

GEOTECHNIKA

Adam BALAWEJDER
Wojciech KOZŁOWSKI
Andrzej SUROWIECKI
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Politechnika Opolska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

STATECZNOŚĆ NASYPU WZMOCNIONEGO ŚCIANĄ GABIONOWĄ W WARUNKACH NAPORU WODY POWODZIOWEJ

Celem artykułu jest przedstawienie wybranych elementów analizy stateczności nasypu komunikacyjnego skarpy zabudowaną jednostronnie ścianą gabionową, poddanego naporowi wody w sytuacji kryzysowej, którą może być np. powódź. Piętrzenie wody występuje na skarpie niezabudowanej ścianą gabionową. Nasyp nie jest obciążony na koronie. Przyjmując przypadek piętrzenia wody powodziowej na wysokości korony nasypu, opracowano: dyskretyzację obszaru filtracji, rozkład prędkości i siatkę hydrodynamiczną oraz określono powierzchnie poślizgu.

Słowa kluczowe: nasyp, ściana gabionowa, powódź

STABILITY OF GABION RETAINING WALL REINFORCING EMBANKMENT IN THE CONDITION OF FLOOD WATER PRESSURE

The subject of the article concerns the stability of transport earth structures and with the so-called light retaining structures. The behavior of the embankment with gabion wall built slope was analyzed, adopting an example of unilateral water pressure in case of flooding. The final results of stability calculations made by Fellenius and Bishop in the form of slide surface with the lowest coefficient have been quoted. Next, assuming a case of the maximum level of floodwater impoundment the following was done: discretization of filtration area, velocity and hydrodynamic grid and the course of the slide surface. The configuration of the wall is a variable parameter.

Jerzy BAUER
Janusz KOZUBAL
Wojciech PUŁA
Marek WYJADŁOWSKI
Politechnika Wrocławska

PROBABILISTYCZNA OCENA PRZEMIESZCZEŃ GŁOWICY PALA PODDANEGO OBCIĄŻENIOM POZIOMYM

Przedstawiono probabilistyczną analizę przemieszczeń głowicy pala poddanego obciążeniu siłą losową. Celem pracy jest określenie długości pala, która z zadaniem prawdopodobieństwem zapewnia nieprzekroczenie dopuszczalnego przemieszczenia poziomego głowicy. Ponadto zapre-

zentowano koncepcję kalibracji cząstkowych współczynników bezpieczeństwa, które mogą uprościć obliczenia na etapie projektowania. Metoda składa się z trzech segmentów numerycznych – modelowania trójwymiarowego metodą elementów skończonych, algorytmu znajdowania powierzchni odpowiedzi oraz obliczeń wskaźników niezawodności.

Słowa kluczowe: Pal fundamentowy, przemieszczenie głowicy, metoda elementów skończonych, powierzchnia odpowiedzi, wskaźnik niezawodności.

PROBABILISTIC ASSESSMENT OF PILE HEAD DISPLACEMENTS UNDER LATERAL LOAD

The method of probabilistic analysis of laterally loaded piles displacement has been presented. The aim of the method is to determine pile's geometry in such a way that guarantee that displacement of pile's head not exceed an allowable threshold with specified level of probability. The method additionally offers finding material partial safety factors of elastic subsoil interacting with the pile. The method consists of three numerical parts, which are three-dimensional finite element modelling, algorithm of creating of a response surface and reliability computations.

Mirosław BUKOWSKI
Grzegorz BARTNIK
Instytut Dróg i Mostów
Politechnika Warszawska

GEOTECHNICZNA OCENA GRUNTÓW PODDANYCH SPEŁZYWANIU NA PRZYKŁADZIE SKARPY WIŚLANEJ

Analizując stateczność zbocze możemy zauważyć, że zachowuje ono globalną stateczność (głębsze powierzchnie poślizgu), podczas gdy przypowierzchniowe warstwy stoku podlegają cyklicznemu spełzywaniu. W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne obliczania stateczności zbocza poddanego procesowi pełzania, wzięto pod uwagę także grunty poddane dynamicznemu działaniu wód podziemnych. Omówiono stateczność zbocza przy spełzywaniu w świetle zasad granicznego stanu naprężeń, korzystając z metody zastosowanej przez Terzagiego do oceny nośności pionowej podłoża. Przedstawiono krótki przykład obliczeniowy.

Słowa kluczowe: pełzanie, zbocze, deluwia, koluwia,

GEOTECHNICAL ESTIMATION OF SOIL SUBJECTED CREEP DEFORMATION ON EXAMPLE THE VISTULA SLOPE

Analyzing slope stability it can be noticed that the slope global stability is maintained (deeper areas of the slip surface), while the surface layers of the slope are subject to cyclical creep. The paper presents theoretical bases of calculating slope stability affected by creep deformation, also soils subjected to the dynamic effect of underground waters were taken into consideration. Slope stability was discussed under creep process in the light of the rules of the border condition of stresses, using the method used by Terzaghi to evaluate the vertical bearing capacity of soils. A brief computational example was presented.

ANALIZA PROCESÓW DEFORMACYJNO - NAPRĘŻENIOWYCH W BRYLE GRUNTOWEJ BADANEJ PŁYTĄ DYNAMICZNĄ ZFG-01

W pracy opisano analizę zachowania bryły gruntu piaszczystego poddanej badaniu za pomocą lekkiej płyty dynamicznej ZFG-01. Przeprowadzono identyfikację dynamicznego modułu sztywności podłoża gruntowego w oparciu o profil przyspieszeń zarejestrowany podczas testu udarowego. Założono, że nieliniowość ośrodka będzie wyrażona zmienną w czasie wartością dynamicznego modułu sztywności. Identyfikacja została przeprowadzona z uwagi na proces na podstawie autorskiego programu obliczeniowego umożliwiającego opis falowy zachowania się walcowej bryły gruntu.

Słowa kluczowe: lekka płyta dynamiczna, obciążenie udarowe, identyfikacja, moduł sztywności podłoża gruntowego

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN PROCESSES IN SOIL SOLID TESTED BY MEANS OF LIGHT DROP TESTER ZFG-01

The paper presents an analysis of the behavior of sandy soil solid tested by means of ZFG-01 light drop tester. The dynamic stiffness modulus of the ground was identified on the basis of recorded acceleration during impact test. It was assumed that nonlinearity of the ground was described by time-dependent values of the dynamic stiffness modulus. The identification was carried out by an original calculation program which enabled the description of wave propagation in cylindrical soil solid.

Anna JUZWA
Joanna BZÓWKA
Politechnika Śląska

ZASTOSOWANIE KOLUMN FUNDAMENTOWYCH W BUDOWNICTWIE DROGOWYM

W artykule, na przykładzie odcinka autostrady A1 od Węzła Sośnica do Węzła Bełk, przedstawiono zastosowanie kolumn fundamentowych, jako wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasypami drogowymi. Scharakteryzowano kolumny kamienne wbijane, kolumny DSM oraz iniekcyjne. Potwierdzono konieczność stosowania kolumn fundamentowych w posadowieniu obiektów infrastruktury drogowej.

Słowa kluczowe: budownictwo drogowe, wzmocnianie słabego podłoża gruntowego, kolumny kamienne wbijane, kolumny DSM, kolumny iniekcyjne

APPLICATION OF FOUNDATIONS COLUMNS IN ROAD ENGINEERING

In the paper application of foundations columns in road engineering are presented. The columns application for subsoil improvement for embankment foundations is shown using the example of a new part of A1 motorway from Sośnica to Belk junction. The driven stone columns, DSM and jet grouting columns are described to confirm the necessity of using these types of columns for road structures foundations.

Maciej Kordian KUMOR

Szymon TOPOLIŃSKI

Katedra Geotechniki

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

BADANIE WYBRANYCH GEOTECHNICZNYCH ZALEŻNOŚCI MATERIAŁOWYCH KOMPOZYTU CEMENT – TORF

Artykuł przedstawia wyniki i analizę wstępnych badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie zróżnicowanych kompozytów cement - torf, formowanych metodą mieszania. Badania prowadzone były w warunkach laboratoryjnych na próbkach sześciennych i cylindrycznych. Sposób formowania próbek przyjęto opierając się o wytyczne metody fińskiej oraz zastosowano własną metodykę wynikającą z rozpoznania problemu we wcześniejszych badaniach prowadzonych w Katedrze Geotechniki UTP w Bydgoszczy. Na obecnym etapie badań wykazano skuteczność stosowania cementu w odpowiednich proporcjach jako stabilizatora gruntów organicznych a szczególnie torfów.

Słowa kluczowe: stabilizacja, grunty słabe, grunty organiczne, DSM, DMM

THE RESEARCH OF SOME GEOTECHNICAL CEMENT - PEAT COMPOSITE MATERIAL RELATIONS

The article presents the results of preliminary research and analysis of uniaxial compressive strength test of different cement - peat composites formed by mixing method. The research was conducted in the laboratory on cubic and cylindrical samples. The sample forming method was taken on the basis of the Finnish method guidelines and the author's original methodology resulting from previous studies conducted in the Geotechnical Department of UTP in Bydgoszcz. At this stage the study has shown the efficacy of cement in the proper proportions as an organic soil stabilizer.

Marzena LENDO-SIWICKA

Anna ŁADA

Kazimierz GARBULEWSKI

SGGW, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinżynierii

PROJEKTOWANIE BUDOWLI WEDŁUG EUROKODU 7 Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH

W artykule przedstawiono zasady sprawdzania stanów granicznych projektowanych budowli według Eurokodu 7 z uwzględnieniem oddziaływań wynikających z obecności lub przepływu w podłożu wody podziemnej. Wymagania normowe zastosowano do obliczeń projektowych budynku podpiwniczonego sprawdzając możliwość zniszczenia hydraulicznego przez wyparcie (UPL) i budowli hydrotechnicznej - jazu, sprawdzając możliwość zniszczenia hydraulicznego przez unoszenie cząstek gruntu, prowadzące do przebicia (HYD). Wyniki obliczeń wykorzystano do opracowania wniosków przydatnych w praktyce projektowania geotechnicznego budowli według Eurokodu 7.

Słowa kluczowe: projektowanie, Eurokod 7, stany graniczne, zniszczenie hydrauliczne

DESIGN OF STRUCTURE ACCORDING TO EUROCODE 7 WITH CONSIDERING HYDRAULIC FAILURE

The paper presents the principles and rules of Eurocode 7 required for the verification of the design structures considering the hydraulic failure. Eurocode 7 requirements were applied in the design of two structures as follows: building with an underground basement and a concrete weir. Two limit states of the design structures were verified, mainly uplift and heave. Based on the calculation results the conclusions were drawn, which would be useful for the geotechnical design of structures regarding the hydraulic conditions.

Jerzy SĘKOWSKI

Krzysztof STERNIK

Katedra Geotechniki Politechniki Śląskiej w Gliwicach

ANALIZA STATECZNOŚCI SKARPY TYMCZASOWEGO WYKOPU W SĄSIEDZTWIE ISTNIEJĄCEJ ZABUDOWY

Referat prezentuje analizę stateczności skarpy wykopu o głębokości 6 m projektowanego w celu wykonania odwodnienia wokół istniejącego budynku. Na etapie projektowania robót ziemnych rozważano kilka wariantów nachylenia skarpy i jej zabezpieczenia grodzicami stalowymi. Stateczność analizowano metodą elementów skończonych. W ich wyniku wybrano i zrealizowano optymalny wariant wykonania wykopu.

Słowa kluczowe: stateczność skarpy, obudowa wykopu, MES

STABILITY ANALYSIS OF TEMPORARY EXCAVATION IN VICINITY OF EXISTING BUILDING

The paper presents stability analysis of 6m deep excavation planned in the vicinity of an existing building. The excavation was planned for the construction of perimeter drainage. Several variants of excavation wall inclination and sheet piling protection have been analyzed. Stability of the excavation wall has been checked for all variants. Based on the results of FEM analyses the optimum variant has been chosen and performed.

Dariusz SOBALA
Wojciech TOMAKA
Politechnika Rzeszowska, AARSLEFF Sp. z o.o.
AARSLEFF Sp. z o.o.

