

EWA KOZICKA
Inż. KATARZYNA MATRAS
Inż. KAMIL NIEMIRSKI
Inż. PIOTR LESZCZEWICZ
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

O działalności Koła Naukowego Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej

Koło Naukowe Konstrukcji Metalowych (KNKM) działa przy Zespole Konstrukcji Metalowych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, kierowanym przez dr. inż. *Stanisława Wierzbickiego*. Podstawowym celem działalności Koła jest pogłębianie wiedzy z zakresu budownictwa, projektowania i realizacji konstrukcji metalowych oraz metalowo-szklanych. Opiekę merytoryczną nad działalnością Koła zapewnia dr inż. *Maciej Cwyl*.

Osoby działające w Kole mają możliwość zapoznawania się z tematyką projektowania przez udział w wykonywaniu prac projektowych oraz eksperckich prowadzonych pod kierunkiem wykładowców. Realizują badania laboratoryjne oraz biorą udział w wyjazdach konferencyjnych i szkoleniowych. W ramach działalności Koła są przygotowywane również publikacje naukowo-techniczne, a także odbywają się wyjazdy na aktualnie realizowane budowy jako niezbędny element doskonalenia zawodowego.

Udział w działalności naukowej

• **Badania w ramach grantów rektorskich.** Ostatni rok prac badawczych i rozwojowych w KNKM był związany z projektem pt. „Badania i diagnostyka utraty stateczności ogólnej prętów ściskanych dla ustrojów nośnych budynków/hal przemysłowych”, prowadzonym w ramach grantu rektorskiego nr 540020200145, uzyskanego w konkursie uczelnianym. Grant został zrealizowany dzięki udostępnieniu sprzętu laboratoryjnego przez Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej, prof. *Andrzeja*

Garbacza. Celem projektu było opracowanie systemu sygnalizującego utratę stateczności prętów ściskanych osiowo w typowych dźwigarach prętowych hal stalowych, a więc sygnalizowaniu stanu przedawaryjnego elementów konstrukcji.

System opiera się na wskazaniach projektanta konstrukcji, który typuje pręty i elementy, w których przy przekroczeniu normowych wartości obciążeń wystąpią niedobory nośności. Następnie, w zależności od smukłości i rodzaju zastosowanych kształtowników, na elemencie jest montowany czujnik, który będzie sygnalizował stan wyężenia pręta. Czujnik jest dobierany tak, aby sygnał pojawiał się przy stanie wyężenia pręta wynoszącym 95÷99% jego nośności. Do prac badawczych dobrano aparaturę, opracowano koncepcję jej wykorzystania. Przeprowadzono też analizę statyczną typowych wiązarów hal stalowych. Prace badawcze obejmowały również opis procesu zniszczenia ściskanych prętów stalowych o różnej smukłości wykonanych z wybranych kształtowników walcowanych. Zjawisko utraty stateczności badano w odniesieniu do kształtowników rurowych i kątowników odwzorowujących w skali 1:1 elementy hali przemysłowej poddanej analizie na potrzeby badań (rys. 1).

Przedstawiane w ramach prac badawczych rozwiązanie dotyczy badania stanu odkształconego pojedynczych/wybranych prętów. Jest rozwiązaniem informującym o stanie awaryjnym obiekcie, przeciążeniu konstrukcji i konieczności interwencji użytkowników. W KNKM skupiono się na stanie granicznym nośności i przy takich założeniach zaprojektowano system, wykorzystując zjawiska ogólnej utraty stateczności pręta.



Rys. 1. Badany pręt: rura kwadratowa z elementami systemu i stanowisko badawcze

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych potwierdzono skuteczność systemu. Obecnie trwają prace nad jego udoskonaleniem oraz opracowaniem wspomaganie elektronicznego, które będzie kompatybilne z elementami prototypu. Uzyskane wyniki prac badawczych są konsultowane z Kołem Naukowym „BIONIK” działającym na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych oraz Kołem Naukowym Modelowania Numerycznego.

