

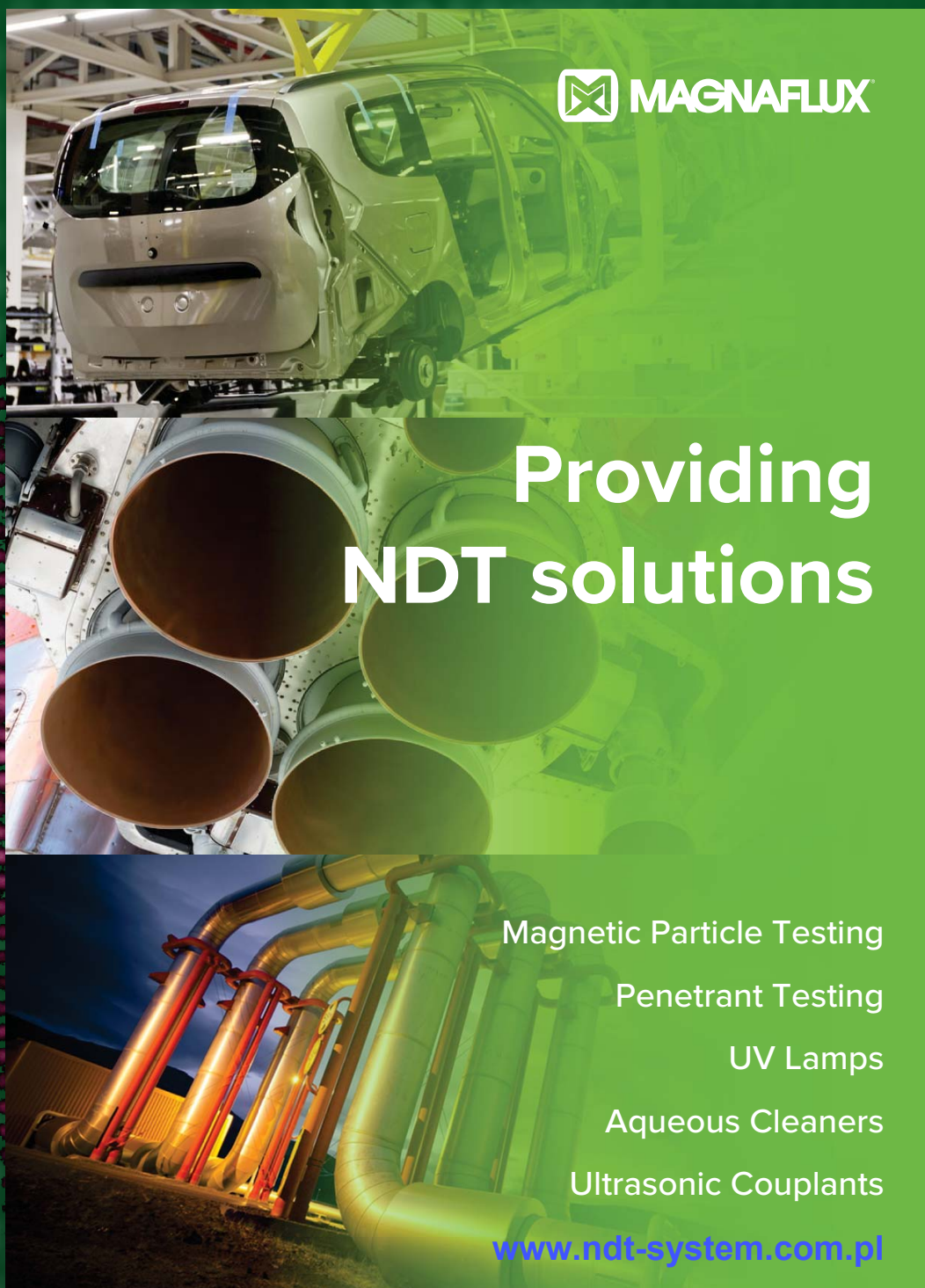
# Badania Nieniszczące 1 - 4 / 2023 i Diagnostyka


Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics

## 50. KKBN

[www.kkbn.pl](http://www.kkbn.pl)



 **MAGNAFLUX**

### Providing NDT solutions

- Magnetic Particle Testing
- Penetrant Testing
- UV Lamps
- Aqueous Cleaners
- Ultrasonic Couplants

[www.ndt-system.com.pl](http://www.ndt-system.com.pl)

## DXR75P-HR

### Mały system obrazowania o najwyższej rozdzielczości do krytycznych zastosowań

Detektor DXR75P-HR daje wysoką rozdzielczość pikseli 75  $\mu\text{m}$ , wymaganą do rozróżnienia drobnych szczegółów w krytycznych zastosowaniach. Detektor obejmuje kontrolę spoin klasy B według ISO 17636-2, dając precyzyjne obrazy spełniające najostrejsze wymagania.



Dzięki małej szerokości detektor jest idealny do tworzenia obrazów w sytuacjach o ograniczonej swobodzie ustawienia.

DXR75P-HR jest odpowiedni do zastosowań krytycznych, takich jak (ale bez ograniczenia):

- **kontrola spoin w przemyśle naftowym i gazowym oraz w energetyce i lotnictwie:**
  - rurociągi transportowe
  - złożone konstrukcje (odcinki rurociągu)
  - rury kotłowe
  - przewody paliwowe
  - rury ciśnieniowe
  - zbiorniki ciśnieniowe i magazynowe
- **kontrola spoin w okrętownictwie**

## DXR140P-HE

### Duży system obrazowania o wysokim kontraście do radiografii o wysokiej energii

DXR140P-HE jest idealnym przenośnym detektorem przeznaczonym do zastosowań o wysokiej energii (izotopowych). Optymalne wewnętrzne ekranowanie zapobiega promieniowaniu rozproszonemu o niskiej energii, ujemnie wpływającemu na jakość obrazu i żywotność elektroniki.



