

## Mobilny System Ochrony Przeciwpowodziowej w Kolonii Jedyny na świecie tego typu system do ochrony przeciwpowodziowej

### Wprowadzenie

Prace nad realizacją nowego projektu ochrony przeciwpowodziowej, przyjętego przez Radę Miasta Kolonii na początku 1996 roku, trwały od końca 2004 roku. Oficjalna uroczystość otwarcia, która miała miejsce 13 maja 2006, zakończyła budowę głównego odcinka nowej ochrony przeciwpowodziowej pomiędzy mostami Deutzer Brücke i Hohenzollern Brücke.

Do końca 2008 planowane jest zbudowanie systemu zabezpieczającego na dalszych odcinkach liczących w sumie 64 kilometry po obu stronach Renu. Ochrona ma wynosić 11,30 m wodowskazu znajdującego się w Kolonii (na obszarach wysokiego ryzyka do 11,90 m, na obszarze Porz/Zündorf 10,70 m).

Z założenia, nowy system ochrony przeciwpowodziowej ma w znacznym stopniu zasymilować się z tożsamością, atrakcyjnością i jakością życia terenów położonych nad rzeką. Dlatego też na długości około 9,3 km, na obszarze około 13.200 m<sup>2</sup> rozmieszczone zostały mobilne ściany przeciwpowodziowe.

### Zasady dotyczące funkcjonowania mobilnych ścian przeciwpowodziowych składających się z belek zaporowych

System wraz ze swoimi mobilnymi częściami składa się zasadniczo z dwóch elementów. Są to:

- słupy pośrednie, które montuje się w regularnych odstępach w przypadku zagrożenia powodzią;
- belki zaporowe, które układane są pomiędzy słupami pośrednimi.

Do aktywowania ochrony wymagane są kolejne dwa elementy systemu: połączenie gwintowe (śruby) i technika docisku (klucz do kompresji).

Przy montażu słupy pośrednie łączone są śrubami z uprzednio przymocowaną na stałe do podłoża konstrukcji żelbetonowej płytą kotwiącą. W celu uzyskania wysokiej szczelności systemu, należy dokonać kompresji belek zaporowych w kierunku pionowym przy pomocy klucza do kompresji. W ten sposób następuje uszczelnienie belek zaporowych i do-



*Nowa ściana systemu ochrony przeciwpowodziowej na Starym Mieście w Kolonii*



*Cokół z kamienia naturalnego (wysokość wodowskazu w Kolonii: 9,30m)*



*Montaż słupów pośrednich*



*Słupy z belkami zaporowymi*



*Kompletna ściana ochrony przeciwpowodziowej (wysokość wodowskazu w Kolonii: 11,30 m)*

Sukcesywna prezentacja budowy systemu

ciśnięcie najniższej leżącej belki do podłoża.

Stosowanie kluczy do kompresji może nastąpić jedynie w przypadku mobilnych

ścian przeciwpowodziowych o wysokości powyżej 4,0 metrów, wówczas system składa się tylko z czterech komponentów.

## Koncepcja dotycząca wymiarów mobilnych elementów konstrukcyjnych

Zastosowanie jednego w swoim rodzaju pod względem rozmiaru, mobilnego systemu do ochrony przeciwpowodziowej wynika z kompleksowej sytuacji Kolonii, która przyjęła taką koncepcję ochrony przeciwpowodziowej.

Uwzględniając szczególny rozmiar w scenariuszu możliwego obciążenia wzięto pod uwagę, dodatkowo do spiętrzenia całkowitego (co odpo-

wiada zdarzeniu powodziowemu o wartości 11,30 wodowskazu w Kolonii), obciążenie powierzchniowe o wartości 2 ton na  $m^2$  ( $= 20 \text{ k/Nm}^2$ ) na najwyższym metrze mobilnej ściany. Aby zwiększyć bezpieczeństwo, podwyższono te obciążenia dodatkowo o 35% (patrz: kombinacja podstawowa, przypadek 1 DIN 19704-1, tabela 5). Jako alternatywny miarodajny ciężar zastępczy uwzględniono uderzenie pędzącego ciała z obciążeniem o wartości 3 ton ( $= 30 \text{ k/N}$ ) w najbardziej niekorzystne miejsce elementu konstrukcyjnego. Wielkość

