dochodziło do powstawania znacznych reakcji podporowych na wysokie wsporcze konstrukcje stalowe (głównie poziomych), co w konsekwencji prowadziłoby do znacznych sił wewnętrznych w samym kanale spalin, utrudniając ekonomiczny dobór grubości ścianki przewodu. Zaproponowany schemat statyczny (rys. 2) dla wszystkich segmentów spełnia ten warunek, dzięki czemu wpływ oddziaływań termicznych został znacząco ograniczony.

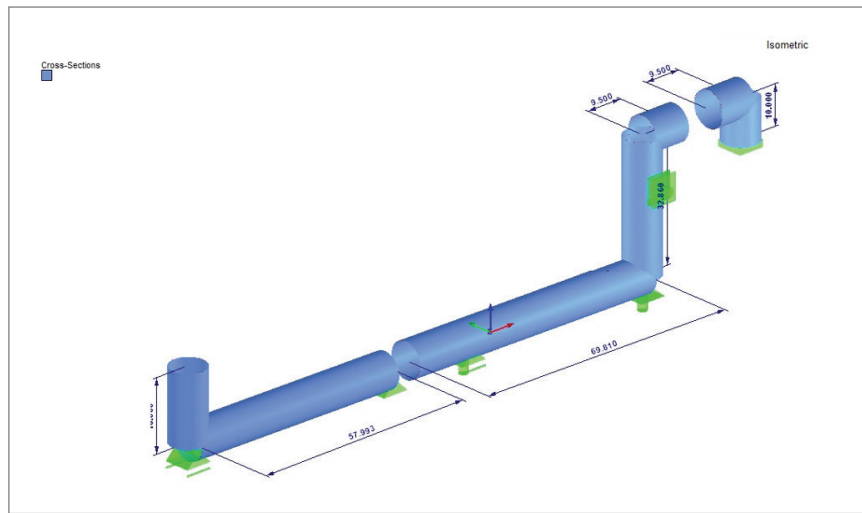
W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych kanału spalin zostały uwzględnione następujące przypadki obciążenia: ciężar własny kanału, obciążenie kondensatem, obciążenie wiatrem (zgodnie z [2]), obciążenie śniegiem (zgodnie z [3]), obciążenie temperaturą od przepływających spalin, obciążenie temperaturą w okresie zimowym, nadciśnienie oraz podciśnienie. Maksymalne reakcje podporowe przedstawiono na rys. 3. rys. 4 przedstawia deformacje kanału spalin od obciążenia dodatnią temperaturą. Brak reakcji podporowych świadczy o prawidłowym doborze schematu statycznego.

Znajomość wartości maksymalnego ugięcia kanału spalin jest także czynnikiem ważnym przy doborze nachylenia kanału spalin, aby umożliwić grawitacyjne odprowadzanie kondensatu do absorbera. Na rys. 5. przedstawiono maksymalne ugięcia dla projektowanego kanału spalin.