NOŚNOŚĆ ŻELBETOWYCH PALI PREFABRYKOWANYCH NA PODSTAWIE BADAŃ W WARUNKACH GRUNTOWYCH PODKARPACIA

W referacie przedstawiono wyniki 184 badań statycznych i dynamicznych nośności żelbetowych pali prefabrykowanych wbijanych wykonanych na Podkarpaciu w latach 2009-2011. Uzyskane w trakcie badań nośności porównano z obliczonymi w projektach fundamentów palowych. Porównanie wykazało znaczące zapasy rzeczywistych nośności pali w stosunku do obliczonych. Sformułowano wnioski dotyczące kierunków dalszych badań i analiz mających na celu modyfikację stosowanych procedur projektowania geotechnicznego żelbetowych pali prefabrykowanych.

Słowa kluczowe: pal prefabrykowany, nośność pala, badania nośności pali

BEARING CAPACITY OF RC DRIVEN PILES BASED ON THE RESULTS OF TEST PERFORMED IN THE SOIL CONDITIONS OF PODKARPACIE, POLAND

The paper provides an overview of 184 static and dynamic load tests performed on driven precast reinforced concrete piles in Podkarpacie, Poland, in the years 2009-2011. The obtained bearing capacities were then compared with those calculated under pile foundation projects. The analysis shows significant real-load bearing capacity reserves as compared with design parameters. Consequently, new directions for further research and analyses are proposed, which are aimed at modifying the standard geotechnical design procedures currently applied for precast reinforced concrete piles.

Małgorzata SUPERCZYŃSKA
Rafał KUSZYK
Monika MITEW-CZAJEWSKA
Instytut Dróg i Mostów
Politechnika Warszawska

OCENA PARAMETRÓW MECHANICZNYCH IŁÓW PLIOCEŃSKICH NA POTRZEBY BUDOWY TUNELI II LINII METRA W WARSZAWIE

W referacie przedstawia się informacje dotyczące ośrodka gruntowego, jakim są iły pliczeńskie – grunty spoiste, skonsolidowane, występujące w podłożu wielu obiektów inżynierskich na terenie całego kraju. Autorzy przeanalizowali numerycznie pracę tarczy zmechanizowanej, drążącej tunele metra w Warszawie, w ośrodku gruntowym zbudowanym z iłów. Efektem analizy jest próba wskazania optymalnego modelu gruntu dla obliczeń deformacji gruntu nad wyrobiskiem metra. Zagadnienie to jest istotne dla prawidłowej oceny osiadań budynków zlokalizowanych nad tunelami.

Słowa kluczowe: iły pliczeńskie, parametry geotechniczne iłów, modele gruntu, metro

ESTIMATION OF PLIOCEN CLAY MECHANICAL PARAMETERS FOR WARSAW II METRO LINE CONSTRUCTION

Paper submit information about plicen clay – cohesive, consolidated soil, basement of many engineering constructions in Poland. Authors made a numerical analysis of mechanized shield (Tunnel Boring Machine) which will build metro tunnels in Warsaw. Huge part of those tunnels will be bored in plicen clay formation. In the analysis authors tried to find the optimum soil model to predict settlements of the terrain over metro excavation. This phenomena is fundamental to make a proper estimation of building deformation near underground investigation.

Andrzej SUROWIECKI
Wojciech KOZŁOWSKI
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Politechnika Opolska

BADANIA CECH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH FIZYCZNEGO MODELU GABIONU

Temat artykułu dotyczy ścian oporowych skonstruowanych z koszy siatkowo-kamiennych (tzw. gabionów), stosowanych w budownictwie komunikacyjnym w celu zabezpieczenia skarp budowli ziemnych przed osuwiskami. Celem artykułu jest oszacowanie cech wytrzymałościowych gabionu w funkcji parametrów zmiennych związanych z kruszywem wypełniającym kosz i siatkową powłoką kosza. Metoda badawcza jest oparta na podstawie autorskich pomiarów przestrzennego stanu odkształcenia fizycznych modeli gabionów, wykonanych w skali laboratoryjnej.

Słowa kluczowe: model gabionu, cechy wytrzymałościowe, badania laboratoryjne

INVESTIGATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF PHYSICAL GABION-MODEL

The subject of the paper refers to gabion retaining walls, as the solution of earthen structures protection of motor roads and railway roads against the slope failures. Were presented the test of estimation of strength characteristics of gabions on the basis of deformations researches of physical gabion models. In particular estimated: the factor of horizontal pressure, the effect of load capacity increase on account of net-basket and the horizontal reinforcing rod and shear strength.

Krzysztof WILK
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Zakład Geotechniki i Hydrotechniki

BADANIA ODKSZTAŁCALNOŚCI GRUNTÓW MADOWYCH

W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych parametrów związanych ze zmianami objętościowymi gruntów spoistych akumulacji rzecznej. Podstawowymi parametrami ustalonymi w wyniku testów były edometryczne moduły ścisłości M oraz moduły odkształcenia objętościowego K . Na ich podstawie ustalone zostały wartości współczynnika Poissona ν , jako wielkości opisującej charakterystykę odkształceniową gruntu. Przeprowadzone analizy wykazały zmienność badanych parametrów spowodowaną warunkami powstawania podłoża, a także ich zależność od warunków w jakich testowane były próbki. Ponieważ grunty aluwialne nie były poddawane w przeszłości istotnym obciążeniom prekonsolidującym, wpływ historii obciążeń stosowanych podczas badań na wartości współczynnika Poissona jest dosyć wyrazisty. Analiza wyników badań skłania do odrzucenia metod pośrednich określania charakterystyki podłoża madowego i stosowania bezpośrednich metod badawczych.

Słowa kluczowe: grunty madowe, współczynnik Poissona gruntu ν , moduł odkształcenia objętościowego K , edometryczny moduł ścisłości M

INVESTIGATIONS OF ABILITY TO DEFORMATION OF FEN SOILS

This paper presents the results of laboratory parameters associated with volume changes in cohesive soils of river accumulation origin. The basic parameters established by the test were oedometric modulus of compression M and modulus of compressibility K . Poisson's ratio ν , as the values describing the characteristics of ground deformation, were determined on the basis of mentioned parameters. Performed analysis showed variability of investigated parameters. That was caused by conditions of subsoil formation and was depended on conditions of the samples testing. Because of the alluvial soils have not been subjected to significant preconsolidation loads, the influence of used in the test load history on the values of Poisson's ratio is quite clear. The analysis of the test results incline to rejection of indirect methods of fen soil estimation and application of direct research methods.

Anna WYSOWSKA
Marcin HERING
TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.

WYZNACZENIE ZAWARTOŚCI WOLNYCH PRZESTRZENI ZA POMOCĄ METODY GEORADAROWEJ

Badania zawartości wolnych przestrzeni metodą georadarową przeprowadzono na odcinku próbnym w Komlo na południu Węgrzech po trzech latach od jego wybudowania. Odcinek próbny o długości 180m charakteryzował się zmianą konstrukcji co 30m (VI sekcji). Pomiary wykonano wzdłuż siedmiu równoległych linii przy zastosowaniu 100 skanów na metr i prędkości jazdy 40km/h. Otrzymane wyniki zinterpretowano pod kątem zawartości wolnych przestrzeni wykorzystując uśrednioną wartość stałej dielektrycznej. Największą zawartość wolnych przestrzeni stwierdzono wzdłuż linii pierwszej od km 0+060 do km 0+160, która wynosiła średnio 9,25% oraz na linii 5 w km 0+170, wynosiła ona 9,2%. Na podstawie otrzymanej wartości stałej dielektrycznej i zawartości wolnych przestrzeni otrzymanych za pomocą metody georadarowej wykreślono zależność, która potwierdziła odwrotny charakter obu parametrów. Ponadto porównano otrzymane wyniki z metody georadarowej (GPR) z wynikami zawartości wolnych przestrzeni jakie otrzymano z badań laboratoryjnych. Identyczne wyniki otrzymano dla sekcji V (9,5%), najbardziej zbliżone dla sekcji II (7,0% - z badań laboratoryjnych, 7,6% - z badań GPR), a najbardziej rozbieżne wyniki otrzymano dla sekcji I (8,4% - z badań laboratoryjnych, 6,4% - z badań GPR) i sekcji IV (6,7% - z badań laboratoryjnych, 8,7% - z badań GPR). Różnice mogą wynikać z 10% granicy błędu w pomiarach GPR oraz z faktu iż próbki do badań laboratoryjnych były pobierane w innym okresie niż były wykonywane badania metodą georadarową.

Słowa kluczowe: metody elektromagnetyczne, georadar, GPR, zawartość wolnych przestrzeni, bezinwazyjne rozpoznanie nawierzchni, Komlo, Węgry

DETERMINATION OF AIR VOID CONTENT USING GROUND PENETRATING RADAR METHOD

Studies of the air void content GPR method were performed on a test section in the south of Hungary Komlo. The test section length of 180m was characterized by a change in the structure at 30m (Section VI). The measurements were taken in seven parallel lines, using 100 scans per meter and the speed of the invasion of 40km/h. The results obtained are interpreted in terms of air void content using the average value of the dielectric constant. The highest amount of voids was found along the first line from km 0+060 to km 0+160, which averaged 9.25% and on-line at km 0+170, it stood at 9.2%. In addition, the results were compared with the GPR method with the results of air void content that was obtained from laboratory tests. Identical results were obtained in Section V (9.5%), most similar to Section II (7.0% - from laboratory studies, 7.6% - the test GPR), and the most divergent results were obtained in Section I (8.4% - from laboratory studies, 6.4% - the test GPR) and Section IV (6.7% - from laboratory studies, 8.7% - the test GPR). The differences may result from the 10% range of error in the measurement of GPR and the fact that the samples for laboratory testing were collected at a different time than the GPR survey was carried out. The use of an antenna with a higher frequency (2GHz) would allow to an examination of the air void content separately for each layer.

KONSTRUKCJE BETONOWE

Lidia BUDA-OŻÓG
Przemysław WOJTOWICZ
Politechnika Rzeszowska

OCENA STOPNIA USZKODZENIA OBCIĄŻONYCH BELEK ŻELBETOWYCH NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYK DYNAMICZNYCH

W niniejszej pracy przedstawiono metodę oceny stanu technicznego belek żelbetowych na podstawie zmiany charakterystyk częstotliwościowych. Praca zawiera wyniki z przeprowadzonych badań statycznych oraz dynamicznych. Badania dynamiczne przeprowadzono dla różnych stanów zarysowania belki jak również dla belek pod obciążeniem i po odciążeniu. W analizowanym paśmie charakterystyki częstotliwościowej wybrano częstości skorelowane z uszkodzeniem elementów oraz częstości wzbudzone przez obciążający układ hydrauliczny.

Słowa kluczowe: belka żelbetowa, częstość własna, zarysowanie, obciążenie.

FAILURE ESTIMATION OF LOADED REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE BASIS OF CHANGES IN DYNAMIC CHARACTERISTICS

The paper discusses methods of diagnosing the technical condition of reinforced concrete beams, based on changes in dynamic characteristics. The objects of research were reinforced concrete (RC) beams. Testing of RC beams included both static and dynamic tests. A series of step loaded static tests was aimed at producing successive damage to the beams. For each load step and after load step (at the moment of displacement and strain stabilization), dynamic testing followed. On the basis of the obtained results from loaded and unloaded beams an effort was made to correlate the data concerning the damage of the tested beams with the changes of the modal parameters.

Barbara GOSZCZYŃSKA
Grzegorz ŚWIT
Wiesław TRAMPCZYŃSKI
Aleksandra KRAMPIKOWSKA
Justyna BRYŁA
Paweł TWORZEWSKI
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

WERYFIKACJA DOŚWIADCZALNA IDENTYFIKACJI I LOKALIZACJI ZARYSOWANIA BETONU PRZY ZASTOSOWANIU METODY EMISJI AKUSTYCZNEJ

Celem pracy jest weryfikacja eksperymentalna identyfikacji sygnałów emisji akustycznej odpowiadających powstawaniu i rozwojowi rys przez system monitoringu, który oparty jest na koncepcji pomiaru emisji akustycznej generowanej przez aktywne procesy destrukcyjne. System ten prezentowany był w pracach [4,5,6]. Ze względu na to, że udokumentowanie uzyskiwanych rezultatów metodą emisji akustycznej jest bardzo trudne, przeprowadzono weryfikację procesu zarysowania podczas badania belek żelbetowych obciążanych do zniszczenia, wykonując w sposób ciągły pomiary sygnałów emisji akustycznej i jednocześnie rejestrując odkształcenia powierzchni bocznej belki przy pomocy skanera optycznego 3D (Aramis). Na podstawie porównania uzyskanych wyników udokumentowano, iż rejestrowane sygnały emisji akustycznej rzeczywiście odpowiadają procesowi powstawania i rozwoju rys. Stwierdzono również, że metoda AE pozwala nie tylko na właściwą identyfikację procesu powstawania rys, ale także umożliwia ich lokalizację na długości belki.