Detektor DXR140P-HE może być stosowany z izotopami i promieniowaniem RTG o wysokiej energii (powyżej 450 kV), jest odpowiedni do ogólnych zastosowań radiograficznych, takich jak (ale bez ograniczenia):

- **kontrola eksploatacyjna w przemyśle naftowym i gazowym oraz w energetyce:**
  - badanie korozji pod izolacją
  - pozycjonowanie zaworów
  - pomiar grubości ścianki
  - badanie podpór rurociągów
  - rury kotłowe
- **kontrola odlewów**
- **konserwacja, naprawa i przeglądy w lotnictwie**
- **przemysł zbrojeniowy i bezpieczeństwo**
- **kontrola konstrukcji:**
  - beton, mosty, podpory, ...
- **nauka, sztuka i archeologia**
- **kontrola linii energetycznych, kontrola GIS**





Badania Nieniszczące i Diagnostyka  
Agenda Wydawnicza SIMP  
ul. Sabaly 11a, 71-341 Szczecin

e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl  
www.bnid.pl

## ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL BOARD

REDAKTOR NACZELNY / EDITOR-IN-CHIEF  
Tomasz Chady

Z-CY REDAKTORA NACZELNEGO / DEPUTES EDITOR-IN-CHIEF  
Adam Sajek  
Ryszard Pakos

CZŁONKOWIE REDAKCJI / MEMBERS OF THE BOARD  
Jacek Grochowalski  
Ryszard Łukaszk

## REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METHODOLOGY  
Sławomir Mackiewicz, Marek Śliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH  
Bogdan Piekarczyk

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ  
/ EQUIPMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH  
Grzegorz Jezierski, Marek Lipnicki

PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ  
/ PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH  
Krzysztof Dragan, Darek Wojdała

DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS  
Bogusław Ładecki,

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA  
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, *Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Przewodniczący/President*

Prof. Krishnan Balasubramaniam, *Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India*  
Prof. Alexander Balitskii, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Prof. Gilmar F. Batalha, *University of Sao Paulo, Brasil*

Prof. Leonard J. Bond, *Iowa State University, USA*

Dr Pierre Calmon, *CEA, France*

Prof. Ermanno Cardelli, *Università degli Studi di Perugia, Italy*

Prof. Zhenmao Chen, *Xi'an Jiaotong University, China*

Prof. Leszek A. Dobrzański, *World Academy of Materials and Manufacturing Eng., Polska*

Dr Hubert Drzeniek, *AMIL Werkstofftechnologie GmbH, Germany*

Prof. Antonio Faba, *Università degli Studi di Perugia, Italy*

Prof. Nikolaos Gouskos, *University of Athens, Grece*

Mgr Paweł Grześkowiak, *UDT, Polska*

Prof. Jerzy Hoła, *Politechnika Wroclawska, Polska*

Prof. Jolanta Janczak-Rusch, *Empa, Switzerland*

Mgr Ryszard Jawor, *Ryszard Jawor Usługi NDT, Polska*

Dr Grzegorz Jezierski, *Politechnika Opolska, Polska*

Inż. Sławomir Józwiak, *NDT Systems, Polska*

Mgr Pablo Katchadjian, *National Atomic Energy Commission of Argentina, Argentina*

Mgr Jan Kielczyk, *Energomontaż-Północ, Polska*

Mgr Jacek Kozłowski, *TEST PLB, Polska*

Prof. Marc Kreutzbruck, *University of Stuttgart, Germany*

Dr. Jochen Kurz, *DB Systemtechnik GmbH, Germany*

Mgr Marek Lipnicki, *KOLI, Polska*

Prof. Leonid M. Lobanow, *Paton Welding Institute, Ukraine*

Dr Sławomir Mackiewicz, *NDT SOFT, Polska*

Dr Wojciech Manaj, *Instytut Lotnictwa, Polska*

Dr Tadeusz Morawski, *Usługi Techniczne i Ekonomiczne "Level", Polska*

Prof. Zinovy T. Nazarchuk, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Dr Ryszard Nowicki, *GE Energy, Polska*

Prof. Mohachiro Oka, *Oita National College of Technology, Japan*

Dr Jolanta Radziszewska-Wolińska, *Instytut Kolejnictwa, Polska*

Prof. Helena Maria Geirinhas Ramos, *Instituto Superior Técnico, Portugal*

Prof. Joao M A Rebello, *Federal University of Rio de Janeiro, Brasil*

Prof. Artur Lopes Ribeiro, *Instituto Superior Técnico, Portugal*

Prof. Maria Helena Robert, *University of Campinas, Brasil*

Dr hab. Maciej Roskosz, *Politechnika Śląska, Polska*

Prof. Krzysztof Schabowicz, *Politechnika Wroclawska, Polska*

Prof. Valentin R. Skalsky, *National Academy of Science of Ukraine, Ukraine*

Prof. Jacek Stania, *Łukasiewicz – Górnos Śląski Instytut Technologiczny, Polska*

Prof. Jacek Szelażek, *IPPT PAN, Polska*

Dr Marek Śliwowski, *NDTEST Warszawa, Polska*

Prof. Antonello Tamburrino, *University of Cassino and Southern Lazio, Italia*

Prof. Yuji Tsuchida, *Oita University, Japan*

Prof. Andrzej Tytko, *AGH Kraków, Polska*

Prof. Lalita Udpa, *Michigan State University, USA*

Prof. Gábor Vértesy, *Hungarian Academy of Sciences, Hungary*

Dr Grzegorz Wojas, *UDT, Polska*

Prof. Sławomir Wronka, *Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska*

Prof. Chunguang Xu, *Beijing Institute of Technology, China*

Prof. Noritaka Yusa, *Tohoku University, Japan*

# Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

NR 1-4/2023

ISSN 2451-4462 (ONLINE: 2543-7755)

VOLUMEN 8

## SPIS TREŚCI

## Adam Kondej, Dominik Kukla

Nieniszcząca ocena grubości przypowierzchniowej warstwy azotków w technicznych stopach żelaza metodą prądów wirowych\* ..... 12

## Tomasz Katz

Modelowanie wykrywania wad kontaktowozmęczeniowych w szynach kolejowych metodą ultradźwiękową\* ..... 17

## Piotr Bielawski

Diagnozowanie potencjału eksploatacyjnego zespołu maszyn\* ..... 25

## Tomasz Gorzelańczyk, Krzysztof Schabowicz

Przegląd nowoczesnych metod nieniszczących wykorzystywanych do badania płyt włóknisto-cementowych\* ..... 30

## Alireza Akhlaghi

Porosity measurement in CFRP\* ..... 37

## Jerzy Kaszyński

Problematyka badań nieniszczących w budownictwie na krajowych konferencjach KKBN - przeżyjmy to jeszcze raz ..... 40