Pozytywne efekty badań stwarzają realną szansę, aby zaprojektowany i zbadany system diagnostyczny stał się innowacyjnym rozwiązaniem rynkowym. Wdrożenie rozwiązania wiąże się z możliwością jego adaptacji do oceny stanu technicznego różnych konstrukcji. Trzeba zaznaczyć, że KNKM prowadzi w tym zakresie współpracę z jednostkami przemysłowymi, np. firmą WiSeNe. Współpraca studentów z tą firmą stała się możliwa dzięki wcześniej realizowanemu przez Wydział Inżynierii Lądowej zadaniu badawczemu w ramach projektu MONIT „Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji i ocena jej żywotności”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Prace inwentaryzacyjne, obliczenia statyczne i raportowanie stanu wyężenia obiektów są związane z udziałem studentów zrzeszonych w Kole w pracach o charakterze eksperckim, wykonywanych pod kierunkiem kadry naukowo-badawczej.

Udział w działalności eksperckiej

W ramach działalności Zespołu Konstrukcji Metalowych wykonuje się corocznie kilka ekspertyz, w których członkowie KNKM biorą udział. Niżej przedstawiono tematykę tych prac wykonywanych w ostatnich dwóch latach.

- **Elewacje metalowo-szklane.** KNKM uczestniczyło w kilku ekspertyzach technicznych dotyczących oceny prawidłowości wykonania lekkich struktur metalowo-szklanych. W ramach prac eksperckich wykonywano ocenę przyjętych rozwiązań projektowych, inwentaryzowano błędy wykonawcze oraz oceniano stan zużycia struktur elewacyjnych. Dzięki temu studenci mają możliwość zapoznania się normami budowlanymi, które nie są objęte podstawowym zakresem nauczania, np. z pakietem norm PN-EN 1999 czy PN-EN 13830. W odniesieniu do inwentaryzowanych rozwiązań konstrukcyjnych oraz ocenianych pod względem użytkowym i ich bezpieczeństwa przeprowadzono analizy numeryczne zarówno konstrukcji, elementów fasad, jak i samych tafli szklanych. Ocena dotyczyła błędów wykonawczych i projektowych, które wpływały na zmianę wartości sił wewnętrznych i naprężeń.

Jedną z przykładowych prac realizowanych w zakresie współpracy KNKM z pracownikami Zakładu Konstrukcji Metalowych była ocena stanu elewacji wysokiego budynku biurowego, stanowiącego część kompleksu handlowego w Warszawie, oddanego do użytku w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Jest to budynek 16-kondygnacyjny, o konstrukcji w postaci żelbetowego ustroju słupowo-płytowego. Elewację budynku stanowiła konstrukcja metalowo-szklana, o słupowo-ryglowej konstrukcji nośnej, zaprojektowana jako ściana kur-

tywnowa wykuszu oraz ściana wypełniająca poza wykuszem. Opinia dotyczyła oceny niewłaściwego zachowania się ścian osłonowych, problemów z samodzielnym wypadaniem szyb, a także odpadaniem elementów metalowych od elewacji budynku oraz nieszczelności tych ścian. Podczas wizji lokalnej stwierdzono liczne błędy wykonawcze, zarówno będące pozostałością etapu realizacji obiektu, jak i eksploatacji, m.in. w wyniku braku szczelności, pęknięcia szyb i odprysków, wywołanych wtrąceniami

tlenków niklu, a także objawiające się odstawianiem listew dociskowych lub ich brakiem w ścianach kurtynowych. W czasie oceny technicznej stwierdzono błędne rozmieszczenie dylatacji konstrukcji prętowej, błędne mocowania pakietów szybowych i zastosowanie niewłaściwych rozwiązań podczas prowadzenia doraźnych napraw. Skutki niewłaściwych rozwiązań struktury metalowo-szklanej przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Skutek braku właściwego rozmieszczenia dylatacji metalowo-szklanej struktury elewacyjnej