Słowa kluczowe: monitoring, emisja akustyczna, weryfikacja, żelbet, procesy destrukcyjne

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF CRACKS LOCALIZATION AND IDENTIFICATION WITHIN CONCRETE, USING THE ACOUSTIC EMISION METHOD

A global monitoring system for prestressed concrete structures, based on the measurement of acoustic emission (AE) due to active deterioration processes, was presented in [5,6]. It is shown that this system can be applied also for concrete structures (beams) i.e.:

- almost the same reference data base for damage processes can be used,
 - AE data base for crack initiation and crack growth, obtained during specially designed laboratory tests, well describes the processes observed also on the technical scale (beams),
 - AE system allows also for precise identification and localization of damage processes (as shown in Figs 4 and 5 in the case of crack growth).
-

MODEL TARCIA WEWNĘTRZNEGO W POZIOMYM ZESPOLENIU ŻELBETOWYCH PŁYT DWUWARSTWOWYCH

Założono, że między dolną a górną warstwą betonu w żelbetowych płytach dwuwarstwowych znajduje się warstwa kontaktowa. Zdefiniowano model warstwy kontaktowej przyjmując, że wywoływane są w niej siły sprężyste oraz niezachowawcze siły tarcia wewnętrznego rozpraszające energię. W procesie obciążania i odciążania modelu powstaje pętla histerezy, na podstawie której zdefiniowano współczynnik pochłaniania energii. Mała wartość tego współczynnika świadczy o małej sztywności zespolenia. Wyniki badań doświadczalnych [1] wskazują, że elementy cechujące się małą sztywnością zespolenia, pod wpływem narastającego obciążenia, ulegają rozwarstwieniu. Spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonych analiz teoretycznych są jedną z podstaw opracowywanej metody określania stanu zespolenia warstw betonu stropów żelbetowych na podstawie dysypacji energii w zespoleniu. Przykładem konstrukcji, w której będzie można stosować opracowywaną metodę są tzw. stropy deskowe składające się z żelbetowego deskowania traconego, w którym znajduje się zbrojenie przeszłowe i betonu układanego na budowie, w którym umieszcza się zbrojenie przejmujące momenty ujemne.

Słowa kluczowe: żelbetowe stropy dwuwarstwowe, konstrukcje zespolone, tarcie wewnętrzne, dysypacja energii

MODEL OF INTERNAL FRICTION IN HORIZONTAL CONNEXION OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE TWO - PLY SLABS

Reinforced composite floors consist of two layers of concrete: the bottom one, which is a prefabricated slab, and the top one, which is cast in situ. The presented model assumes that longitudinal shearing in the interface of those floors is balanced by elastic forces and internal friction. This assumption is valid until the value of displacement of two layers of concrete is less than approximately 0.1 mm. In the loading and unloading cycle the loop of hysteresis appears. This loop allows making a definition of the coefficient of energy dissipation. Small value of this coefficient enable the prediction that a slab will fail due to delamination of two layers of concrete.

Tomasz KASPRZAK
Piotr KONDERLA
Kazimierz MYŚLECKI
Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej

FIZYCZNIE NIELINIOWA ANALIZA ŻELBETOWEJ POWŁOKI CHŁODNI KOMINOWEJ

Nieliniowej analizie poddano żelbetową powłokę chłodni kominowej. W procesie wzrostu obciążenia powłoki zastosowano moduły sieczne odpowiedzi materiału betonu i zbrojenia. W tym celu powłokę podzielono na kilkanaście warstw betonu i zbrojenia. Podstawowym obciążeniem mającym wpływ na nieliniowe wyęźnienie powłoki jest oddziaływanie wiatru. Przeprowa-

dzona analiza metodą elementów skończonych wykazała lokalne przekroczenie granicznych odkształceń zbrojenia, bez globalnej utraty nośności całej konstrukcji powłoki chłodni.

Słowa kluczowe: chłodnia kominowa, konstrukcja żelbetowa, metoda elementów skończonych, analiza fizycznie nieliniowa

MATERIAL NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE COOLING TOWER SHELL

The shell of a cooling tower is modeled by 13-layered finite elements. Nonlinear behavior of both materials – steel and concrete was achieved using the secant moduli method. The analyses have been performed under an applied weight and wind loads. The numerical simulation of deformations and stress was performed by the finite-element-system COSMOS/M. The nonlinear analysis shows local exceeding of maximum strains in steel (50‰) but the global load capacity of the cooling tower is not achieved.

The shell of a cooling tower is modeled by 13-layered finite elements. Nonlinear behavior of both materials – steel and concrete was achieved using the secant moduli method. The analyses have been performed under an applied weight and wind loads. The numerical simulation of deformations and stress was performed by the finite-element-system COSMOS/M. The nonlinear analysis shows local exceeding of maximum strains in steel (50‰) but the global load capacity of the cooling tower is not achieved.

Jacek KORENTZ
Uniwersytet Zielonogórski

METODA OBLICZANIA UGIĘCIA BELEK ŻELBETOWYCH WZMOCNIONYCH MATERIAŁEM KOMPOZYTOWYM

Wzmocnienia konstrukcji materiałami kompozytowymi są coraz częściej stosowane. We wzmocnionych tą techniką belkach żelbetowych może dojść do uplastycznienia jej zbrojenia podłużnego. Znane metody obliczania ugięcia belek żelbetowych oparte są na dwufazowym modelu sztywności i dlatego nie uwzględniają tego faktu. Opracowany przez autora trójliniowy model zależności moment-krzywizna dla zginanego wzmocnionego elementu żelbetowego pozwolił na opracowanie metody obliczania ugięcia wzmocnionych belek żelbetowych, która jest zaprezentowana w tym opracowaniu. Uzyskane tą metodą wyniki obliczeń wykazują dosyć dużą zgodność z wynikami badań doświadczalnych.

Słowa kluczowe: belka żelbetowa, wzmocnienie, zginanie, krzywizna, ugięcie.

A METHOD FOR CALCULATION THE DEFLECTION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH FRP

External FRP flexural strengthening of reinforced concrete beams is a well-established practice for structural rehabilitation and upgrade. Unlike conventional reinforced concrete structures, FRP strengthened members can exhibit additional flexural capacity in the postyielding stage. This makes RC deflection predicting models inapplicable in case of FRP strengthened structures. A method, based on a trilinear moment-curvature model, for calculating the deflection of FRP strengthened reinforced concrete beams is proposed. The deflections calculated using the

proposed simplified expressions were found to correlate well with the deflection measured in laboratory beam tests.

Radosław KUPCZYK
Politechnika Śląska w Gliwicach, Katedra Konstrukcji Budowlanych

BADANIA WPŁYWU ZARYSOWANIA NA NOŚNOŚĆ ZAKOTWIENÍ STRZEMION

W referacie zamieszczono wyniki badań 24 elementów betonowych z wewnątrznie krawędziowo zakotwionym strzemieniem wykonanym ze stali klasy C wg Eurokodu 2. Wymuszono w modelach powstanie zarysowania o wstępnej rozwartości do 0,3 mm w płaszczyźnie zagiętego haka pręta. Kolejno wykonano naciąg strzemion w efekcie określając nośność ich zakotwienia. Badania przeprowadzono dla pręta o średnicy 10 mm i trzech rodzajów kształtu haka pręta, jak również dla dwóch grubości otulin wynoszących $c_{nom} = 15$ mm i 20 mm. W analizowanym zakresie określono, że spośród zbadanych rodzajów zakotwienia, strzemiona zakończone hakiem prostym 90° , jako jedyne uległy wyrwaniu z elementu, nie wykorzystując tym samym pełnej nośności użytej stali zbrojeniowej. Przy najmniejszej z zastosowanych otulin, rozwiązanie to nie zapewniło wykorzystania naprężeń do poziomu granicy plastyczności prętów.

Słowa kluczowe: konstrukcje żelbetowe, zakotwienie, kształtowanie zbrojenia, strzemię, hak

INVESTIGATION OF THE CRACKS INFLUENCE ON CAPACITY OF STIRRUPS ANCHORAGE

The paper contains the results of 24 concrete models with the inside edge-anchored arm of the stirrup made of steel of class C according to Eurocode 2. In the elements the crack widths 0, 0.1, 0.2 and 0.3 mm were initiated in the plane of the hooked bar. Next, the stirrups were tensioned by a hydraulic press connected to their free ends, and according to the received level of force the anchorage capacity was determined. The study was conducted for the bar diameter of 10 mm with three types of hook shapes and covers thickness of $c_{nom} = 15$ mm and 20 mm. The tests proved that among the investigated types of anchorage, only the hook 90° , did not use the full load capacity of applied reinforcing steel. For the smallest of the concrete covers used, this solution did not provide stress to the level of yield strength of reinforcement bars.

Krystyna NAGRODZKA-GODYCKA
Małgorzata SIKORSKA
Politechnika Gdańska

EKSPERYMENTALNE BADANIE EFEKTYWNOŚCI SPRĘ- ŻENIA MONOLITYCZNYCH I PREFABRYKOWANYCH WSPORNIKÓW O ŚREDNIEJ SMUKŁOŚCI ŚCINANIA

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych sprężanych prętami bez przyczepności krótkich wsporników słupa o średniej smukłości ścinania ($a_F/d = 0,6$) z zakresu morfologii zarysowania, wyężenia betonu i stali zbrojeniowej oraz nośności. Efektywność zastosowa-

nia prętów sprężających jako zbrojenia głównego określano dla elementów monolitycznych oraz w przypadku łączenia wsporników i słupa za pomocą sprężania, w dwuetapowej technologii procesu wykonawstwa. W elementach prefabrykowanych wsporniki ze słupem łączone były na suchy styk lub też na powierzchni nanoszono dodatkowo warstwę kleju konstrukcyjnego. W artykule zweryfikowano przydatność zastosowania modelu obliczeniowego bazującego na hipotezie ścinania – tarcia z uwzględnieniem poziomej siły pochodzącej od sprężania.

Słowa kluczowe: wspornik słupa, sprężenie, zarysowanie, nośność graniczna, ścinanie – tarcie

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE PRESTRESSING EFFICIENCY IN MONOLITHIC AND PRECAST CONCRETE CORBELS WITH MEDIUM SHEAR SPAN-TO-EFFECTIVE DEPTH RATIO

The paper presents the results of experiments on post-tensioned corbels of medium shear span to effective depth ratio ($a_F/d = 0.6$) concerning crack morphology, concrete and reinforcement stresses and load carrying capacity. The effectiveness of using prestressing bars as the main reinforcement was determined for monolithic elements as well as connecting corbel and column in two-stage technology. The precast elements were dry contact connected or, additionally, on the surface of the elements a structural adhesive was applied. The article verified the suitability of a computational model based on the shear – friction hypothesis taking into account the horizontal compression force.

Aleksandr SMOKTUNOVIĆ
David SMOKTUNOVIĆ
Robert GRYGO
Andrzej ŁAPKO
Politechnika Białostocka

EFEKTYWNOŚĆ ZBROJENIA PRĘTAMI I WŁÓKNEM ROZPROSZONYM W BELKACH ŻELBETOWYCH

W publikacji przedstawiono wyniki badań doświadczalnych belek żelbetowych zbrojonych tradycyjnie wiotkimi prętami i dodatkowo włóknami stalowymi lub polipropylenowymi. Analiza przeprowadzonych badań wykazała korzystny wpływ zastosowania zbrojenia rozproszonego w matrycy cementowej belek żelbetowych na nośność i odkształcalność elementów konstrukcyjnych. Zauważono liczne zalety stosowania zbrojenia prętowego łącznie z włóknami, zwiększające efektywność tego rodzaju zbrojenia, w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań zawierających wyłącznie zbrojenie prętowe. W elementach zginanych zbrojonych w sposób mieszany (prętami i włóknem rozproszonym) zaobserwowano istotny wzrost wartości momentu rysującego belek, zmniejszenie szerokości rys, eliminację kruchego niszczenia betonu a także większy wydatek energii potrzebnej do całkowitego zniszczenia elementu zginanego, objawiający się przyrostem maksymalnej nośności elementów, w porównaniu do belek świadków zbrojonych tradycyjnie.