## Maciej Martyna, Roman Martyna

Możliwości i ograniczenia magnetycznej metody MRT badania stanu technicznego lin stalowych w czasie ich eksploatacji na urządzeniach dźwignicowych\* ..... 48

## Mateusz Cybulski, Marek Lipnicki, Krzysztof Mroczek, Rafał Obląkowski

Badania ultradźwiękowe Phased Array złączów choinkowych stopki łopaty stopni L-0 po stronie turbiny i generatora w elektrowni jądrowej w Szwecji\* ..... 56

## Bartosz Hyla, Michał Sobczak, Jakub Roemer

Badania nieniszczące materiałów kompozytowych metodą termografii laserowej\* ..... 62

## Mateusz Napiórkowski, Mariusz Szóstak, Krzysztof Schabowicz

Nieniszczące, wizualne metody badań wykorzystujące wirtualną rzeczywistość w budownictwie – stan wiedzy\* ..... 67

## Mateusz Wróbel, Maciej Szwed

Fitness for service dla urządzeń ciśnieniowych – doświadczenia UDT\* ..... 72

## Maciej Szwed, Tomasz Jakubowski, Michał Targoński

Detekcja pęcherzy wodorowych metodami ultradźwiękowymi TOFD, TULA i Phased Array\* ..... 80

## Karol Kaczmarek

Wymagania normy PN-EN ISO 9712 dla egzaminu praktycznego w sektorach przemysłowych\* ..... 88

## Marcin Lewandowski, Jakub Rozbicki, Hanna Smach, Piotr Karwat,

Arkadiusz Szczurek, Jolanta Sala, Alicja Bera  
Modelowe rozwiązania skanerów UTPA do badań spawów dla wież wiatrowych, sekcji płaskich oraz konstrukcji wielkogabarytowych on-shore/off-shore\* ..... 97

## Jakub Spytek, Kajetan Dziedzic, Łukasz Ambroziński, Łukasz Pieczonka

Obrazowanie wad w strukturach cienkościennych z wykorzystaniem ultradźwiękowych fal przewodzonych\* ..... 101

Streszczenia artykułów zgłoszonych na 50. KKBN ..... 105

Bogusław Ładecki, Joanna Augustyn-Nadzieja

Problemy pęknięcia zmęczeniowego wału wirnika wentylatora ze stali C45\* ..... 120

Informacje BNID - Wspomnienie o plk. dr. inż. Romanie OSTROWSKIM ..... 124

Informacje dla Autorów i Czytelników ..... 125

\* Artykuł recenzowany

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA  
PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION



PTBNiDT

Jerzy Kaszyński\*

Emerytowany Profesor Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

# Problematyka badań nieniszczących w budownictwie na krajowych konferencjach KKBN - przeżyjmy to jeszcze raz

## 1. Stan budownictwa polskiego w okresie powojennym

Powojenna sytuacja Polski wymagała odbudowy całej gospodarki krajowej, niezależnie od tworzenia nowych systemów społeczno politycznych. Zniszczenia wojenne obejmowały liczne obiekty przemysłowe i drogowe, ale przede wszystkim masowe zniszczenia budownictwa powszechnego: mieszkaniowego, sakralnego i wielu innych obiektów użyteczności publicznej. Niektóre obiekty nadawały się do likwidacji uszkodzeń i stosownych remontów, ale znaczna ich część, a zwłaszcza budynki w zbombardowanych dzielnicach mieszkaniowych zostały zniszczone całkowicie. Polski przemysł budowlany był także zubożony przez działania wojenne i inne priorytety w okresie jej trwania.

Odbudowa zaczęła się od uruchomienia cegielni, tartaków, hut i stalowni, a także cementowni, które nabierały coraz większego znaczenia, bo takie były założenia gospodarki budowlanej w krajach należących do tzw. bloku socjalistycznego. Technologie stosowane w budownictwie z konieczności miały tradycyjny charakter, daleki od standardów funkcjonujących w krajach zachodnich i mniej dotkniętych skutkami wojny. Działy przy tym także czynniki ekonomiczne, polegające głównie na oszczędnym projektowaniu i minimalizacji kosztów budowy. Ponadto w warunkach obowiązującego systemu gospodarki nakazowo rozdzielczej i braku materiałów budowlanych w obrocie wolnorynkowym, powstawały budynki o niskim standardzie użytkowym.

W takiej sytuacji koniecznością było rozszerzenie kontroli technicznej nowo wznoszonych obiektów budowlanych, niezależnie od badania i oceny stanu technicznego budynków uszkodzonych lub wyłączonych z eksploatacji w czasie wojny. Na ogół pierwszoplanowym celem badań było określenie nośności konstrukcji żelbetowej, drewnianej, stalowej lub murowanej w stanie istniejącym. W każdym przypadku konieczne było określenie właściwości mechanicznych tych materiałów, w tym przede wszystkim cech wytrzymałościowych. Nastąpił więc dynamiczny rozwój nieniszczących metod badań materiałów budowlanych, zwłaszcza materiałów konstrukcyjnych.

## 2. Proces wprowadzania nieniszczących metod badań do budownictwa

Tematykę nieniszczących metod badań podejmowano w Polskiej Akademii Nauk, Instytucie Techniki Budowlanej, w Politechnice Warszawskiej, a następnie w innych uczelniach technicznych. Grono profesorów wiodących w tej dziedzinie stanowili m.in. Antoni Sawczuk, Zdzisław Pawłowski, Józef Pysznik, Lesław Brunarski i Leonard Runkiewicz. Istotnym elementem rozwoju metod nieniszczących było opracowanie przez Instytut Elektrotechniki i wdrożenie do produkcji przez Unipan betonoskopów ultradźwiękowych typu BI oraz sprowadzanie z zagranicy sklerometrów Schmidta, Poldiego i innych.

Stosowanie nieniszczących technik w badaniach konstrukcji budowlanych wymagało też rozszerzenia wiedzy i zdobycia podstawowego doświadczenia wśród kadry inżynierskiej. Wiodącą rolę w popularyzacji tych metod spełniał Instytut Techniki Budowlanej, który w latach 60-tych organizował serię kursów podyplomowych dla inżynierów. Aktywność naukowa profesorów ITB Lesława Brunarskiego i Leonarda Runkiewicza była też ukierunkowana na przygotowanie merytoryczne i wydanie w 1974 r. pierwszych Norm Polskich na nieniszczące badania konstrukcji z betonu: PN-74/B-6261 dla metody ultradźwiękowej i PN-74/B-6262 dla metody sklerometrycznej za pomocą młotka Schmita.