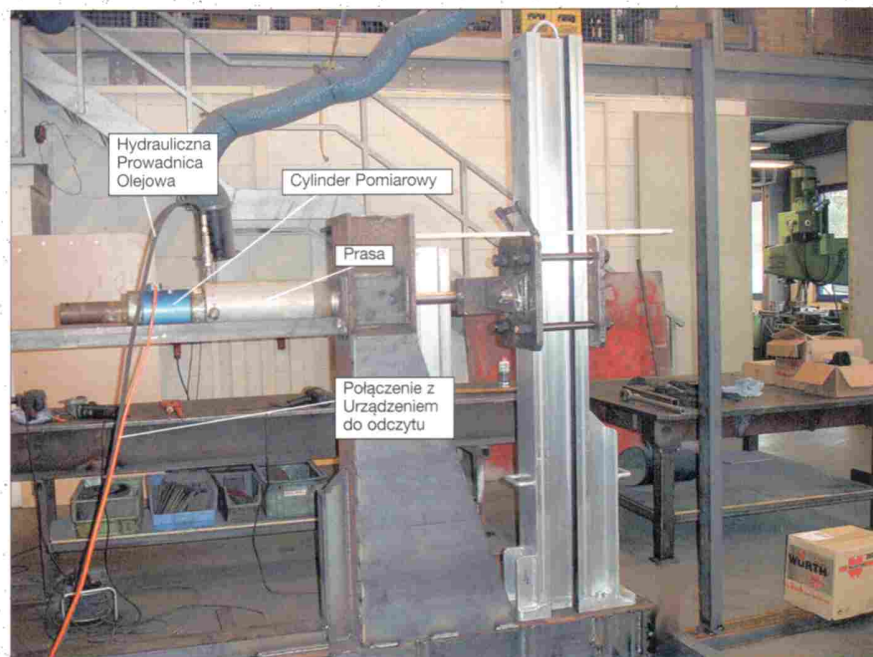
tego obciążenia została podwyższona o dodatkową wartość, która wynosi 21,5% (patrz: kombinacja podstawowa, przypadek 2, DIN 19704-1, tabela 5).

Kolejnym elementem zabezpieczającym na wypadek awarii śruby poddanej na rozciąganie muszą być pozostałe śruby kotwiące, służące do przymocowania słupów. W przypadku zredukowanych naprężeń przejmują one wyżej wymienione obciążenia. Taka koncepcja wymiarowania gwarantuje zastosowanie tylko wytrzymałych konstrukcji budowlanych.

## Deformacja/plastyfikacja/niszczenie słupów

W celu faktycznego poznania zarówno procesu deformacji jak również niszczenia słupów, dokonano próby poprzez nadmierne obciążenie oryginalnego słupa (o wysokości spiętrzenia 2,10 m). Wyniki doświadczenia przedstawiono na diagramie. Słup zachowuje swoją konstrukcję linearno-elastyczną do zetknięcia się z obciążeniem o wartości 140kN. Na diagramie przedstawia to prosta Hooke'a. Odpowiada to 75kN równoważnego miarodajnego obciążenia wymiarowego (na charakterystycznym poziomie obciążenia). Tym samym znajduje się około 85% poniżej teoretycznego rozpoczęcia plastyfikacji konstrukcji słupów.

Oznacza to, że pod wpływem działającego przyjętego do pomiarów obciążenia, nie powstają żadne utrzymujące się deformacje i w związku z tym konstrukcja może być używana ponownie w sposób nieograniczony.



Stanowisko doświadczalne z testowanym słupem

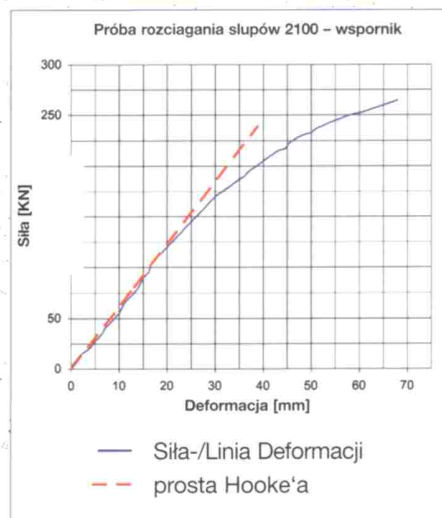


Diagram obrazujący deformację konstrukcji pod wpływem ciężaru

## Dane dotyczące obciążenia niszczącego

Oczekiwane zniszczenie nastąpiło po stronie rozciągania stopy słupa pod wpływem obciążenia 270kN. Moment niszczący wynosił odpowiednio  $270 \text{ kN} \times 1,2 \text{ m} = 324 \text{ kNm}$ . Na krótko przed osiągnięciem obciążenia niszczącego deformacja po-