Słowa kluczowe: belki żelbetowe, włókna stalowe, włókna polipropylenowe, beton drobnoziarnisty,

EFFECTIVENESS OF REINFORCEMENT CONSISTING OF BARS AND FIBERS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

The paper presents the results of investigation on RC beams with traditional reinforcement mixed with a different volume of steel or polypropylene fibers. The analysis of tests showed a beneficial effect of the use of fibers in reinforced concrete beams on the bearing capacity and cracking resistance of structural members. Some other advantages of the use of fibers have been observed, e.g. quasi-plastic behavior of RC beams.

Tadeusz URBAN
Marek SITNICKI
Jerzy TARKA
Politechnika Łódzka

WZMACNIANIE NA PRZEBICIE PŁYT ŻELBETOWYCH Z BŁĘDNIE USYTUOWANYM ZBROJENIEM GŁÓWNYM

Przedmiotem niniejszej pracy jest opis badań eksperymentalnych, poświęconych określeniu wpływu błędu montażowego zbrojenia głównego (niekontrolowane zwiększenie otuliny) oraz próba przeciwdziałania jego negatywnym skutkom. Cztery naturalnej wielkości modele badawcze wykonano jako symulujące wewnętrzne połączenie płyta-słup. Dwie płyty wykorzystano jako modele porównawcze – jeden z nominalną otuliną 20 mm, drugi z otuliną zwiększoną do 50 mm. Pozostałe elementy wzmocniono zewnętrznie mocowanymi płaskownikami stalowymi, których zadaniem było zwiększenie stopnia zbrojenia głównego. Pierwszy z nich (WPSK-8') wzmocniono przed przyłożeniem obciążenia, natomiast drugi (WPSK-8''), pod działającym obciążeniem. Ocenę skuteczności zastosowanego sposobu wzmocnienia dokonano na podstawie pomiarów przemieszczeń, odkształcenia zbrojenia prętowego i zewnętrznego oraz obserwacji rozwoju zarysowania na rozciąganej powierzchni płyty. Zaprezentowaną metodę wzmocnienia uznano za skuteczną.

Słowa kluczowe: płyta żelbetowa, przebicie, zbrojenie, błąd montażowy

STRENGTHENING OF FLAT CONCRETE SLABS AGAINST PUNCHING SHEAR IN CASE OF MAIN STEEL REINFORCEMENT DISLOCATION

The paper presents research devoted to determining the effect of main steel reinforcement dislocation (an uncontrolled increase of concrete cover) and an attempt to counteract its negative effects. Four natural scale specimens made from the same batch of concrete were analyzed. Each specimen was designed to simulate an inner slab-column connection. Two slabs were used as reference models – one with nominal concrete cover of 20 mm and the other with an increased concrete cover to 50 mm. The other specimens were strengthened with externally bonded flat iron bars in order to increase the longitudinal reinforcement ratio over the support. The slab WPSK-8' was strengthened before the application of a vertical force to the column, while specimen WPSK-8'' was strengthened under the load. An evaluation of the efficiency of the presented solution was carried out on the basis of the measurement performed during testing. The introduced strengthening method was recognized as efficient while counteracting the negative effect of reinforcement dislocation, simultaneously providing a significant increase of punching resistance.

Adam URYZAJ
Politechnika Poznańska
Instytut Konstrukcji Budowlanych

WPLYW WILGOTNOŚCI BETONU NA NAPRĘŻENIA PRZYCZEPNOŚCI DO STALI ZBROJENIOWEJ

Celem pracy jest doświadczalne określenie wpływu wilgotności betonu na naprężenia przyczepności pomiędzy betonem i stalą zbrojeniową. W pracy przedstawiono wyniki badań własnych wykonanych metodą wyciągania zabetonowanych prętów zbrojeniowych tzw. metodą „pull-out”. Badania przeprowadzono na betonie zwykłym klasy C30/37 w trzech stanach wilgotnościowych, mianowicie w stanie całkowicie suchym, w stanie powietrzno-suchym oraz w stanie pełnego nasycenia betonu wodą pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym. W badaniach użyto prętów zbrojeniowych średnicy $\phi 8$ i $\phi 16$ mm klasy 34GS. Uzyskane wyniki badań wykazały istotny wpływ wilgotności betonu na jego przyczepność do prętów zbrojeniowych.

Słowa kluczowe: beton, stal, wilgotność, przyczepność, wytrzymałość.

THE INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT IN CONCRETE ON THE BOND BETWEEN CONCRETE AND REINFORCING STEEL

The phenomenon of the bond between concrete and rebars is one of the fundamental issues in reinforced and prestressed concrete structures. Its presence ensures an interaction between concrete and steel rebars, which is vital in transmitting forces between the two components. The bond is a very complicated phenomenon and it depends on many factors which are often interrelated. The paper presents the results of the author's research on the influence of the moisture content in concrete on the bond between concrete and reinforcing steel. The experiments were carried out for ordinary concrete of C30/37 class in three states of moisture content: dry, air-dry and full saturation under ordinary atmospheric pressure. Two different bar diameters: 8mm and 16mm were used. The study shows that the influence of moisture content in concrete on the bond between concrete and reinforcing steel is important. The tests proved that when the moisture content in concrete increases, the bond between concrete and steel decreases.

KONSTRUKCJE METALOWE

Wioleta BARCEWICZ
Marian GIŻEJOWSKI
Politechnika Warszawska

ANALIZA DEFORMACJI BLACH CZOŁOWYCH W WĘZŁACH STALOWYCH I ZESPOLONYCH Z WYKORZYSTANIEM FOTOGRAMETRII CYFROWEJ

W pracy analizowano odkształcenia blach czołowych o zróżnicowanej grubości i wysokości, w węzłach stalowych i zespolonych o zmiennym stopniu zbrojenia płyty stropowej. Węzły były uprzednio poddane niszcącym badaniom doświadczalnym, przeprowadzonym w laboratorium Zakładu Konstrukcji Budowlanych Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Celem analizy jest określenie rozkładu i wielkości maksymalnych krzywizn odkształconych blach czołowych z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej. Metoda ta umożliwia rekonstrukcję i przestrzenne modelowanie odkształconych powierzchni blach na podstawie zdjęć fotogrametrycznych, jak również prezentację wyników w postaci graficznej oraz plików danych do analiz numerycznych. Otrzymane wyniki pozwolą na ocenę mechanizmu plastycznego zniszczenia podatnych węzłów stalowych i zespolonych oraz ustalenie linii przebiegu załomów plastycznych. Linie załomów plastycznych są podstawą do wyznaczania długości efektywnych zginanej blachy czołowej w strefie rozciąganej, modelowanej za pomocą zastępczych króćców teowych. Model ten pozwala na identyfikację formy zniszczenia i obliczenie nośności węzła metodą składnikową według zaleceń normy PN-EN 1993-1-8. Wyniki analizy fotogrametrycznej porównano z zaleceniami normowymi.

Słowa kluczowe: węzły stalowe, węzły zespolone, blachy czołowe, fotogrametria cyfrowa

PHOTOGRAMMETRIC ANALYSIS OF THE END-PLATES DEFORMATIONS IN STEEL AND COMPOSITE JOINTS

Deformations of the end-plates of different thickness and height in steel and composite steel-concrete joints of varying reinforcement ratio of the concrete slab are analyzed. The aim of the presented research is determination of the distribution and the values of the maximum plastic curvatures of deformed end-plates by means of photogrammetric analysis. It enables the reconstruction and 3D-modeling of the deformed plate surfaces as well as a presentation of the results in graphic and numerical formats. The results of the photogrammetric analysis allow determination of the yield lines patterns, which are the basis for defining the effective length of end-plates, modeled as an equivalent T-stub. A comparison of results based on the approach used in Eurocodes and those reported on the basis of photogrammetric analysis is presented.

OGÓLNY PRZYPADEK ZWICHRZENIA BELEK O DWUTEOWYM PRZEKROJU BISYMETRYCZNYM PODPARTYCH WIDEŁKOWO

W pracy przedstawiono analityczne wzory na oszacowanie momentu krytycznego zwichrzenia niestężonych bisymetrycznych belek dwuteowych podpartych widełkowo. Założono, że obciążenia poprzeczne są przyłożone w punktach o tej samej współrzędnej po wysokości przekroju. W odróżnieniu od rozwiązań przedstawionych w literaturze [4÷7], prezentowana metoda pozwala wyznaczyć moment krytyczny zwichrzenia w przypadku dowolnej liczby sił poprzecznych o różnych zwrotach. Wyprowadzone wzory pozwalają na prostą i szybką kontrolę poprawności momentu krytycznego oszacowanego za pomocą MES [3].

Słowa kluczowe: zwichrzenie, podparcie widełkowe, dwuteowe przekroje bisymetryczne

THE LATERAL BUCKLING OF SIMPLY SUPPORTED UNRESTRAINED SYMETRIC I-SHAPE BEAMS WITH FREE WARPING

The paper investigates lateral buckling of simply supported unrestrained symmetric I-shape beams with free warping. The lateral buckling problems were formulated as distribution stability differential equations, in terms of torsion angle, bending moment M_y and load position parameter (Fig. 2). The stability equations were solved approximately using the Bubnow-Galerkin orthogonalization method. In case of simply supported beams with free warping sinusoidal mode is assumed for the torsion angle [7, 8]. The example of the proposed approximate formulas gives an estimation of lateral buckling moment with the accuracy good enough for design purposes.

Paweł BŁAŻEJEWSKI
Jakub MARCINOWSKI
Instytut Budownictwa, Uniwersytet Zielonogórski

MODYFIKACJE KONSTRUKCYJNE ZADASZENIA STADIONU REDUKUJĄCE DRGANIA O CHARAKTERZE REZONANSOWYM

Krótko po oddaniu do użytku trybun stadionu zaobserwowano drgania pojawiające się w trakcie miarowych podskoków kibiców. Amplituda drgań zadaszenia trybuny była na tyle znacząca, że wzbudziło to niepokój właściciela obiektu. Podczas kolejnych zawodów przeprowadzono pomiary, których celem było zdiagnozowanie przyczyny nadmiernych drgań. Użyto do tego celu wyspecjalizowanej aparatury pomiarowej, mierząc przyspieszenia, prędkości i przemieszczenia w wybranych miejscach konstrukcji stadionu. Wyniki badań okazały się jednoznaczne: częstotliwość drgań swobodnych konstrukcji zadaszenia trybuny pokrywała się niemal z częstotliwością wymuszeń w postaci miarowych podskoków kibiców. W związku z zaistniałym problemem przeanalizowano numerycznie szereg konstrukcyjnych rozwiązań dynamicznego przestrojenia konstrukcji. Jedną z koncepcji wzmocnienia zrealizowano i poddano próbom wzbudze-

nia. Wyniki z przeprowadzonych analiz numerycznych oraz pomiarów wykonanych podczas zawodów zawarto w niniejszej pracy.

Słowa kluczowe: konstrukcja zadaszenia, drgania, rezonans, pomiary, analizy numeryczne.

STRUCTURAL MODIFICATIONS OF A STADIUM ROOF REDUCING RESONANCE VIBRATIONS

In a newly opened stadium strong vibrations were observed when the spectators jumped rhythmically. The measurements taken during competitions confirmed this observation. The amplitude of roof vibrations reached the value of 35 mm and was too big from the structural safety point of view. Additional numerical analyses revealed that the frequency of free vibrations of the stadium roof was nearly equal to the frequency of rhythmical jumps of the spectators. It was clear that the phenomenon of the resonance took place. To avoid the resonance additional structural members in a form of steel columns were proposed. Numerical analyses and measurements made after the structural modification revealed that the frequency of free vibrations of the stadium roof was shifted to a very high value of 5,5 Hz and to this end the resonance was excluded. After the proposed structural modification the stadium can be exploited safely.