W 1973 r. Polska była organizatorem VII Międzynarodowego Kongresu Badań Nieniszczących w Warszawie pod przewodnictwem prof. Zdzisława Pawłowskiego z IPPT PAN. Następnie w latach 1974-78 odbyły się trzy pierwsze Konferencje Badań Nieniszczących w Budownictwie zorganizowane przez Instytut Techniki Budowlanej i Politechnikę Warszawską. Dalsze konferencje pod taką samą lub podobną nazwą, były organizowane w różnych miastach przez różne ośrodki naukowe i organizacje techniczne. Wśród nich najdłuższą historię mają coroczne Krajowe Konferencje Badań Nieniszczących (KKBN) organizowane przez Sekcję Wytrzymałości Materiałów SIMP (obecnie PTBNiDT – SIMP), łącznie z kolejno zmieniającymi się ośrodkami naukowymi lub naukowo-technicznymi. Od 1995 r. w programie tych konferencji jedna sesja jest tematycznie związana z badaniami materiałów i konstrukcji budowlanych.

Znakomitą postacią na konferencjach KKBN był prof. dr hab. inż. Zdzisław Pawłowski. Jego rozległa wiedza i praca naukowa w IPPT PAN oraz aktywność w dziedzinie popularyzacji

\*Autor korespondencyjny.

E-mail: jerzy.kaszynski@zut.edu.pl



badan nieniszczących w kraju i za granicą, poprzez pełnienie wysokich funkcji w organizacjach międzynarodowych sprawiała, że był on autorytetem dla nas „nieniszczyków” i wsparciem dla organizatorów tych konferencji.

Sesje budowlane na konferencjach KKBN były organizowane przy współudziale Instytutu Techniki Budowlanej poprzez aktywność i uczestnictwo profesora dr hab. inż. Leonarda Runkiewicza w komitetach organizacyjnych i naukowych tych konferencji. Poza tym zabiegał on o udział w nich licznej grupy inżynierów i młodych naukowców oraz prezentowanie swoich prac badawczych i doświadczeń praktycznych. Występował też z ciekawymi referatami, w których prezentował postępy w metodach i technice badań, najnowsze wyniki badań realizowanych w ITB i innych ośrodkach lub zespołach naukowo badawczych.

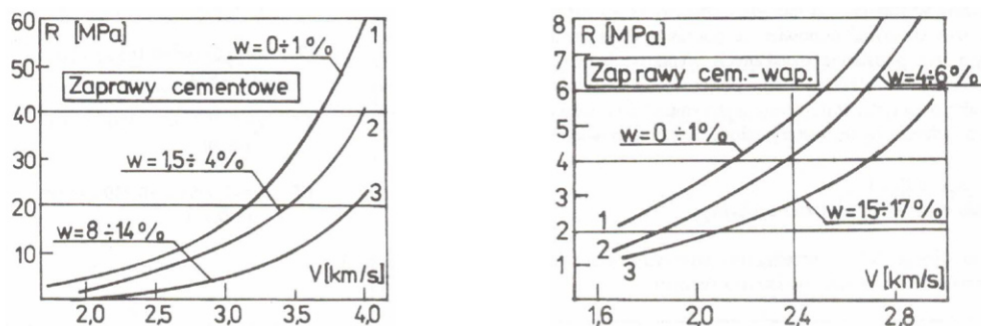
### 3. Badania wytrzymałości betonu i innych materiałów konstrukcyjnych

Tematyka badań wytrzymałości betonu w istniejących i bieżąco realizowanych konstrukcjach występowała w znacznej części wygłaszanych referatów. Licznie

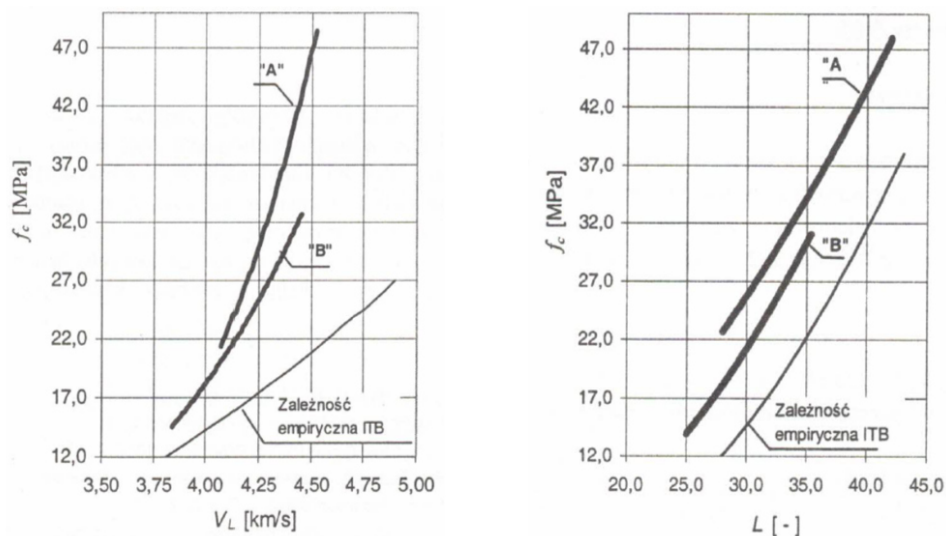
reprezentowany zespół Politechniki Wrocławskiej pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Jerzego Hoły, korzystający z doświadczeń i dorobku naukowego prof. Józefa Pysznika, prezentował wyniki swoich badań laboratoryjnych, a także badań in situ różnych starych lub bieżąco wykonywanych obiektach.

Wrocławianie rozwijali ogólnie znane opracowania ITB oraz IPPT PAN związków korelacyjnych wytrzymałości betonu badanego metodą ultradźwiękową  $f_c(V)$  i metodą sklerometryczną za pomocą młotka Schmidta  $f_c(L)$ . Zespół ten z dużym udziałem dr Krzysztofa Schabowicza i dr Bogdana Stawiskiego (obecnie wszyscy mają stopnie dr hab. i profesora lub tytuły profesorskie) opracował i wprowadzał do badań ultradźwiękowych głowice stożkowe, a później eksponencjalne, o quasi punktowej powierzchni kontaktu z badanym materiałem.