## Rzeczywista sztywność elementów konstrukcyjnych

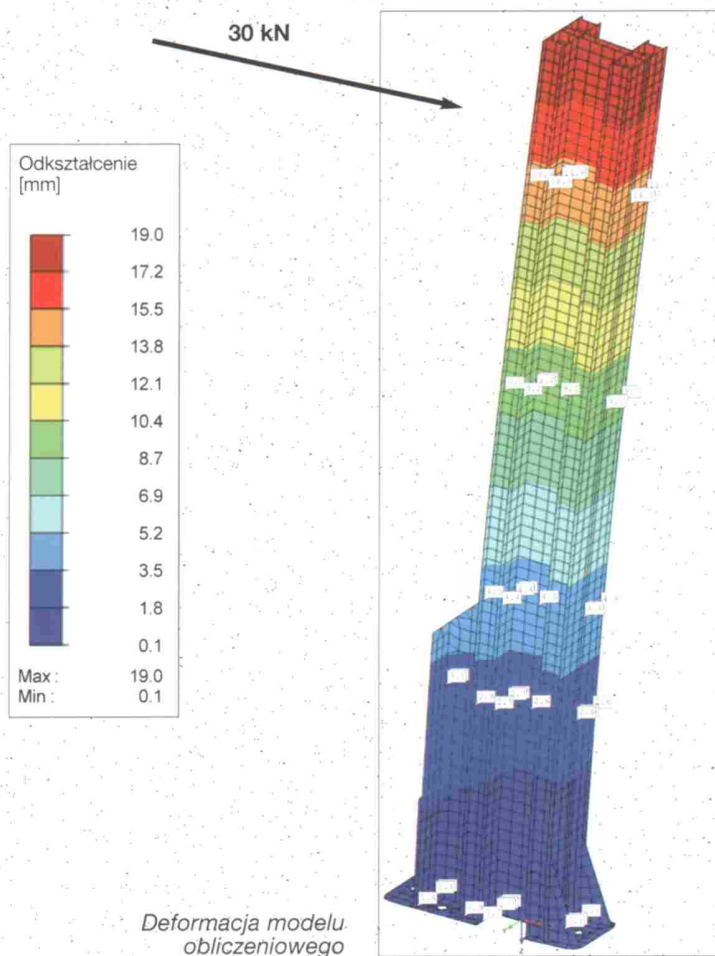
Na podstawie danych uzyskanych w doświadczeniach można było zgromadzić wygenerowane modele elementów konstrukcyjnych do oszacowania. Tym samym potwierdzone zostało, że stworzone na podstawie obliczeń modele teoretyczne wystarczająco dokładnie odzwierciedlają rzeczywistość, a wyniki rachunkowe posiadają odpowiednio niezawodną moc. Stąd uzyskuje się dane odnośnie rzeczywistej sztywności słupów. Są one interesujące szczególnie pod względem pytań dotyczących zmian dynamicznych. Przedstawiona przy pomocy izometrii symulacja obciążenia skupionego o wartości 30kN osiąga na szczycie słupa deformację rzędu 19 mm. Rezultatem tego jest sztywność wynosząca około 1580 kN/m.

## Porównanie obciążeń nośnych występujących podczas próby niszczenia z obciążeniami wymiarowymi

Pomiar tzw. wody stuletniej odpowiada wysokości wodowskazu w Kolonii wynoszącej 11,20 m. System ochrony przeciwpowodziowej posiada 10 cm wyniesienie, tzn. jego wysokość wynosi 11,30 m wartości wodowskazu. W wyżej opisanej koncepcji pomiarowej zostały odpowiednio uwzględnione oddziaływania wynikające z parcia lodu, piętrzenia fali lub obciążenia dynamicznego (uderzeniowego). Miarodajny moment niszczenia na podstawie doświadczenia wynosi 324 kNm. Towarzyszą mu określone czynniki.

zioma słupa mierzona na wysokości 1,41 m wynosiła 68mm. Zniszczenie elementu konstrukcyjnego poprzedzała widoczna deformacja. Opisane doświadczenie dostarcza ważnych wartości niezbędnych do oszacowania ewentualnego krytycznego stanu deformacji konstrukcji. Po osiągnięciu obciążenia niszczącego niszczenie elementu konstruk-

cyjnego przebiega momentalnie. Kołnierz rozciągania stopy słupa rwie się w strefie wpływów ciepła. Po przez pojawienie się ciepła do obszarów elementu konstrukcyjnego przylegającego do spoiny (= strefy wpływu ciepła) ma miejsce przemiana strukturalna (= utrata elastyczności) stopów aluminium, co ostatecznie powoduje proces przelamania.