Drugim przykładem jest opinia techniczna systemu aluminiowo-szklanej obudowy balkonów w 8-kondygnacyjnym budynku wielorodzinnym o konstrukcji w postaci żelbetowego ustroju słupowo-płytowego, o wymiarach w planie 80×80 m. Zakres ekspertyzy obejmował sprawdzenie ściany wypełniającej w systemie bezramowym o pojedynczych taflach szklanych. W skład elewacji wchodził system przesuwny, podwieszony do górnego zespołu jezdnego. Zastosowane szyby zostały zamocowane bez elastycznych przekładek i bez niezbędnego luzu. Nierównomierne dokręcenie okuć spowodowało miejscową koncentrację naprężeń. Złe dobrano długości paneli, szerokości i długości szyb. Projekt wykonawczy nie uwzględnił niezbędnego dylatowania metalowej struktury fasady i żelbetowego ustroju nośnego budynku. Ugięcia płyt stropowych przenosiły się na obudowę ściany osłonowej.

- **Konstrukcje prętowe.** Inną grupę wykonywanych prac eksperckich stanowiły konstrukcje prętowe hal o konstrukcji kratowej oraz układy ramowe budynków i budowli przemysłowych. Studenci uczestniczący w przygotowaniu tego rodzaju opinii byli odpowiedzialni za stworzenie modelu numerycznego całej konstrukcji przestrzennej lub jej reprezentatywnego fragmentu (w przypadku dużych obiektów). Wykonywane prace wymagały od studentów określenia długości wybożeniowych prętów ściskanych, określenia długości, na jakich są analizowane zjawiska zwichrzenia elementów belkowych, wyznaczenia podatności węzłów i obliczenia układów prętowych z zastosowaniem teorii prętów cienkościennych.

Koło współpracowało w opracowaniach dotyczących przestrzennych układów prętowych, w tym przy ocenie przyczyn zawalenia się dwóch obiektów szklarniowych o łącznej powierzchni 2 ha. Analizowane konstrukcje miały typową, modułową konstrukcję nośną, wykonaną z cienkościennych kształ-

towników giętych z blach oraz walcowanych. Szklarnie, zaprojektowane i wykonane w sposób poprawny, jako obiekty wolno stojące zostały narażone na bardzo duże obciążenia wynikające z występowania zasp śnieżnych od strony wyższych szklarni, dobudowanych w okresie późniejszym. Ważnym czynnikiem decydującym o wartościach obciążeń przyjmowanych na powierzchnie dachu były warunki termiczne wewnątrz szklarni. Temperatury w ich wnętrzu w okresie zimowym miały redukować pokrywą śniegową zalegającą na dachu.

Kolejna ekspertyza dotyczyła oceny przyczyn uszkodzenia hali przemysłowej. Był to obiekt o wymiarach osiowych 108,0x120 m, o układzie ramowym, czterotraktowy, o dźwigarach długości 24 i 36 m, w większości wykonanych z podwójnych kątowników lub ceowników, zróżnicowany pod względem wysokości (przewyższenie w centralnej części). Konstrukcja była zakończona z jednej strony rampą wyładunkową przykrytą daszkiem wspornikowym długości 5 m. W trakcie opracowywania ekspertyzy stwierdzono ponadnormatywne obciążenie śniegiem na elementach wspornikowych hali. Studenci zapoznali się z mechanizmem zniszczeń i deformacji środków słupów stalowych w węzłach mocujących dach rampy oraz sposobem przekazania oddziaływań na przestrzenny układ nośny hali z elementami dachu, które uległy zniszczeniu. Praca studentów KNKM skupiła się głównie na stworzeniu przestrzennych modeli obliczeniowych obiektu. Konstrukcja w czasie 40-letniej eksploatacji była kilka razy wzmacniana. Każdy z etapów wzmocnienia oceniono na podstawie analizy oddzielnego modelu obliczeniowego umożliwiającego określenie stanu wytrzymałości konstrukcji obiektu.