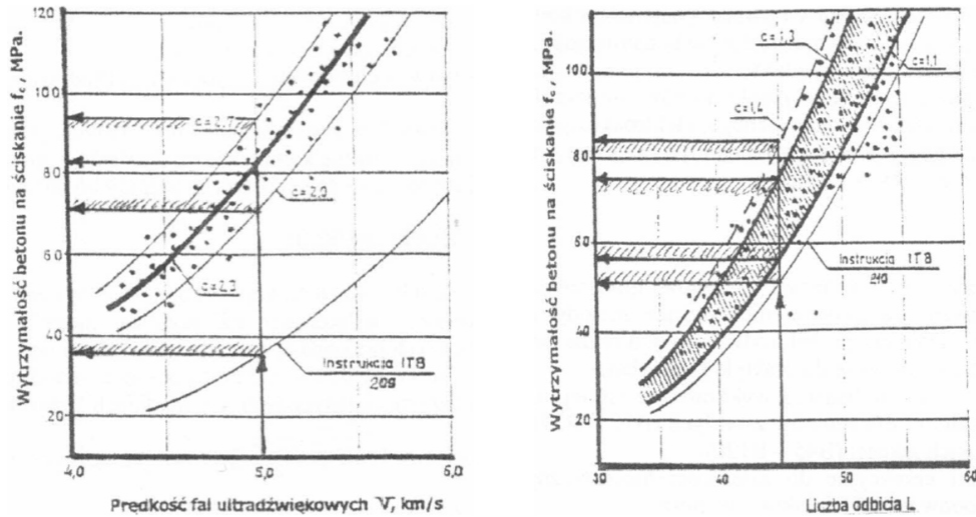
Różnorodność betonów zwykłych pod względem ich struktury i aktualnego stanu fizycznego wymagała korekty znanych związków korelacyjnych na podstawie badań próbek wycinanych z konstrukcji lub formowanych w czasie jej wykonywania. Dla betonów specjalnych, obecnie coraz częściej stosowanych w budownictwie, opracowywano odrębne związki korelacyjne. Możliwość kompleksowego



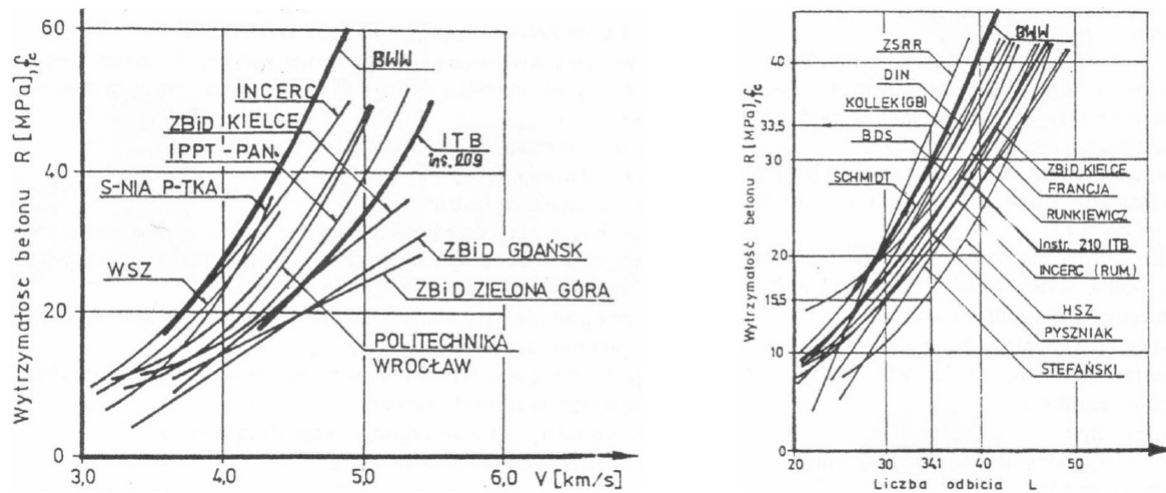
Rys. 1. Krzywe korelacji  $R(V)$  dla zapraw cementowych oraz cementowo-wapiennych o różnych stopniach wilgotności.



Rys. 2. Zależności empiryczne do oceny wytrzymałości na ściskanie badanych betonów samozagęszczonych metodą ultradźwiękową oraz sklerometryczną.



Rys. 3. Zależności empiryczne oceny wytrzymałości betonów wysokiej jakości metodą ultradźwiękową i metodą sklerometryczną



Rys. 4. Przykłady charakterystycznych zależności  $R - V$  ( $f_c - V$ ) dla metody ultradźwiękowej i  $R - L$  ( $f_c - L$ ) dla sklerometrów Schmidta typu N

zastosowania metody ultradźwiękowej i sklerometrycznej na przykładzie badania starej konstrukcji przemysłowej wykazali Kazimierz Kujawiński i A.Pawlonka. Potwierdzeniem skuteczności kompleksowych badań wytrzymałości betonu w istniejących obiektach, jest eksperyment Krzysztofa Schabowicza i D. Kwiatek, wykorzystania kilku parametrów pomiarów nieniszczących, łącznie z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych.

Podobny zespół wrocławski (A.Pawlonka i Bogdan Stawiski) zaprezentował wyniki własnych badań wytrzymałościowo ultradźwiękowych i sklerometrycznych na zaprawach cementowych i cementowo-wapiennych, w różnych stanach ich zawilgocenia w zakresie  $0 \div 15\%$ .

Stosownie do rozwoju technologii betonu, niezależne opracowania związków korelacyjnych wytrzymałości betonów samozagęszczalnych dla metody ultradźwiękowej i sklerometrycznej  $f_c(V)$  i  $f_c(L)$ , prezentowali ich autorzy J.Hoła, Krzysztof Schabowicz i Tomasz Gorzelańczyk.

Podobne badania na betonach wysokiej wytrzymałości (BWW) prowadzone w ITB przedstawiał prof. Runkiewicz.