Środki do transportu osób (np.: windy, kolejki) muszą posiadać wytrzymałość na zniszczenie o wartości 10. Porównywalnie: wartość zabezpieczenia słupa testowanego pod wzglę-

dem zniszczenia pod wpływem hydrostatycznego parcia wody podczas powodzi stulecia jest wyższa od bezpieczeństwa środków do transportu osób (wynosi 12,1).

Schemat oddziaływania	M <sub>CR</sub> /M <sub>CL</sub> > zabezpieczenie przed zniszczeniem według DIN 4113	
Spiętrzenie początkowe w powodzi stulecia	12,1	> 2,5
Spiętrzenie pełne	10,5	> 2,5
Spiętrzenie pełne z obciążeniem 20 kN/m <sup>2</sup> dodatkowego obciążenia powierzchniowego	4,0	> 2,5
Spiętrzenie pełne z obciążeniem skupionym 30 kN	3,6	> 2,5

## Szybkość montażu

Opisaną wcześniej bezpieczną nośność konstrukcji elementów budowlanych można by osiągnąć bez problemów przy zastosowaniu odpowiednio cięższego materiału. Jednakże działanie mobilnego systemu ochrony przeciwpowodziowej ma sens tylko wtedy, gdy można go zamontować na czas, tzn. bezpośrednio przed nadejściem fali powodziowej. Taki montaż zakłada użycie lekkich i małogabarytowych elementów. Aby oprócz belek zaporowych można było umieścić także słupy do wysokości spiętrzenia do 2,10 m pod ciężarem 70 kg, specjalnie dla systemu



*Dwóch mężczyzn niesie słup pośredni o wysokości 2,10 m*

## Bezpieczeństwo montażu

Opisana w tym rozdziale kolejność montażu ścian mobilnego systemu ochrony przeciwpowodziowej składającego się z belek zaporowych nie jest skomplikowana. Dlatego można szybko zapoznać z nią personel obsługujący i łatwo koordynować przebieg montażu. Do przykręcenia słupów i zastosowania kluczy do kompresji potrzebne są jedynie dwa różne klucze z zakończeniem sześciokątnym (nimbus). Słupy o takiej samej wysokości pasują do każdego w tym celu przewidzianego stanowiska i są wymienne. W regulacji przy rozstawianiu słupów pomaga zintegrowana ze słupem tuleja centrująca, która umieszcza je na właści-



*Przykręcanie stopy słupa i klucza do kompresji*

## Podsumowanie

Mobilny system ochrony przeciwpowodziowej dla miasta Kolonii jest szczytowym projektem tego typu. Bardzo niskie położenie topograficzne leżącej nad Renem metropolii od dawna zmuszało mieszkańców do przedsięwzięcia środków w celu obrony przed powodzią. Od lat władze odpowiedzialne za bezpieczeństwo miasta analizują w sposób profesjonalny liczne techniki ochrony przeciwpowodziowej. I tak nie przez przypa-

dek w 1994 roku wybudowano pierwszą mobilną ścianę ochrony przeciwpowodziowej o długości kilkuset metrów w dzielnicy Kolonii, Porz/ Zundorf. System ten zapoczątkował rozwój i budowę wielu średnich i większych ścian przeciwpowodziowych w obrębie wszystkich wód całego rejonu. Zebrane podczas ostatnich 12 lat doświadczenia, związane z funkcjonowaniem wielu tysięcy metrów kwadratowych wybudowanych

przeciwpowodziowych w Kolonii zaprojektowano nowy rodzaj słupów z czystego aluminium. Mogą być one zamontowane przez dwóch mężczyzn, bez udziału dodatkowych urządzeń mechanicznych w optymalnym czasie. Siedmiu mężczyzn jest w stanie w ciągu godziny zamontować stumetrową ścianę przeciwpowodziową o wysokości np.: 1,50 m.

wym miejscu. Dzięki naprowadzaniu można uniknąć ukośnego zamontowania śrub. Niewłaściwy montaż może nastąpić tylko w przypadku znacznego niedbalstwa. Istotna pomyłka w ustawianiu słupów jest niemożliwa dzięki odpowiednio zróżnicowanym oznakowaniom śrub.

ochronnych ścian przeciwpowodziowych, miały na celu stworzenie systemu, który przy pomocy najnowocześniejszej techniki będzie w stanie odpowiedzialnie sprostać wyzwaniu, jakim jest powódź.

## Autor

Xaver Storr, Dipl. Ing.,  
Leiter Vertrieb,  
IBS GmbH Thierhaupten