Trzeba też wspomnieć o ekspertyzie dotyczącej konstrukcji hali „Koszyki” w Warszawie. Prace nad oceną stanu technicznego jej konstrukcji rozpoczęły się już w 2007 r. w Zespole Konstrukcji Metalowych pod kierunkiem prof. *Wojciecha Żółtowskiego* i z przerwami były realizowane do czasu oddania przeprojektowanego obiektu do użytkowania. Studenci Koła byli pomocni przy inwentaryzowaniu uszkodzeń słupów i dźwigarów stalowych (przestrzelenia w czasie wojny i ubytki pożarowe), opracowaniu dokumentacji i przygotowaniu przestrzennego modelu konstrukcji. Konstrukcja miała zabytkowy charakter, z ciekawymi, łukowo wyprofilowanymi pasami dolnymi dźwigarów oraz nitowanymi połączeniami w węzłach. Zabytkowy charakter obiektu wymusił współpracę projektantów z miejscowym konserwatorem zabytków. Wynikiem prowadzonych prac było wykonanie przez członków Koła kilku prac dyplomowych, zawierających koncepcje odtworzenia przebudowywanej hali „Koszyki”.

• **Uszkodzenia obiektów spowodowane pożarami.** Poza halą „Koszyki” studenci z Koła mieli możliwość udziału w opracowaniu opinii dotyczących konstrukcji hali zniszczonej na skutek pożaru. W trakcie przygotowania opinii studenci inwentaryzowali uszkodzenia pożarowe elementów i węzłów, a następnie wykonywali obliczenia elementów konstrukcyjnych w celu oceny ich przydatności do dalszego użytkowania. Uwzględniono też parametry stali ogrzanej w trakcie trwania pożaru i wychłodzonej w sposób naturalny. Podjęta tematyka była interesująca również ze względu na stosowane zabezpieczenia przeciwpożarowe oraz zabezpieczenia korozyjne stali.

Studenci brali też udział w ocenie stanu technicznego elementów konstrukcji hali przemysłowej uszkodzonej wskutek pożaru. Stalowa konstrukcja dachu tego obiektu była oparta na żelbetonowych słupach z suwnicami na belkach stalowych. Członkowie Koła mogli zapoznać

się z uszkodzeniami poszycia dachu, zniszczeniami dźwigarów stalowych i belek toru jezdnego suwnicy. Ekspertyza stanowiła również okazję do oceny nośności połączeń śrubowych, spawanych oraz stateczności ogólnej dźwigarów stalowych tracących nośność ze względu na zniszczenia połączeń z blachą poszycia, która stanowiła stężący element tarczowy (zabezpieczała pasy górne przed zwichrzeniem).

Członkowie Koła pomagali również przy ocenie nośności elementów hali handlowej o lekkiej konstrukcji stalowej. Podstawową konstrukcją nośną przekrycia hali stanowiły stalowe dźwigary kratownicowe z kształtowników giętych na zimno. Studenci wykonali badania wytrzymałościowe, których celem było określenie parametrów materiałowych stali poddanej działaniu wysokiej temperatury. Wykonali również obliczenia sprawdzające z uwzględnieniem stateczności miejscowej i ogólnej wielogęzgowych elementów konstrukcyjnych oraz całego ustroju.

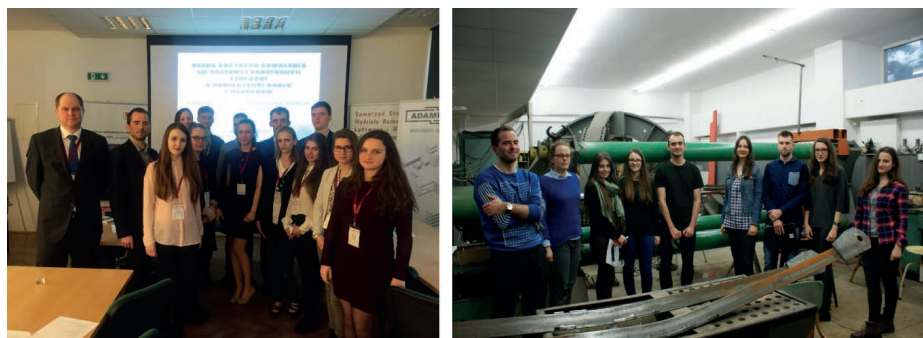
Działalność pozauczelniana

Studenci Koła brali udział w II międzynarodowych targach budowlanych „Building Solutions”, które odbyły się 21–23.04.2017 r. Była to okazja do wymiany doświadczeń z członkami innych kół naukowych. Członkowie KNKM przygotowali stoisko, na którym przedstawili swoje dokonania w zakresie prac badawczo-rozwojowych, eksperckich i dydaktycznych. Zwiedzający mogli przetestować działanie wcześniej opisanego systemu obserwacji konstrukcji na specjalnie przygotowanych przez członków Koła modelach konstrukcji.