Wyniki tych badań wskazują na znaczne różnice w porównaniu z krzywymi skalowania opracowanymi wcześniej w ITB dla betonów zwykłych. Badania eksperymentalne J.Hoły i K.Schabowicza na próbach betonu wysokowartościowego metodami ultradźwiękową i sklerometryczną z wykorzystaniem sztucznej sieci neuronowej wskazują na to, że sieć neuronowa poprawnie przewiduje wytrzymałości betonu, bez potrzeby wyznaczania związków empirycznych  $f_c(V)$  i  $f_c(L)$ .

Do grona zespołów uczelnianych, zajmujących się nieniszczącymi metodami badań wytrzymałości betonów dołączyli:

- Jerzy Piasta i L.Hebda z Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach – betony z kruszywem węglanowym,
- grupa Andrzeja Garbacza z Politechniki Warszawskiej – beton żywiczny, polimerobeton,
- grupa Wiesławy Głodkowskiej z Politechniki Koszalińskiej – betony z kruszywem glinoporytowym.

Podobnych opracowań było więcej, co wyraził prof. Runkiewicz, przedstawiając zbiorczo tzw. krzywe skalowania

dla obu metod okresu lat 1956÷1990.

Na tym „festiwal” poszukiwań związków między wytrzymałością betonu i innych materiałów, a efektami ultradźwiękowymi i sklerometrycznymi uległ wyhamowaniu między innymi dlatego, że powstawały zakłady produkujące i dowożące na budowę świeży, testowany beton, tzw. beton towarowy.

Podejmowano też próby badania wytrzymałości murów ceglanych i kamiennych, jednakże wyniki badań ultradźwiękowych lub sklerometrycznych typowymi metodami, nie dawały wystarczająco jednoznacznych wyników. Z punktu widzenia struktury tych materiałów, są to ośrodki kompozytowe, zawierające duże elementy w postaci cegieł ceramicznych lub kamieni. Korzystne wyniki można jednak otrzymywać wg Bogdana Stawiskiego przy stosowaniu głowic ekspozycyjnych, na zasadzie oddzielnych badań ultradźwiękowych zaprawy i cegły lub kamieni.

Najstarszym materiałem budowlanym obok kamieni naturalnych jest drewno, które oprócz wielu zastosowań w budownictwie, jest przede wszystkim materiałem

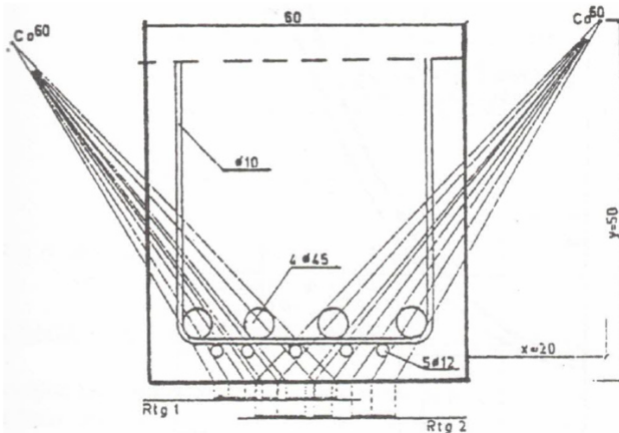
konstrukcyjnym. Drewno nabiera właściwości mechanicznych wynikających z gatunku biologicznego (drzewa), a także z obróbki technicznej. Zmienia swoje właściwości w różnych stanach zawilgocenia, podlega też procesowi starzenia i jest narażony na degradację biologiczną powodowaną grzybami.

Podstawową metodą nieniszczącą badania stanu technicznego drewna jest dynamiczne wciskanie stalowego trzpienia (wstrzeliwanie) w powierzchnię zamocowanego elementu konstrukcji, np. słupa. Stąd bierze się żartobliwa nazwa „metoda Bin Ladena”. Badania takie za pomocą przyrządu nazywanego pilodynem, zaprezentował Wojciech Kokociński z Akademii Rolniczej w Poznaniu.

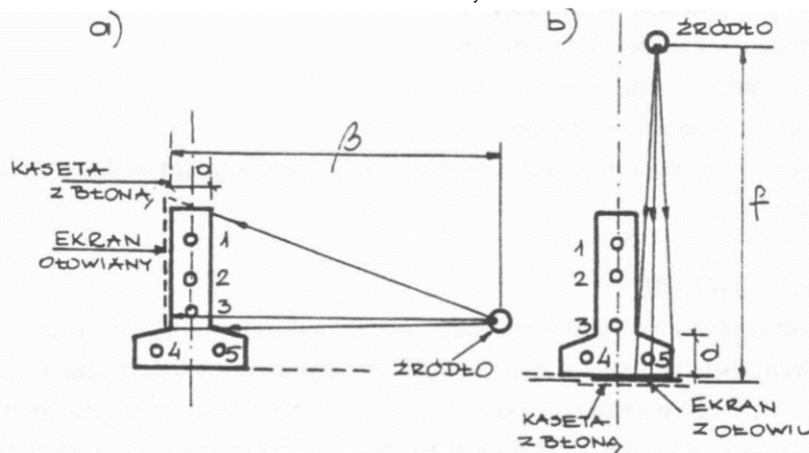
#### 4. Badania konstrukcji (in situ)

Większość badań wykonywanych na rzeczywistych konstrukcjach, oprócz znaczenia praktycznego, miała charakter doświadczalny i dlatego metodykę i technikę tych badań wielokrotnie prezentowano na konferencjach KKBN. Stosowano w nich różne metody z wykorzystaniem techniki ultradźwiękowej, radiologicznej, termowizyjnej, neuronowej elektromagnetycznej, laserowej, emisji akustycznej, a czasem także udarowej.

Podstawowym celem badania konstrukcji było zawsze określenie jej nośności i trwałości. Nośność konstrukcji żelbetowej zależy oczywiście od wytrzymałości betonu, ale także w dużej mierze od ilości, rodzaju i rozmieszczenia zbrojenia. Profesor Runkiewicz kilkakrotnie przedstawiał przypadki badania lokalizacji i inwentaryzacji zbrojenia w elementach konstrukcji żelbetowej lub też kabli w belkach sprężonych, z zastosowaniem metody radiograficznej. Badania autora (Jerzy Kaszyński) na modelach elementów żelbetowych, dostępną wówczas aparaturą, dały podstawy do ultrasonografii konstrukcji żelbetowych. Sondowanie współosiowe lub radialne może dać efekt w postaci izol linii prędkości fali ultradźwiękowej, współosiowych z prętem zbrojenia stalowego, natomiast sondowanie kątowe z dowolnego miejsca umożliwia zobrazowanie izol linii fazowych, także wyznaczających usytuowanie elementu zbrojenia.