Monika CHABLASZEK
Zbigniew KOWAL
Politechnika Świętokrzyska

NOŚNOŚĆ KRATOWNICY MISESA Z PRĘTÓW OBARCZONYCH WSTĘPNYM WYGIĘCIEM

W pracy rozwiązano zagadnienie rzeczywistej nośności krytycznej, z warunku przeskoku węzła, kratownicy Misesa z uwzględnieniem redukcji sztywności podłużnej prętów ściskanych. Zamieszczono algorytm oszacowania nośności krytycznej mierzonej obciążeniem węzła kratownicy zbudowanej z prętów obarczonych wstępnym wygięciem lub ugięciem wzbudzonym obciążeniem poprzecznym. Pracę zilustrowano przykładami współrzędnych ścieżek równowagi statycznej (SRS) obciążenia $P(z)$ węzła kratownicy Misesa dla różnego nachylenia prętów. Wyniki porównano z rozwiązaniami wg zeszywnionej geometrii układu, a także z wynikami dla konstrukcji złożonej z prętów idealnych. Pokazano zmniejszenie nośności kratownicy Misesa na przykładach różnie nachylonych prętów w funkcji ich początkowego nachylenia H_0/L_0 dla wskaźnika imperfekcji $C = 0,05$.

Słowa kluczowe: kopia prętowa, kratownica Misesa, przeskoc węzła, redukcja sztywności podłużnej prętów.

LOAD BEARING CAPACITY OF VON MISES' TRUSS COMPOSED OF BARS WITH INITIAL DEFLECTION

The paper presents a solution to the question of actual critical load (from the node snap through condition) of von Mises spatial truss with account to the degradation of the longitudinal stiffness of compressed bars. The algorithm shows estimates of critical load measured by the load of the truss node built from bars with random or activated deflection. The paper is illustrated with

examples of static equilibrium paths of load $P(z)$ of von Mises truss node for different inclinations of bars. The results are compared with solutions according to the stiffened geometry of the system as well as with the results for the conventional reduction of compressed bars. Decrease in the load bearing capacity of von Mises truss node is shown according to its performance by examples of differently inclined bars in the function of their initial inclination of H_0/L_0 for the imperfection ratio $C = 0.05$.

Marcin CHYBIŃSKI
Andrzej GARSTECKI
Politechnika Poznańska

RACJONALNY UKŁAD ŻEBER I OTWORÓW W ŚRODNIKU BLACHOWNIC STALOWYCH

Praca przedstawia wyniki analizy nośności blachownic stalowych dla różnych układów żeber i otworów wyciętych w środku. Bada się stateczność globalną i lokalną. Analizy prowadzi się metodą elementów skończonych z zastosowaniem elementów typu powłokowego. Przeprowadzono zarówno analizy liniowe jak i nieliniowe z uwzględnieniem wstępnych imperfekcji geometrycznych. Wyniki analiz potwierdziły, że zarówno konfiguracja uźebrowania jak i rozmieszczenie oraz kształt otworów w środku mają bardzo duży wpływ na nośność blachownic, co uzasadnia celowość podjętych badań.

Słowa kluczowe: blachownice, pręty cienkościennie, żeberka usztywniające, imperfekcje, nośność blachownic, stateczność, konstrukcje stalowe

RATIONAL CONFIGURATION OF RIBS AND OPENINGS IN WEBS OF STEEL WELDED GIRDERS

The stability of girders with various orthogonal and diagonal configurations of ribs is studied using FEM with shell elements. Linear stability analysis was carried out for a numerous set of rib configurations, with variable web thickness and different shapes of openings. Nonlinear stability analyses accounting for initial geometric imperfection were performed for a beam with orthogonal ribs and its counterpart with diagonal ones. Linear and nonlinear analyses demonstrated that a rationally designed configuration of ribs and openings can strongly improve the stability response of girders. Diagonal configuration proved to be more favorable.

Piotr IWICKI
Marcin KRAJEWSKI
Politechnika Gdańska

ANALIZA NUMERYCZNA I BADANIA DOŚWIADCZALNE KRATOWNICY ZE STĘŻENIAMI

W niniejszej pracy przedstawione są wyniki badań eksperymentalnych i analiz numerycznych typowej kratownicy. Przeprowadzono analizę stateczności i nieliniową analizę statyczną dla

modelu prętowego konstrukcji. Przedstawione zostały zależności między sztywnością stężeń, a siłą normalną w pasie ściskanym kratownicy odpowiadającą obciążeniu wyboczeniowemu. Wyznaczone zostały również siły w stężeniu powstające na skutek przyrostu obciążenia oraz długości wyboczeniowe pasa w zależności od sztywności stężeń.

Słowa kluczowe: kratownica, sztywność stężenia, siła krytyczna, długość wyboczeniowa

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSES OF TRUSS WITH BRACES

The present research shows the results of experimental and numerical analyses of a model of a typical truss. The stability analyses and non-linear static analyses are investigated for the bar model of a structure. For different stiffnesses and location of braces, the critical load and effective buckling length of the truss chord are calculated and the threshold bracing stiffness is found. The reactions in braces in the function of load increases are found. Some problems that appeared in the experimental verification of the truss model are discussed.

Agnieszka JABŁOŃSKA-KRYSIEWICZ
Politechnika Białostocka

ANALIZA NUMERYCZNA I EKSPERYMENTALNA STALOWYCH WĘZŁÓW ZE ŚRUBAMI SPRĘŻONYMI

W pracy przedstawiono porównanie wyników otrzymanych z obliczeń numerycznych i z badań doświadczalnych sprężonych połączeń śrubowych stalowych rygli ze słupami, wykonanych w płaszczyźnie mniejszej sztywności dwuteowego słupa. Model numeryczny węzła 3D, uwzględniający nieliniowość materiałową oraz nieciągłości geometryczne, wykonano za pomocą programu ANSYS. Porównanie wyników, uzyskanych z analiz MES i badań eksperymentalnych węzłów, świadczy o poprawności przyjętego modelu numerycznego i możliwości jego stosowania do zagadnień modelowania stanów deformacyjno-odkształceniowych w celach poznawczych i projektowych.

Słowa kluczowe: węzły stalowe, śruby sprężone, MES, analiza nieliniowa

BOUNDARY CONDITIONS EFFECT ON RAINSCREEN PANELS RESISTANCE AND STIFFNESS

The paper raises the subject of the effect of boundary conditions on the resistance and stiffness of rainscreen panels. Steel rainscreen panels used in wall covering are rectangular plates with cold formed edges. Taking into consideration the side, upper or lower fringes, the shape of a bend is dissimilar, which causes the boundary conditions to differ. As far as the direction of the applied load is concerned, the boundary conditions differ entirely. The analyses show that the influence of stiffness is crucial because the rate of stiffness directly affects the stresses in a loaded plate.

Zbigniew KOWAL
Rafał PIOTROWSKI
Andrzej SZYCHOWSKI
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

SZTYWNOŚĆ POŁACIOWA STRUKTUR PRĘTOWYCH O OCZKACH KWADRATOWYCH

W pracy pokazano analizę numeryczną sztywności połączeniowej struktur o oczkach kwadratowych stosowanych jako konstrukcja przekryć hal wielkopowierzchniowych o znacznej długości. Przekrycia takie można przystosować do pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego [1]. Celem analizy sztywności połączeniowej struktur regularnych i zredukowanych (z co drugim oczkiem pustym) było sprawdzenie możliwości przekazywania przez strukturę zróżnicowanych sił poziomych na słupy i poprzeczne stężenia ścian szczytowych. Z przebadanych struktur wynika, że największą sztywność połączeniową mają struktury regularne o węzłach sztywnych, a nieznacznie mniejszą struktury regularne o węzłach przegubowych. Struktury zredukowane mają znacząco mniejszą sztywność połączeniową. Najmniejszą sztywność wykazały najdłuższe struktury zredukowane o węzłach przegubowych. W przypadku długich hal należy uwzględnić siły przekrojowe w skrajnych prętach podłużnych struktury od obciążeń poziomych.

Słowa kluczowe: hale stalowe, energoaktywne struktury prętowe, sztywność połączeniowa

RIGIDITY OF HIPPED ROOF END BAR STRUCTURES WITH SQUARE MESHES

The paper presents a numerical analysis of rigidity of the hipped roof end of structures with square meshes used as large hall covers of considerable length. Such covers can be adapted to generate energy from solar radiation [1]. The purpose of the analysis of the horizontal rigidity of regular and reduced structures (with every second empty mesh) was to examine the possibility of transmission through the structure of different horizontal forces on the columns and sway brace on gable walls. It follows from the examined structures that the greatest rigidity of the hipped roof end is in regular structures with rigid nodes and in slightly less regular structures with hinged nodes. Reduced structures have a significantly lower rigidity of the hipped roof end. The lowest rigidity was found in reduced structures with hinged nodes. In the case of long halls it is necessary to take into consideration cross-section forces in extreme longitudinal bars of the structure from horizontal loading.

Aleksander KOZŁOWSKI
Politechnika Rzeszowska
Jan ŁAGUNA
Biuro Inżynierskie Mostostal s.j.

O ZDOLNOŚCI DO OBROTU DOCZOŁOWYCH WĘZŁÓW KONSTRUKCJI STALOWYCH

Norma PN-EN 1993-1-8 podaje procedury obliczeniowe pozwalające oszacować nośność i sztywność węzłów. Zdolność do obrotu węzłów potraktowana jest opisowo i oszacowana bardzo zgrubnie. Procedury obliczania nośności i sztywności węzłów, mimo że oparte na wielu upraszcza-

jących założeniach, są wyjątkowo rozbudowane i pracochłonne, co skłania do korzystania z oprogramowania komputerowego. W takim wypadku wszystkie kryteria tych procedur, które są podstawą algorytmów obliczeniowych, powinny być określone bardzo precyzyjne, aby zapewnić bezpieczną ocenę właściwości połączeń w pełnym, dopuszczonym w normie zakresie kształtowania. Praktyczne wykorzystanie procedur normowych wskazuje, że wymagania to nie zostało spełnione w odniesieniu do kryterium oceny grubości blachy czołowej zapewniającej zdolność do odkształceń plastycznych oraz w odniesieniu do rozkładu sił wewnętrznych przy ocenie nośności węzłów. W pracy przedstawiono postanowienia normowe w tym zakresie oraz podano propozycje ich modyfikacji.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, węzły doczołowe, zdolność do obrotu, metody analizy

ON THE ROTATION CAPACITY OF END-PLATE STEEL JOINTS

Design procedure of EN 1991-1-8 to calculate moment resistance, stiffness and rotation capacity of steel joint is very complicated, time consuming and devoted rather to be implemented in computer programs, used as design tools. Then, all criteria of this procedure used in design algorithms should be very precise, to ensure safe estimation of joints properties in full range of application. Presented below statements and worked examples show that these requirements are not fulfilled in relation to estimation of thickness of end plate, ensuring ability to plastic deflection [EN 1991-1-8 /6.4.2.(2)], and internal forces distribution needed to estimation of moment capacity of joints [EN 1991-1-8 /6.2.7.2]. Proposal for improvement of these paragraphs has also been presented.

Piotr LEWANDOWSKI
Elżbieta URBAŃSKA-GALEWSKA
Politechnika Gdańska

WPLYW WARUNKÓW BRZEGOWYCH NA NAPRĘŻENIA STALOWYCH OKŁADZIN KASETONOWYCH

Na przestrzeni ostatnich lat można zauważyć wzrost zastosowania okładzin kasetonowych nie tylko w przemyśle, lecz również w budownictwie publicznym, głównie ze względu na walory estetyczne jak i łatwość montażu. Jednakże przy projektowaniu przedmiotowych okładzin konieczna jest odpowiedź na pytanie, jak określić warunki brzegowe dla płyty kasetonu. Ze względu na konstrukcję elewacji zbudowanej z rusztu podporowego i kasetonów, warunków brzegowych płyty kasetonu, determinujących stan naprężeń w płycie jak i sztywność kasetonu, nie można bezpośrednio zakwalifikować, jako typową krawędź utwierdzoną, czy też wolnopodpartą. W niniejszym artykule sformułowano problem definiowania warunków brzegowych dla typowej płyty kasetonu elewacyjnego oraz przedstawiono kryteria optymalizacji wymiarów płyt kasetonów. Artykuł zawiera przykład obliczeniowy ilustrujący wpływ zmiennych warunków brzegowych na wartość naprężeń w płycie kasetonu.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, płyty, kasetony, warunki brzegowe

BOUNDARY CONDITIONS EFFECT ON RAINSCREEN PANELS RESISTANCE AND STIFFNESS

The paper raises the subject of the effect of boundary conditions on the resistance and stiffness of rainscreen panels. Steel rainscreen panels used in wall covering are rectangular plates with cold formed edges. Taking into consideration the side, upper or lower fringes, the shape of a bend is dissimilar, which causes the boundary conditions to differ. As far as the direction of the applied load is concerned, the boundary conditions differ entirely. The analyses show that the influence of stiffness is crucial because the rate of stiffness directly affects the stresses in a loaded plate.