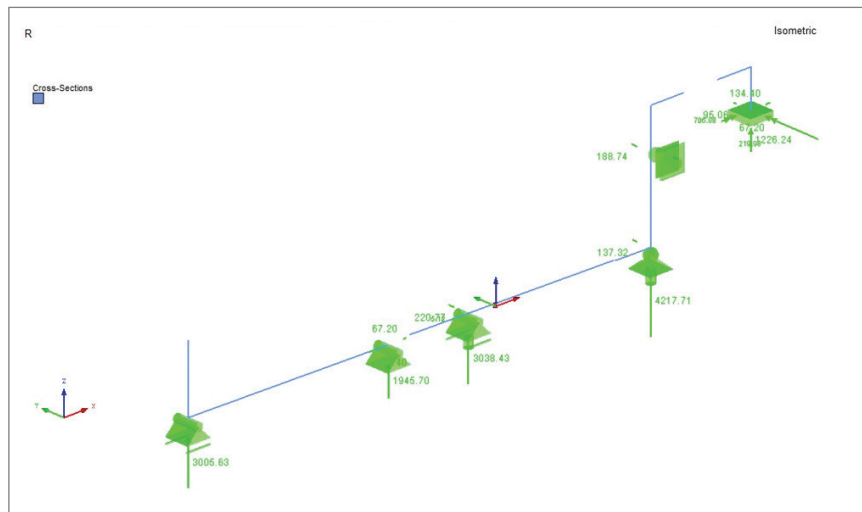
### Obliczenie ciągu i strat przepływu

Z uwagi na skomplikowaną geometrię konieczne było przeprowadzenie szczegółowych obliczeń przepływu oraz strat ciśnienia. Rozważano różne warianty wykonania kolan 90°, tak aby maksymalnie zredukować straty ciągu. Do tego celu wykorzystano obliczenia CFD mające potwierdzić optymalny kształt. Przyjęto 4 warianty ukształtowania kolan. Rys. 6. przedstawia analizowane warianty.

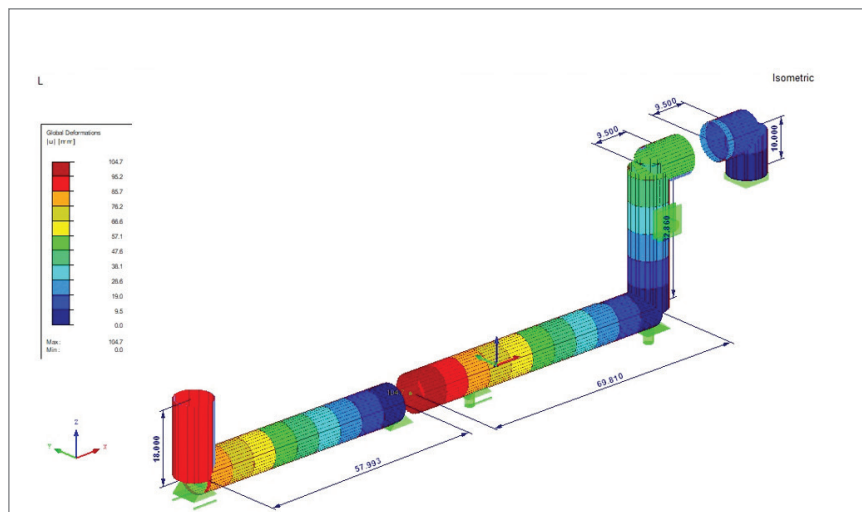
Wyzwanie stanowiło znalezienie kompromisu pomiędzy optymalnym doбором kształtu z uwagi na straty przepływu a rozwiązaniem zapewniającym korzystne warunki wykonania i montażu kanału. W środku chłodni, z uwagi na warunki podparcia, zdecydowano na zastosowanie kolana 90° z użyciem kierownicy. Od strony absorbera rozważano rozwiązania kolan od zbliżonych do łukowych (model 1) do kolan 90° z kierownicami (modele 2 do 4). Kanał spalin będzie odprowa-



Rys. 2. Schemat statyczny kanału spalin wraz z podziałem na segmenty



Rys. 3. Maksymalne reakcje podporowe

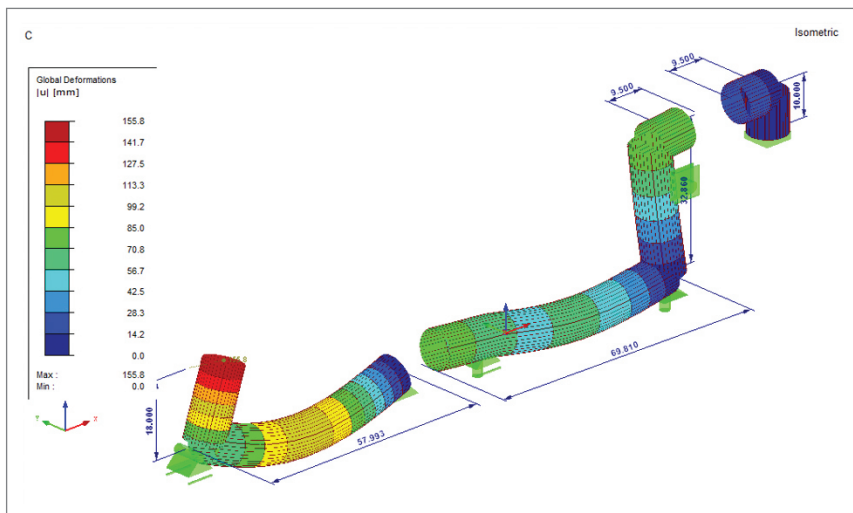


Rys. 4. Deformacje oraz reakcje podporowe od oddziaływania temperatury

dział spalin odsiarczone w ilości 2 900 000 Nm<sup>3</sup>/h w temperaturze 54°C. Prędkość przepływu w warunkach przepływu laminarnego nieznacznie przekracza 15 m/s. Z uwagi na załamania kanału powstają zaburzenia przepływu powodujące znaczny wzrost prędkości spalin oraz straty ciśnienia. Rys. 7. i rys. 8.