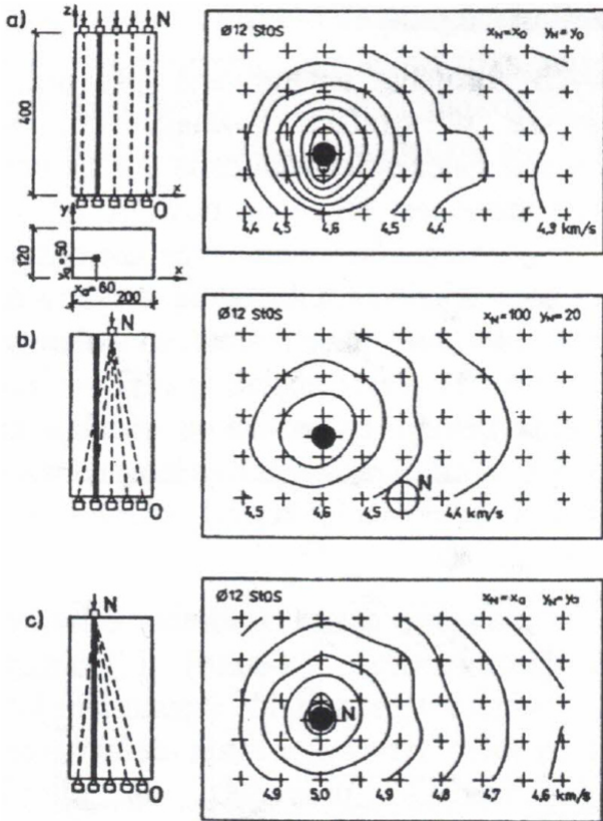


Rys. 5. Zbrojenie dolne w belce w środku przęsła określone metodą radiograficzną



Rys. 6. Układy badań radiograficznych sprężonych dźwigarów kablobetonowych

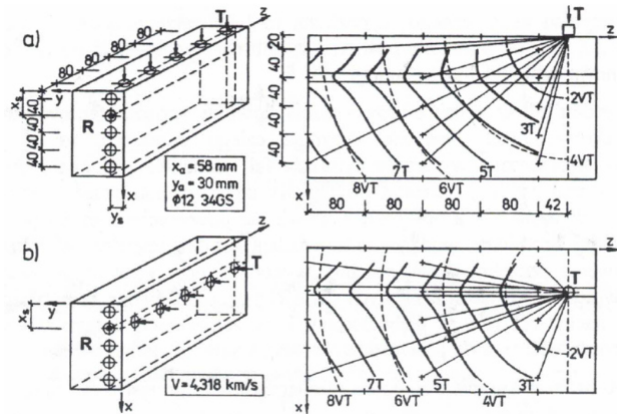




Rys. 7. Ultrasonogramy modelu betonowego z zabetonowanym prętem 12 St0, otrzymane z sondowania równoległego i radialnego przy użyciu płaskiej głowicy nadawczej i punktowej odbiorczej

Późniejsze badania Krzysztofa Schabowicza na bloku betonowym z wewnętrznym styropianowym modelem wady dały efekt tomografii ultradźwiękowej. W badaniach zastosowano przestawianą wielogłowicową antenę transmisyjno-odbiorczą oraz oprogramowanie komputerowe, umożliwiające uzyskanie wizualizacji usytuowania i kształtu wady.

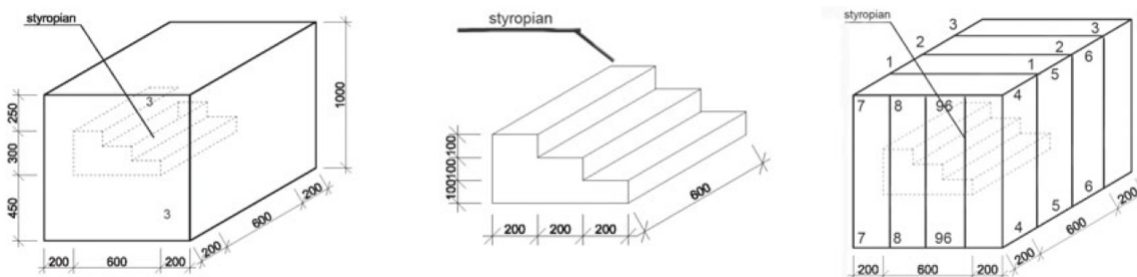
Znana i znormalizowana w 1992 r. metoda Pull-Off pozwalająca na badanie wytrzymałości betonu na rozciąganie w płytowych elementach konstrukcyjnych, a także na badanie przyczepności powłok ochronnych do podłoża betonowego, była opisywana na konferencjach przez Leonarda



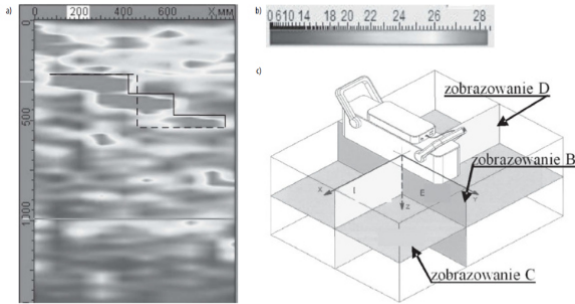
Rys. 8. Przykłady badań ultrasonograficznych w kątowym układzie głowic oraz izolinie fazowe propagacji fal: a – w płaszczyźnie zbrojenia  $y = y_0$ ; b – na powierzchni bocznej modelu

Runkiewicza i Andrzeja Moczko jako metoda quasi nieniszcząca, ze względu na konieczność wykonywania odwiertów koronowych przy każdym pomiarze.