Mariusz MAŚLAK

Politechnika Krakowska

Marcin ŁUKACZ

Politechnika Krakowska, studia doktoranckie

NORMOWA OCENA NOŚNOŚCI STALOWYCH BELEK Z FALISTYM ŚRODNIKIEM UOGÓLNIIONA NA PRZYPADEK POŻARU

W pracy podjęto próbę oceny stopnia redukcji nośności stalowych belek typu SIN (ze średnikiem z blachy fałdowej) w warunkach pożaru rozwiniętego. Szczegółowej analizie poddano nośność belki na czyste zginanie z możliwością globalnej utraty stateczności (zwichrzenia) oraz nośność średnika na czyste ścinanie. W rozważaniach wykorzystano prosty model teoretyczny oparty na uogólnieniu tradycyjnego podejścia obliczeniowego rekomendowanego w PN-EN 1993-1-5 i powiązano go z zaleceniami PN-EN 1993-1-2. Uwzględniono redukcję podstawowych właściwości mechanicznych stali, w tym w szczególności granicy plastyczności i modułu sprężystości podłużnej, ze wzrostem temperatury materiału. Oszacowano również wpływ temperatury pożarowej na efektywną wartość odpowiednich współczynników niestateczności. Wykazano przy tym niedostatki podejścia normowego i zwrócono uwagę na potrzebę stosowania bardziej złożonych modeli obliczeniowych. Praca ma charakter studialny i stanowi wstęp do dalszych badań.

Słowa kluczowe: belki SIN, nośność, zginanie, ścinanie, pożar rozwinięty, zwichrzenie.

RESISTANCE OF STEEL BEAMS WITH SINUSOIDALLY CORRUGATED WEB – STANDARD APPROACH TO EVALUATION GENERALIZED TO THE FIRE CASE

A simple calculation technique, helpful in the evaluation of fire resistance of steel I-beams with sinusoidally corrugated web, is shown in detail and widely discussed in the presented paper. It is based on the PN-EN 1993-1-5 standard recommendations and, moreover, it is fully compatible with the design approach given in PN-EN 1993-1-2. Both bending carrying capacity with the imminence of the occurrence of lateral-torsional buckling and shear resistance of corrugated web are estimated for fully developed fire conditions. Not only the values of basic material properties, particularly of steel yield point and elasticity modulus, are reduced when high temperature is taken into account, but also the corresponding instability factors, quantifying the influence of local and global buckling phenomena. The proposed methodology is applicable for the assessment in such analysis only if the beam cross-section belongs to class 1 and, conclusively, the plastic deformations of the member are acceptable.

Anna PALISSON SOKÓŁ
Leopold SOKÓŁ
SOKOL PALISSON Consultants, Francja
SOKOL Consultants, Francja

WYMIAROWANIE BLACH FAŁDOWYCH STOSOWANYCH W PŁYTACH ZESPOLONYCH STALOWO-BETONOWYCH

Zgodnie z normą europejską ENV 1994-1-1 z roku 1992 ([1]), blachy fałdowe stosowane w płytach zespolonych stalowo-betonowych należało obliczać w stanie sprężystym, wykluczającym pojawienie się przegubów plastycznych na podporach.

W wyniku prac badawczo-wdrożeniowych zrealizowanych na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia wykazano, że ten typ obliczeń prowadził do rozwiązań nieekonomicznych, nieuzasadnionych z punktu widzenia technicznego i zaproponowano model zachowania z przegubami plastycznymi na podporach ([2]).

Model ten został zaakceptowany przez komitet naukowy i techniczny SC4/TC250 i wprowadzony do ostatecznej wersji EN 1994-1-1 [3]. Procedura dla tych obliczeń, przeznaczona również dla blach przekryć dachowych, została podana w EN 1993-1-3 ([4]).

Warunkiem stosowania tego sposobu obliczeń jest doświadczalne sprawdzenie zachowania blachy na podporach pośrednich:

- wytrzymałość przekroju (interakcja momentu i reakcji),
- zdolność przekroju do obrotu (zależność moment – obrót),

przy czym w odniesieniu do blach fałdowych stosowanych w płytach zespolonych należy dodatkowo uwzględnić schematy obciążeń według normy EN 1991-1-6 ([5]).

Należy tu jednak zauważyć, że wyżej wymienione normy nie zawsze podają szczegółowo i w sposób "explicite" tok postępowania. W niniejszym opracowaniu podane są więc dodatkowe informacje przeznaczone dla użytkowników tych norm.

Słowa kluczowe: Blacha fałdowa, faza konstrukcji, interakcja moment – reakcja, płyta zespolona stalowo – betonowa, przegub plastyczny, przekrój zastępczy, zależność moment – obrót

DESIGN OF STEEL SHEETING FOR COMPOSITE SLABS

According to the European norm ENV 1994-1-1 from 1992, in construction stage the steel sheeting for composite slabs was calculated in elastic area behavior.

On the basis of theoretical and experimental research, a non linear model, with plastic hinges at the supports in Ultimate Limit State, has been proposed and accepted for the version EN 1994-1-1 from 2005.

The basic condition for the application of this method is an experimental determination of the calculation parameters, so called M-R and M- θ relations. However, the information about the testing given in the relevant norms is not always sufficient for the users.

The aim of the paper is to give complementary information about testing, interpretation of tests, and use of results of testing in the proposed calculation model.

MECHANICZNY MODEL WĘZŁA ZESPOLONEGO OBCIĄŻONEGO MOMENTEM DODATNIM

W konstrukcjach ramowych, połączenia rygli ze słupami są projektowane na momenty ujemne pochodzące od obciążeń grawitacyjnych. W niektórych jednak sytuacjach, węzły te są poddane obciążeniu momentem dodatnim. W referacie przedstawiono propozycję mechanicznego modelu węzła służącego do określania jego charakterystyk podatnościowych. Model ten został oparty na „metodzie składnikowej” rekomendowanej przez Eurokody. Omówiono także wpływ odkształceń konstrukcji na rozkład sił w węźle. Przedstawiono również procedurę obliczania nośności i sztywności początkowej węzła obciążonego momentem dodatnim.

Słowa kluczowe: konstrukcje zespolone, węzły, obciążenia wyjątkowe, model mechaniczny, metoda składnikowa

MECHANICAL MODEL OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE JOINT SUBJECTED TO SAGGING BENDING MOMENT

In buildings with steel-concrete composite floors, joints are designed to transmit mainly hogging bending moment. In case of the large horizontal loads due to wind, earthquake or accidental events, sagging bending moments in a joint can also occur. Additionally, large deformations of the structure cause tying and prying effects.

In the paper, a mechanical model based on “component method” for evaluation of characteristics of the composite joint is presented. The influence of tying and prying actions on distribution of the internal forces in a joint is also analyzed. The procedure for calculation of the characteristics of the composite joint with bolted end-plate connection is elaborated too.

Marcin SKWAREK
Pracownia Projektowa M.Skwarek, J.Hulimka Sp.J., Zabrze
Jacek HULIMKA
Politechnika Śląska, Gliwice

WYBRANE PROBLEMY WYZNACZANIA OBCIĄŻENIA WIATREM WIEŻ KRATOWYCH W UJĘCIU NORM PN-EN

Referat niniejszy stanowi częściowe podsumowanie dotychczasowych prac związanych z analizą nośności stalowych wież kratowych na podstawie norm PN-EN. Z uwagi na ograniczenie objętości tekstu, ujęto w nim jedynie problemy związane z oddziaływaniem wiatru na wieże kratowe i dyskusję najistotniejszych zagadnień dotyczących wyznaczenia tego obciążenia. Analizując ujęte w normach Eurokod zasady i reguły wskazano alternatywne możliwości prowadzenia obliczeń, skutkujące uzyskaniem wyraźnie różnych wyników. Stwarza to oczywiste problemy, a wręcz uniemożliwia jednoznaczną ocenę stopnia wykorzystania nośności konstrukcji.

Słowa kluczowe: stalowe wieże kratowe, obciążenie wiatrem wież kratowych

SOME SELECTED ISSUES IN ESTIMATION OF THE LATTICED TOWERS WIND LOADING ACCORDING TO PN-EN CODES

The paper is a partial recapitulation of the authors' previous experience in steel latticed towers analysis with PN-EN codes. Due to the paper space-limit, its content relates only to wind loading of latticed towers structure and the most important problems in estimation of this action. Following the analysis of Eurocode principles and rules, alternative possibilities of calculations which bring different results have been shown. In fact, these divergences generate a lot of questions and make an accurate verification of load capacity of steel latticed towers structures impossible.

Andrzej SZYCHOWSKI
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

MIEJSCOWA UTRATA STATECZNOŚCI ŚCISKANEJ PÓLKI CIENKOŚCIENNEGO KSZTAŁTOWNIKA GIĘTEGO

Zagadnienie miejscowej utraty stateczności ściskanej półki cienkościennego kształtownika giętego sprowadzono do analizy wyboczenia jednostronnie sprężysto zamocowanej „na obrót” płyty przęsłowej przy udziale obciążeń wywołujących zmienność naprężeń w kierunku jej długości. Zaproponowano funkcję ugięcia umożliwiającą modelowanie warunków brzegowych na jednej krawędzi podłużnej od swobodnego podparcia, przez sprężyste zamocowanie w środku elementu cienkościennego, do pełnego utwierdzenia. Wyznaczono wykresy płytowych współczynników wyboczeniowych w zależności od stopnia sprężystego zamocowania krawędzi podłużnej.

Słowa kluczowe: pręty cienkościenne, lokalne wyboczenie, wzdłużna zmienność naprężeń

LOCAL STABILITY OF THE COMPRESSED FLANGE OF A COLD-FORMED THIN-WALLED SECTION

The problem of local stability of a compressed flange of a cold-formed thin-walled member was reduced to the buckling analysis of the internal plate one-sidedly elastically restrained “on rotation” (Fig.1) with the participation of loadings generating the variation of stresses in the direction of its length. Deflection function (4) was proposed to enable modeling of boundary conditions on one longitudinal edge from a simple support, through elastic restraint in the web of a thin-walled member, to a built-in edge. Plots of plate buckling coefficient (k) depending on the degree of elastically restrained longitudinal edge were determined.

Lucjan ŚLĘCZKA
Politechnika Rzeszowska

ZASTOSOWANIE METODY SKŁADNIKOWEJ DO OCENY CHARAKTERYSTYKI WĘZŁÓW OBCIĄŻONYCH CYKLICZNIE

W pracy przedstawiono główne założenia i zasady wyznaczania właściwości strukturalnych węzłów ram stalowych za pomocą metody składnikowej. Zaproponowano sposób jej modyfikacji taki, aby było możliwe rozszerzenie zakresu stosowania na węzły obciążone momentem zginającym w sposób cyklicznie zmienny. Jest to możliwe przez zdefiniowanie charakterystyk siła przemieszczenie ($F-\Delta$) poszczególnych składników w zakresie nie tylko obciążenia, lecz również odciążenia i obciążenia w przeciwnym kierunku, a także przez zmodyfikowanie zasad składania części podstawowych w jeden globalny model. W pracy zaprezentowano przykład analizy śrubowego węzła doczołowego z blachą zlicowaną i wyznaczenia jego charakterystyki $M-\phi$ w przypadku obciążenia cyklicznie zmiennego.