przedstawiają odpowiednio rozkłady ciśnienia i prędkości przepływu w analizowanych przypadkach.

Jak widać, optymalny z uwagi na parametry przepływu jest model 4, w którym przyjęto, że wszystkie kolana wykonane zostaną pod kątem 90° z zastosowaniem kierownic spalin

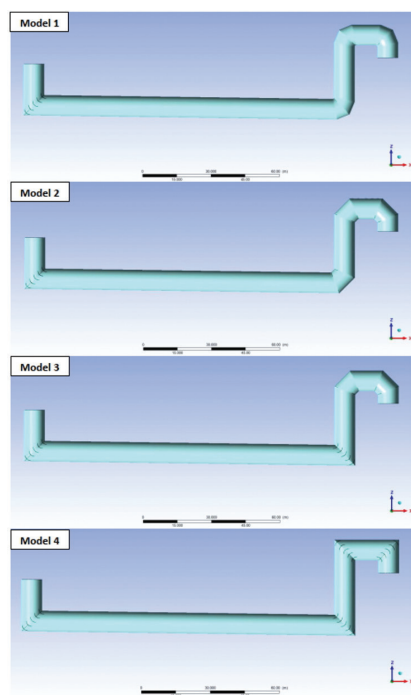


Rys. 5. Maksymalne wartości ugięcia kanału spalin

(po 5 sztuk w każdym kolanie). Model 4 przyjęto ostatecznie do realizacji.

### Parametry materiałowe i konstrukcyjne kanału

Do wykonania kanału spalin przyjęto żywicę GF-VE Derakane 411 oraz szkło ECR. Warstwa nośna ścianki osłonięta jest warstwą ochronną, antykorozyjną, o grubości min. 2,5 mm. Grubości ścianki kanału wahają się od 15 do 30 mm i są wynikiem szczegółowych obliczeń konstrukcyjnych. Obliczenia oraz wymiarowanie przeprowadzono zgodnie z [4] oraz [5]. Z uwagi na brak rozwiązań normowych dla kanałów spalin z TWS zdecydowano się na zastosowanie wyżej wymienionej normy oraz wytycznych. Szczegółowa analiza statyczna obejmuje sprawdzenie maksymalnych odkształceń, kontrolę dopuszczalnych



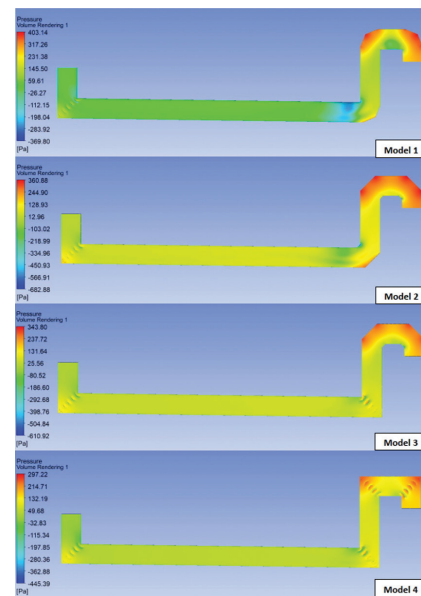
Rys. 6. Modele kanału podlegające analizie przepływu

nych naprężeń, analizę stateczności ścianek kanału oraz kontrolę przemieszczeń. Z uwagi na dużą średnicę kanału (9000 mm) konieczne jest zastosowanie żebrowania wzmacniającego, które wykonane są z laminatów. Rys. 9. przedstawia typowe rozwiązanie, w którym sztywność uzyskuje się poprzez wykonanie przekroju trapezowego wypełnionego pianką poliuretanową.