Warto również zwrócić uwagę na udział studentów w tematycznych wycieczkach technicznych oraz konferencjach naukowo-technicznych. Tradycją stały się wyjazdy do wytwórni szkła „Pilkington” lub producenta systemów metalowo-szklanych „Reynaers”. Umożliwiają one zapoznanie się studentów z zagadnieniami projektowania pakietów szybowych i kształtowników aluminiowych według PN-EN 1999. Odwiedzano również place budowy, np. budynku Warsaw Spire i Elektrowni Kozienice.

Członkowie Koła brali udział w konferencjach, m.in. „KONstruktor 2017”, zorganizowanej przez Politechnikę Wrocławską w marcu 2017 r. w Szklarskiej Porębie. Studenci KNKM zaprezentowali własne referaty. Referat pt. „Ocena przyczyn zawalenia się prętowej konstrukcji szklarni o powierzchni około 2 hektarów” (autorzy: *Anna Kaczmarczyk, Lidia Komarowska, Kamil Niemirski, Piotr Drewniak*) zdobył I miejsce w konkursie referatów. Cykl wystąpień obejmował szeroką tematykę zarówno konstrukcji metalowych, metod badawczych konstrukcji betonowych, modelowania konstrukcji, jak i zagadnień związanych z fizyką budowli.

Dwa referaty dotyczące tematyki konstrukcji metalowo-szklanych studenci Koła przedstawili na XIV konferencji naukowo-technicznej „LogiTrans 2017” w Szczyrku 24–27.04.2017 r. Te referaty zostały opracowane jako prace zespołowe członków Koła i opiekuna naukowego na podstawie materiałów uzyskanych w trakcie wykonywanych ekspertyz technicznych.



Rys. 3. Członkowie KNKM: podczas konferencji „KONstruktor 2017” oraz w laboratorium Wydziału Inżynierii Łądowej

KNKM współpracuje też z Kołem Naukowym Budowlanych – Sekcją Konstrukcyjną Politechniki Rzeszowskiej. Poszukując form samodoskonalenia, organizuje również różnego rodzaju szkolenia. Koło skupia obecnie 13 studentów (rys. 3 na str. 403).

PIŚMIENNICTWO I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1] *Cwyl M., Kosieradzka K., Leszczewicz P., Kalata A., Drewniak P.*: Ocena konstrukcji zawałonych szklarni ogrodowych. „Świat szkła” nr 10/2016.
[2] *Kaczmarczyk A., Komorowska L., Niemirski K., Drewniak P.*: Ocena przyczyn zawalenia się prętowej konstrukcji szklarni o powierzchni około

- 2 hektarów. IV konferencja studentów i doktorantów wydziałów budownictwa, Szklarska Poręba, 17–19.03.2017 r.
[3] *Kosieradzka K., Kozicka E., Stępniewski J., Dmowska I.*: Błędy projektowanych i użytkowanych fasad metalowo-szklanych. IV konferencja studentów i doktorantów wydziałów budownictwa, Szklarska Poręba, 17–19.03.2017 r.
[4] PN-EN 1993-1 Eurokod 3: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
[5] PN-EN 1999 Eurokod 9: Projektowanie konstrukcji aluminiowych.
[6] PN-EN 13031-1:2003: Szklarnie – Obliczanie i konstrukcja – Część 1: Szklarnie dla produkcji handlowej.
[7] PN-EN 572-1: Szkło w budownictwie – Podstawowe wyroby ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego. Definicje oraz ogólne właściwości fizyczne i mechaniczne.
[8] PN-EN 13830: Ściany osłonowe.