Słowa kluczowe: węzły ram, metoda składnikowa, obciążenia zmienne

APPLICATION OF COMPONENT METHOD TO THE ASSESSMENT THE JOINTS CHARACTERISTIC UNDER CYCLING LOADING

Structural properties of semi-rigid joints, such as rotational stiffness and moment capacity, can be evaluated according to Eurocode 3 using the component method. This method is limited to structural joints connecting H or I sections and loaded by pure bending, having monotonic nature. The paper presents the main assumptions and rules of the component method. Moreover, it proposes a way of its extension to cover the range of joints loaded in a cyclic manner and joints loaded simultaneously by bending moment and axial force. The detailed formulation of the proposed new formulation of the model is described. Two examples of flush end plate joints demonstrate how the cyclic response can be effectively modeled.

Andrzej WOJNAR
Politechnika Rzeszowska

WPLYW RZECZYWISTEJ CHARAKTERYSTYKI WĘZŁÓW NA DOBÓR PRZEKROJÓW W STALOWYCH RAMACH PRZECHYŁOWYCH

Stalowe ramy przechyłowe są jednym z najbardziej popularnych układów konstrukcyjnych w budynkach wielokondygnacyjnych. Dotychczas, w obliczeniach ram tego typu, połączenia pomiędzy słupami i ryglami traktowane były jako węzły sztywne. W rzeczywistości są to połączenia podatne, a ich charakterystyka podatnościowa ma wpływ na zachowanie się wyżej wymienionych konstrukcji. W referacie przedstawiono wpływ podatności węzłów na rozkład sił wewnętrznych w prętach ramy, a co za tym idzie na przekroje poprzeczne zastosowanych kształtowników. Analizę wykonano biorąc pod uwagę ramy charakteryzujące się stosunkiem wysoko-

ści do szerokości H/B z przedziału 0,4 do 2,0. Obliczenia wykonano zgodnie z obowiązującymi normami PN-EN.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, ramy przechyłowe, połączenia podatne, sztywność początkowa.

INFLUENCE OF REAL CHARACTERISTIC OF END-PLATE JOINTS ON SIZE OF CROSS-SECTION OF BEAMS AND COLUMNS OF SWAY FRAMES

Sway steel frames are one of the most popular types of steel structures used in multi-story buildings. Usually, in this kind of frames, columns and beams are made of hot rolled steel profiles (HEB for columns, IPE for beams) connected by bolted, end-plate connections. Conventionally, beam-to-column connections in such frames are considered as fully rigid. This paper presents an analysis of the effect of flexibility parameters of end-plate joints on the behavior of sway steel frames.

MECHANIKA MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI

Ewa BŁAZIK-BOROWA
Aleksander ROBAK
Michał PIEŃKO
Politechnika Lubelska

ANALIZA NUMERYCZNA KONSTRUKCJI RUSZTOWANIA MODUŁOWEGO O NIETYPOWYM KSZTAŁCIE

W pracy przedstawiono analizę numeryczną konstrukcji rusztowania o skomplikowanym kształcie, które zostało wykonane z systemu modułowego ROTAX firmy Altrad Mostostal. W odniesieniu do tego rusztowania przeanalizowane dwanaście przypadków obliczeniowych, na podstawie których zbadano wpływ stosowanych połączeń i imperfekcji na stateczność konstrukcji oraz rozkład naprężeń w elementach konstrukcji. Z przedstawionych badań wynika, że zalecenia normowe, narzucające uwzględnianie imperfekcji i wykonywanie obliczeń według teorii II rzędu nie są uzasadnione dla wszystkich konstrukcji rusztowań. Z drugiej strony stosowanie w modelu numerycznym połączeń podatnych, także zalecane przez normy, przybliżają wyniki do rzeczywistych a naprężenia, otrzymane w ten sposób, są większe niż w przypadku połączeń przegubowych.

Słowa kluczowe: rusztowanie modułowe, stateczność konstrukcji, modelowanie połączeń

THE NUMERICAL ANALYSIS OF THE MODULAR SCAFFOLD STRUCTURE WITH THE NON-TYPICAL FORM

The paper deals with a numerical analysis of a scaffold structure of complex form. The structure was erected with the ROTAX modular system of Altrad Mostostal. Twelve cases were analyzed and on the basis of their results the research on the effect of the applied joints and imperfections on the buckling and the distribution of stresses in the structure elements was carried out. It can be concluded that the standard recommendations for including imperfections and the second order theory in the calculations are unfounded for all scaffolds. Some other standard recommendation for the application of flexible joints in numerical models result in better approximation of the expected real results. The stresses for such models are bigger than those obtained for the model with articulated joints.

Sławomir CZARNECKI
Katedra Mechaniki Budowli i Zastosowań Informatyki
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska

ALGORYTM WYPROWADZANIA DYSKRETNEJ POSTACI RÓWNAŃ PRAC WIRTUALNYCH W SYSTEMIE MAPLE DLA DOWOLNEGO ELEMENTU SKOŃCZONEGO

W pracy przedstawiono pewien automatyczny sposób symbolicznego wyprowadzania układu równań równowagi ciał sprężystych w systemie Maple. Otrzymane formuły matematyczne, mogą być w prosty sposób przetłumaczone na kod w języku programowania C lub Fortran w celu dołączenia ich do kodu programu implementującego metodę elementów skończonych (MES). Zaletami takiego podejścia są przede wszystkim jego uniwersalność, ograniczenie do minimum ryzyka popełnienia błędów w procesie tworzenia kodu, a także możliwość uogólnienia prezentowanego sposobu generowania równań na przypadek dowolnych ciał anizotropowych oraz na przypadek w pełni geometrycznie nieliniowej teorii ciał sprężystych lub hiper-sprężystych.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, system obliczeń symbolicznych Maple, numeryczna analiza statyczna ciał sprężystych

THE FINITE ELEMENT DISCRETIZATION OF THE PRINCIPLE OF VIRTUAL WORK IN MAPLE SYSTEM

The objective of the paper is to present fundamental formulations of the finite element discretization procedure based on the weak form of a linearized displacement-traction problem in symbolic computational system Maple. The Maple functions, commands and statements such as: `convert(...)`, `cat(...)`, `parse(...)`, `coeff(...)`, `for...`, `if...`, `C(...)` enable obtaining a complete ANSI C code defining the stiffness matrix and the vector of loadings of any finite element. The code can be very easily added to the program in C/C++ language implementing the finite element method.

Barbara KALETA
Bartosz RÓŻYCKI
Politechnika Opolska
Zarząd Dróg Wojewódzkich w Opolu

ZAGADNIENIE WŁASNE BELKI NA STOCHASTYCZNYM, DWUWARSTWOWYM PODŁOŻU GRUNTOWYM

W artykule przedstawiono zagadnienie własne belki spoczywającej na dwuwarstwowym podłożu gruntowym. Założono układ dwóch poziomych warstw o różnych grubościach i parametrach materiałowych. Przyjęto, że moduł Younga podłoża gruntowego ma charakter stochastyczny i został opisany jako jednowymiarowe pole losowe. W pracy analizowano dwa przypadki podłoża gruntowego, pierwszy, gdzie przyjęto przestrzenną korelację modułu Younga gruntu po długości każdej z warstw i drugi, w którym uwzględniono korelację pomiędzy warstwami. W każdym z przypadków założono dwa stopnie korelacji: pełną i jej brak. W sformułowaniu modelu obliczeniowego wykorzystano metodę elementów skończonych (MES). Przeprowadzono analizę wpływu losowości modułu Younga gruntu na częstości drgań własnych układu belka-dwuwarstwowe podłoże.

Słowa kluczowe: zagadnienie własne, belka, dwuwarstwowe podłoże gruntowe, metoda Monte Carlo, pole losowe, metoda punktu środkowego.

EIGENVALUE PROBLEM OF A BEAM ON STOCHASTIC, TWO-LAYERED SUBSOIL

In the article the eigenvalue problem of a beam resting on stochastic two-layered subsoil is shown as a system of two horizontal layers with different thickness and material parameters. It is assumed that subsoil Young's modulus is of stochastic character and is described by one-dimensional random field. Two cases of subsoil are analyzed: one where the spatial correlation of subsoil Young's modulus along the length of each layer is taken into account, and two where the correlation between these layers is taken into consideration. In each type of the correlation two cases were considered: with no correlation and with full-stochastic correlation. The problem was formulated using FEM. The analysis of the influence of randomness of subsoil Young's modulus on the frequencies of free vibrations of the beam on a two layered subsoil system was carried out.

Krzysztof KOZIOŁ
Krzysztof STYPUŁA
Politechnika Krakowska

ODPOWIEDŹ MASZTU Z ODCIĄGAMI NA WYBRANE OBCIĄŻENIA WYJĄTKOWE

W pracy przedstawiono analizę zachowania się konstrukcji masztu z odciągami w skali naturalnej pod wpływem oddziaływań wyjątkowych o charakterze dynamicznym. Przeprowadzono analizy odpowiedzi konstrukcji masztu poddanej następującym obciążeniom:

- zerwanie pojedynczego odciągu,

- kinematyczne, nagłe przemieszczenie (zapadnięcie) fundamentów odciągów,
- nagłe odpadnięcie oblodzenia,
- „uderzenie” w trzon (w przęśle i na podporze),
- drgania gruntu pod wpływem wstrząsu sejsmicznego El-Centro,
- obciążenie parasejsmiczne (wstrząs górniczy).

W wyniku analizy odpowiedzi konstrukcji w czasie (time history analysis) uzyskano dane o przemieszczeniach konstrukcji i występujących w niej siłach (w przekrojach trzonu i w odciągach masztu).

Słowa kluczowe: maszt, obciążenia wyjątkowe, zerwanie odciążu, analiza czasowa masztów

RESPONSE OF GUYED MAST ON SOME UNIQUE LOADING

The paper presents an analysis of the behavior of guyed mast structures in natural scale under the influence of special dynamic loading. Analyses of responses of mast structures subjected to the following loads were made:

- breaking a single guy,
- kinematic, sudden movement (collapse) of guy foundations,
- a sudden release of ice,
- "shot" of the stem (in the span and on the support)
- ground vibrations due to seismic action of El Centro earthquake,
- mining shock.

By means time history analysis data on displacements of construction and the forces (in the cross of stem and in guys of the mast) were obtained.

Eliza KUMAŃSKA
Paweł KOSSAKOWSKI
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

PODKRYTYCZNY WZROST PĘKNIĘCIA ZMĘCZENIOWEGO STALI ST3S ORAZ STULETNIJ STALI MOSTOWEJ

W artykule przedstawiono wyniki badań podkrytycznego wzrostu pęknięć zmęczeniowych dla dwóch typów stali używanych w konstrukcjach budowlanych, stali St3S oraz stali mostowej pobranej z obiektu o ponad stuletnim okresie eksploatacji. Eksperymentalnie wyznaczono wykresy długości pęknięcia w funkcji liczby cykli oraz wykresy prędkości pęknięcia w funkcji zakresu współczynnika intensywności naprężenia. Uzyskane wyniki umożliwiły wyznaczenie współczynników równania Parisa m i C , co pozwoliło na opis prędkości pęknięcia zachodzącego w badanych materiałach w zakresie obciążeń cyklicznie zmiennych.

Słowa kluczowe: podkrytyczny wzrost pęknięcia zmęczeniowego, zmęczenie, równanie Parisa, stal St3S, stara stal mostowa.

SUBCRITICAL FATIGUE CRACK GROWTH OF ST3S STEEL AND OVER HUNDRED YEARS OLD BRIDGE STEEL

The article presents the results of research on subcritical fatigue crack growth for two types of steel used in building structures, St3S steel and bridge steel taken from over a hundred year old structure. During the experiments graphs of crack length versus the number of cycles and graphs of crack velocity versus stress intensity factor range were determined. The results obtained made it possible to determine the coefficients of Paris equation m and C , which allowed a description of crack velocity occurring in the examined materials under cyclically variable loads.