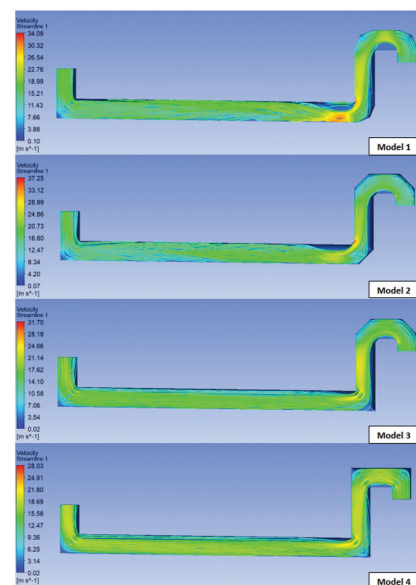
Podpory kanału spalin zdecydowano wykonać w formie zintegrowanej konstrukcji TWS połączonej z przewodem kanału spalin. Rozwiązanie podparcia pokazano na rys. 10. Wykonanie podpór z tworzywa sztucznego zapewnia dużą odporność korozyjną oraz łatwość wykonania (brak łączenia dwóch materiałów TWS i stal).

### Techniczne aspekty montażu kanału

Jak wspomniano w na początku artykułu z uwagi na ograniczenie kosztów konstrukcji wsporczych i montażu konieczna była optymalizacja geometrii, co miało wpływ na ostateczny sposób podparcia i montażu poszczególnych odcinków kanału. W typowym rozwiązaniu, za absorberem, zastosowano by jedynie poziomy odcinek kanału wprowadzający spaliny do wnętrza chłodni. W analizowanym przypadku, z uwagi na wysokość absorbera ~50 m, oś poziomego kanału spalin znajdowałaby się na wysokości ~58 m ponad terenem. Koszty konstrukcji wsporczych, zarówno żelbetowej wewnątrz chłodni, jak i stalowych na zewnątrz,



Rys. 7. Rozkład ciśnień w analizowanych modelach



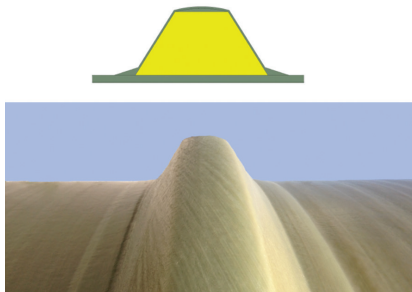
Rys. 8. Rozkład prędkości przepływu w analizowanych modelach

jak również koszty montażu, wykluczyły takie rozwiązanie. Z uwagi na kolejność montażu kanał ukształtowano i podzielono zgodnie z rys. 1. Pomiędzy słupami chłodni przewidziano powiększone pole umożliwiające transport kanału do wnętrza chłodni. Rys. 11. przedstawia sposób transportu kanału z podobnego projektu.

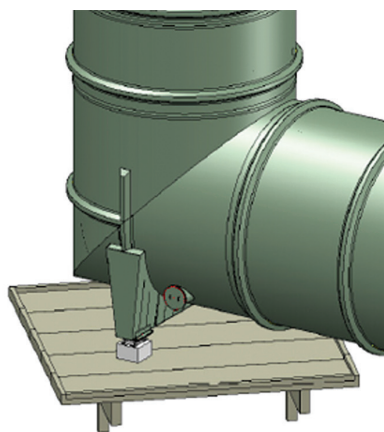
Tab. 1. Zestawienie wyników obliczeń CFD

Model	Maks. prędkość przepływu (m/s)	Maksymalne nadciśnienie (Pa)	Strata ciśnienia na wlocie (Pa)
1	34,1	403,1	277,2
2	37,3	360,9	226,1
3	31,7	343,8	178,2
4	28,0	297,2	152,5





Rys. 9. Żebro wzmacniające kanał spalin



Rys. 10. Zintegrowana podpora TWS

Po przetransportowaniu kanału do wnętrza następuje jego podniesienie i umieszczenie na podporach na powłoce chłodni oraz na stole w osi chłodni. Odcinek pionowy kanału zostaje dolaminowany do części poziomej, stanowiąc jeden monolityczny element. Montaż kanału zewnętrznego również jest podzielony na kilka etapów. Część poziomą kanału transportuje się z miejsca produkcji do miejsca podnoszenia i za pomocą dźwigów umieszcza się na podporach stalowych pomiędzy chłodnią i absorberem. Do odcinka poziomego domontowany zostaje odcinek pionowy z górnym kolaniem. Elementy te zostają połączone poprzez laminowanie, stanowiąc jeden układ konstrukcyjny. Ostatnim etapem jest montaż kolana do

absorbera. Następnie są montowane kompensatory, jeden przy powłoce chłodni oraz jeden przy absorberze.

### Podsumowanie

Projektowanie oraz budowa wspomnianego kanału spalin nakłada na zaangażowane strony przeanalizowanie wielu aspektów technicznych, począwszy od projektowania, a skończywszy na planowaniu montażu na budowie. W przypadku opisanego rozwiązania na etapie planowania konieczna jest analiza konstrukcji żelbetonowych (powłoka chłodni oraz konstrukcja wewnętrzna), stalowych (wieże konstrukcji wsporczej pomiędzy chłodnią a absorberem) oraz samego kanału z tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym. Rozwiązanie kanału spalin ma wpływ na wymiarowanie samej powłoki chłodni kominowej z uwagi na uwzględnienie oparcia kanału na powłoce oraz na dobór rozstawu radialnych słupów wsporczych. Sposób i kolejność montażu mają wpływ na harmonogram realizacyjny całego przedsięwzięcia. Prawidłowe zaplanowanie realizacji wymaga miesięcy projektowania i przygotowań oraz koordynacji na wszystkich szczeblach realizacji. Zadanie takie stanowi trudne przedsięwzięcie techniczne.

### Literatura:

- [1] EPRI Revised Wet Stack Design Guide – 2012 Technical report.
- [2] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Obciążenie wiatrem.
- [3] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
- [4] PN-EN 13121-3:2016-08 – Naziemne zbiorniki z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym. Część 3: Projektowanie i wykonanie.
- [5] DIBT Berechnungsempfehlungen für stehende Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen 40 B1, Ausgabe Mai 2011.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.9705

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA  
Kociniak Michał, Kosiarski Jarostaw, 2020, Techniczne aspekty budowy kanału spalin odsiarczonych w nowym bloku Elektrowni Ostrołęka C. „Builder” 04 (273). DOI: 10.5604/01.3001.0013.9705

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono szereg czynników, które zostały uwzględnione przy projektowaniu kanału spalin odsiarczonych metodą mokrą w nowo budowanym bloku Elektrowni Ostrołęka C. Odległość od osi absorbera do osi chłodni kominowej oraz wysokość absorbera sprawiły, iż konieczne było przeprowadzenie wielu analiz w celu poprowadzenia kanału z TWS (tworzywo wzmacniane włóknem szklanym) w sposób odbiegający od tradycyjnego. Dzięki temu uniknięto wysokich stalowych konstrukcji wsporczych na zewnątrz chłodni oraz wysokiej konstrukcji wsporczej na riserze wewnątrz chłodni, zapewniając przy tym odpowiednie parametry przepływu spalin oraz odpowiednią wytrzymałość kanału z TWS.

**Słowa kluczowe:** kanał spalin, TWS (tworzywo sztuczne wzmacniane włóknem szklanym), CFD (obliczeniowa dynamika płynów), odsiarczanie

**Abstract:** TECHNICAL ASPECTS OF CONSTRUCTING FRP DUCT WITH DESULPHURIZED GASES IN THE NEW UNIT IN OSTROŁĘKA C POWER PLANT

The paper presents a number of factors that have been taken into account when designing the desulphurized flue gas duct in the newly built unit in the Ostrołęka C Power Plant. The distance from the absorber axis to the cooling tower axis, and the height of the absorber made it necessary to perform many analyzes in order to design FRP duct in a way different from the traditional one. This avoids high steel support structures outside the cooling tower and a high support structure on the riser inside the cooling tower, while ensuring adequate flue gas flow parameters and adequate FRP duct strength.

**Keywords:** flue gas duct, FRP (fiber reinforced polymer), CFD (computational fluid dynamics), desulphurization



Rys. 11. Transport kanału do chłodni kominowej