Arkadiusz KWIECIEN

Piotr KUBON

Bogusław ZAJĄC

Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli

WERYFIKACJA DOŚWIADCZALNA HIPERSPRĘŻYSTEGO MODELU POLIMERU NA PRZYKŁADZIE BADAŃ ZŁĄCZA PODATNEGO

Niniejsza praca poświęcona jest weryfikacji doświadczalnej i numerycznej modelu hipersprężystego Mooney'a-Rivlin'a (M-R) i jego parametrów pod kątem zastosowania go do opisu zachowania polimerowego złącza podatnego. Na podstawie jednoosiowego rozciągania polimeru budującego złącze podatne, wyznaczone zostały parametry modelu hipersprężystego, które następnie zostały użyte w modelu złącza podatnego. Uzyskane na drodze eksperymentu numeryczne dane obliczeniowe zostały porównane z wynikami eksperymentu testu jednoosiowego rozciągania złącza. W rezultacie stwierdzono istnienie dużych rozbieżności pomiędzy eksperymentem i danymi obliczonymi na podstawie przyjętego modelu. Uzyskane porównania wskazują na konieczność podjęcia dalszych prac nad doбором odpowiedniego modelu hipersprężystego i jego parametrów, aby możliwe było odzwierciedlenie pracy polimerowego złącza podatnego, wykorzystywanego w praktyce inżynierskiej.

Słowa kluczowe: model numeryczny, weryfikacja doświadczalna parametrów modelu, złącza podatne

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF HYPERELASTIC MODEL OF POLYMER ON A CASE STUDY OF THE FLEXIBLE POLYMER JOINT

The paper describes experimental and numerical verification of a MR model and its parameters, which are then used to describe the behavior of a flexible polymer joint. Using the uniaxial tension test of PM polymer, the parameters of the hyperelastic model were estimated and then used in the computation model of the flexible joint. The computed data obtained from the numerical tests were compared with the results of the uniaxial tensile test of the flexible polymer joint. Significant differences between experimental and numerical data, calculated using the adopted model, were found. This indicates the necessary development of future research on matching the polymer flexible joint model to be used in engineering practice.

Arkadiusz KWIECIEN
Paweł LATUS
Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli

WPLYW MIARY ODKSZTAŁCENIA ROZCIĄGANEGO POLIMERU NA PARAMETRY MODELU REOLOGICZNEGO

W pracy przedstawiony został opis materiału polimerowego, który jest wykorzystywany między innymi do budowy złączy podatnych [1], [2] stosowanych do spajania różnych elementów konstrukcyjnych (np. przy naprawie pękniętych budynków i płyt lotniskowych). Praca nie jest próbą doboru modelu materiału. Tak jak podkreślono w tytule praca dotyczy wpływu miary odkształcenia na parametry modelu polimeru. W tym celu przeprowadzono serię pomiarów laboratoryjnych a następnie na drodze numerycznej wyznaczono wartości parametrów występujących w zaproponowanym modelu. Wyniki eksperymentów jednoznacznie wskazały na zmienność odkształceń w czasie, stąd przyjęty został model reologiczny. Wybrano tak zwany model standardowy. Poza analizą wpływu różnych miar odkształcenia, przeanalizowano też wpływ na obliczenia definicji błędu określającego różnicę pomiędzy wynikami doświadczeń a wartościami obliczonymi z zaproponowanych równań.

Słowa kluczowe: polimer, złącze podatne, reologiczny model standardowy

RHEOLOGICAL MODEL PARAMETERS OF POLYMER IN TENSION INFLUENCED BY DEFORMATION MEASURE

In the paper, a standard rheological creep model of a polymer to be used in flexible joints was applied. Its parameters were designed on the basis of uniaxial tension tests for three levels of initial stress. The obtained parameters allowed finding creep functions which were well adjusted to experimental results. The parameters were found for the Cauchy and Hencky deformation measures and differences between them were discussed.

Roman LEWANDOWSKI
Aleksandra BARTKOWIAK
Politechnika Poznańska

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK DYNAMICZNYCH RAM Z LEPKOSPĘŻYSTYMI TŁUMIKAMI DRGAŃ

W pracy omawia się metodę wyznaczania charakterystyk dynamicznych ram z wbudowanymi lepkospężystymi tłumikami drgań. Dynamiczne zachowanie tłumików modeluje się za pomocą uogólnionego modelu reologicznego typu Kelvina. Wyznaczenie charakterystyk dynamicznych wymaga rozwiązania liniowego problemu własnego i wyrażenia równań ruchu za pomocą zmiennych stanu. Ponadto omawia się wyniki przykładowych obliczeń.

Słowa kluczowe: dynamika ram, tłumiki drgań, model tłumika, charakterystyki dynamiczne

DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FRAMES WITH VISCOELASTIC DAMPERS

The paper presents an analysis of frame structures with viscoelastic dampers mounted on them. The aim of the paper is to determine the dynamic characteristics of frame structures with dampers when the dampers are modeled by means of generalized Kelvin model. A relatively large structure with VE dampers is investigated in order to make the results of calculation more representative. The finite element method is used to derive the equations of motion of the structure with dampers and such equations are written in terms of both physical and state-space variables. The solution to motion equations in the frequency domain is given and the dynamic properties of the structure with VE dampers are determined as a solution to the appropriately defined eigenvalue problem. Several conclusions are formulated on the basis of the results of numerical analysis.

Edward MACIĄG
Filip PACHLA
Tadeusz TATARA
Politechnika Krakowska

ANALITYCZNO-DOŚWIADCZALNA ANALIZA ODPOWIEDZI DYNAMICZNEJ BUDYNKU RAMOWO-MUROWEGO NA SKUTEK WYBURZENIA KOMINA

W referacie omawia się: charakterystykę wyburzanego komina i sposób jego obalania; charakterystykę badanego budynku; charakterystykę pomierzonych drgań budynku i gruntu w sąsiedztwie; cechy dynamiczne badanego budynku; ocenę zachowania się budynku poprzez analizę przestrzennego modelu budynku podlegającego wymuszeniu kinematycznym przyjętym na podstawie pomierzonych drgań fundamentu budynku; porównano obliczone i pomierzone przemieszczenia górnej kondygnacji budynku; porównano obliczone naprężenia z uzyskanymi z pomiarów odkształceń przy użyciu tensometrii elektrooporowej.

Słowa kluczowe: wyburzanie konstrukcji, prędkość drgań, amplitudowe widma drgań, tensometria elektrooporowa

ANALITICAL - EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE FRAME – BRICK BUILDING BEHAVIOUR CAUSED BY THE BLAST DEMOLITION OF RC- CHIMNEY

The paper deals with the following: characteristics of the demolished chimney and the way of its falling; characteristics of the investigated building; characteristics of the measured building and ground vibrations; dynamic properties of the investigated building; evaluation of the building behavior by the analysis of a building model subjected to kinematic forcing (on the basis of the measured foundation vibrations). The calculated and measured displacements of the upper story were compared; the computed stresses compared with those from the stains measured by the electric resistance sensors.

Piotr MIKA
Instytut Technologii Informatycznych w Inżynierii Lądowej
Politechnika Krakowska

MODELOWANIE KONSTRUKCJI POWŁOKOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM PROCESU ROZWOJU USZKODZEŃ

Rozwój metod numerycznych i dostępność szybkich komputerów umożliwia zastosowanie coraz bardziej złożonych modeli teoretycznych zaimplementowanych w programach komputerowych (np. ABAQUS, [1]), pozwalających na projektowanie z wykorzystaniem rezerw nośności konstrukcji. Modele te pozwalają na analizę nukleacji, wzrostu i propagacji mikrouszkodzeń w warunkach pełzania, prowadzących w konsekwencji do formowania się makrouszkodzeń, a w drugim etapie do propagacji makropęknięć tworzących front zniszczenia. Podstawowym problemem projektowym będzie takie ujęcie zagadnienia, by w przewidywanym czasie eksploatacji konstrukcji nie dopuścić do zapoczątkowania drugiego etapu eksploatacji, natomiast w przypadku pojawienia się pierwszych makropęknięć należy określić czas pozostały do całkowitego zniszczenia przekroju nośnego. W pracy przeprowadzono badania możliwości opisu konstrukcji powierzchniowych, w warunkach ewolucji kruchego uszkodzenia, przez przyjęty model matematyczny. Zastosowano tensorowy model konstytutywny [2], z uwzględnieniem zmiennej sztywności materiału opisanej tensorem uszkodzeń, włączony do programu ABAQUS w procedurze użytkownika UMAT. Otrzymane wyniki dowodzą możliwości praktycznego zastosowania przyjętego sformułowania konstytutywnego do modelowania konstrukcji inżynierskich.

Słowa kluczowe: mechanika uszkodzeń, tensor uszkodzeń, metoda elementów skończonych, modelowanie komputerowe

MODELLING OF SHELL STRUCTURES WITH DAMAGE GROWTH PROCESS

Engineering structures frequently exhibit changeable stress fields, caused by e.g. micro-crack growth. As a consequence of this growth the deterioration of material properties, such as rupture toughness, strength, rigidity and lifetime reductions should be modeled. The process of damage growth usually accelerates after the first crack appears, followed by macrocracks, which combine together changing the structure thickness. The numerical study of this phenomenon is proposed with a special interest in the time of initial macroscopic cracks appearance at a point, the location of the first cracks and rupture front propagation, the physical properties of the structure material which affect the possible mechanisms of the damage front development and the mode of the failure front propagation. A way of numerical modeling of the failure front propagation in structures is of particular interest addressed in this study.

Maciej PIEKARSKI
Politechnika Rzeszowska

RUSZTY Z BELEK WZAJEMNIE PODPIERAJĄCYCH SIĘ JAKO KONSTRUKCJE WSPORCZE STROPÓW

Referat dotyczy konstrukcji znanych pod angielską nazwą *reciprocal grillages*, które są rusztami skonstruowanymi w ten sposób, że każda belka oparta jest na jednej podporze stałej oraz na innej belce. W referacie przedstawiono tło historyczne oraz klasyfikację tych konstrukcji, skupiając się

na ich analizie statycznej. Obliczono wartości maksymalne momentów zginających w belkach oraz podpartych nimi płytach stropowych, porównując je z wartościami dla tradycyjnych ustrojów konstrukcyjnych. Obliczeń dokonano dla stropów kwadratowych, poddanych obciążeniu jednostkowemu o różnych sposobach podparcia. Rezultaty wskazują na to, że ruszty z belek wzajemnie podpierających się cechują się wskaźnikami podobnymi do wskaźników osiągniętych w tradycyjnych konstrukcjach i mogą być traktowane jako racjonalne ustroje konstrukcyjne w obliczu innych zalet, którymi się charakteryzują.

Słowa kluczowe: ruszty, stropy rusztowe, konstrukcje stropów, *reciprocal grillages*

RECIPROCAL GRILLAGES AS STRUCTURES SUPPORTING SLAB FLOORS

Reciprocal grillages are built in such a way that each beam is supported on the previous one and supports the next beam. They were applied in the Middle Ages in slab floors as a way of covering a large span with the use of a structure built from wooden beams shorter than the span. At that time nobody conducted their static analysis. The author tried to make such an analysis and compared reciprocal grillages with traditional structures. In the analysis slab floors are discussed as complexes of floor slabs and structures supporting them. The maximal values of bending moments are recognized as the main measure of evaluation. The analysis includes square floors of unit length of the square's side and loaded by unit surface load. The comparison of the floors based on reciprocal grillages with the floors based on one-way beams or classical two-way grillages has been made for floors supported on the walls and, moreover, for floors supported on four columns.

Krzysztof WILDE
Magdalena RUCKA
Katedra Mechaniki Budowli i Mostów
Politechnika Gdańska

EKSPERYMENTALNA ANALIZA MODALNA KONSTRUKCJI STADIONU W ZIELONEJ GÓRZE

W artykule przedstawiono badania eksperymentalne trybuny stadionu żużlowego w Zielonej Górze. Dynamiczne badania trybuny wykonano pod kątem określenia stref rezonansu i eksperymentalnej identyfikacji postaci drgań. W wyniku badań zidentyfikowano funkcje przejścia w dziedzinie częstotliwości, wyznaczono częstotliwości rezonansowe oraz dokonano oceny wpływu obciążeń dynamicznych na konstrukcję trybun.

Słowa kluczowe: eksperymentalna analiza modalna, dynamika konstrukcji, rezonans

EXPERIMENTAL MODAL ANALYSIS OF ARENA STRUCTURE IN ZIELONA GÓRA

The paper presents an experimental study of sports arena in Zielona Góra. The synchronized dancing of a large number of fans caused large amplitude vibrations of steel and concrete members of the stand. The experimental studies showed that the structure is sensitive to vibrations and that large amplitude vibrations require complex experimental studies of coupled vibrations that include characteristics of dynamic loading caused by dancing fans.