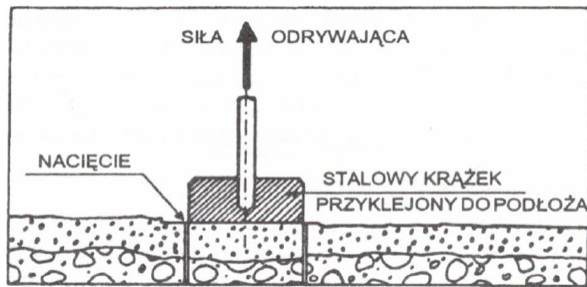
Metoda badania przyczepności i delaminacji powłok polimerowych do podkładu betonowego opisana przez Andrzeja Garbacza i M.Krystosiaka zastępuje uciążliwą w realizacji metodę Pull-Off, gdyż nie wymaga ona wykonywania odwiertów. Bazuje tylko na wykorzystaniu tłumienia fali ultradźwiękowej na styku powłoki z podkładem i wprowadzeniu parametru tzw. średniokwadratowej wartości czasowego rozkładu odbieranego impulsu  $MS(t)$ . W pełni nieniszcząca metoda Impact-Echo, prezentowana była na konferencjach przez prof. Włodzimierza Starosolskiego i Andrzeja Moczko od strony teoretycznej i aparaturowej. Metoda ta pozwala na pomiar grubości płyty betonowej lub wykrywanie, lokalizację i określanie rozmiarów wady o charakterze rozwarstwiającym. Polega ona na wzbudzeniu krótkiego impulsu fali sprężystej przez uderzenie i odbiór fali odbitej, która po transformacji Fouriera jest zobrazowana w postaci wykresu amplitudowo-częstotliwościowego, z wyraźnym impulsem częstotliwości fali odbitej. Odległość  $d$  wady od powierzchni jej wzbudzenia określa się z podstawowego związku kinematycznego ( $V = 2df$ ).



Rys. 9. Schemat próbki do badań z wymiarami zamodelowanej wady w postaci kształtki styropianowej oraz zaznaczonymi miejscami pomiarowymi



Rys. 10. Wyniki badań dla próbki betonowej:  
a) zobrazowanie D w miejscu pomiarowym 2, b) skala dyspersji ultradźwiękowej, c) antena pomiarowa w układzie współrzędnych i możliwe do uzyskania zobrazowania,



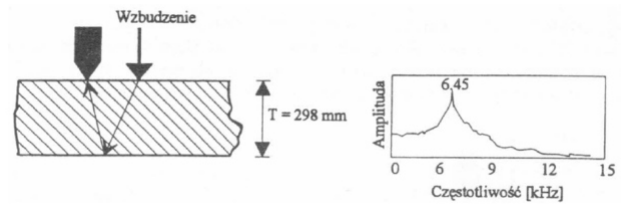
Rys. 11. Schemat badania metodą „Pull-Off”

Przykład zastosowania tej metody w badaniu delaminacji w betonowej posadzce o dużej powierzchni zaprezentował zespół Jerzego Hoły, Łukasza Sadowskiego, Krzysztofa Schabowicza i J. Rybaka. Innym przykładem jest zastosowanie podobnego zestawu aparatury pod firmową nazwą Impulse Response s'Mash w badaniach pali fundamentowych.

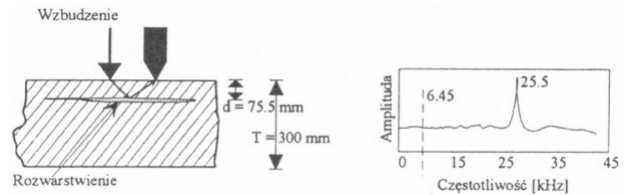
W konstrukcjach żelbetowych strefy rozciągane zawsze zawierają zbrojenie stalowe, ale w betonie dopuszczone są zarysowania o ograniczonej szerokości rozwarcia. Poza nielicznymi przypadkami, wszystkie rysy w betonie mają największe rozwarcie na powierzchni elementu konstrukcyjnego i nie obejmują całego przekroju. Bywają jednak przypadki zarysowania betonu o większej szerokości rozwarcia, a nawet w sytuacjach awaryjnych, mogą obejmować cały przekrój.

Badania głębokości rysy w konstrukcji żelbetowej, prezentowane przez Jerzego Kaszyńskiego na KKBN, były prowadzone na modelach betonowych, z prętem zbrojeniowym i z sztucznie uformowaną szczeliną. Pomiar ultradźwiękowy polegał na równoległym usytuowaniu głowic na powierzchni betonu po obu stronach szczeliny, stanowiącej ekran odbijający fale i wykorzystaniu efektu dyfrakcji fali na jej krawędzi. Zapis odbieranego impulsu zawiera złożony efekt fali ugiętej i najwcześniej rejestrowane przejście fali wzdłuż zbrojenia, a także falę odbitą na przeciwległej powierzchni betonu.

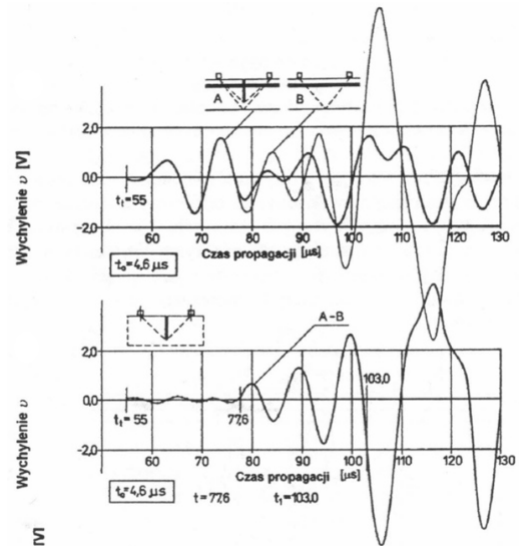
W celu odfiltrowania efektów zakłócających konieczny jest drugi pomiar poza szczeliną, w tej samej linii i w takim samym rozstawie głowic. Różnica obu zapisów oznacza



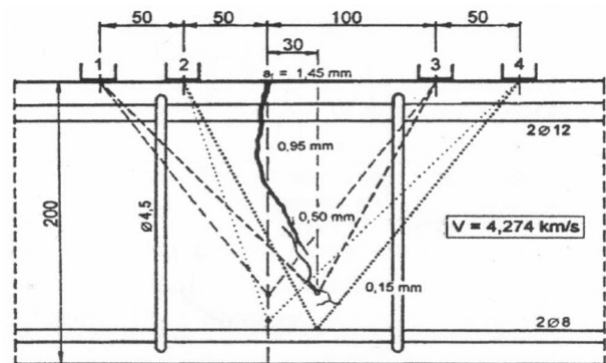
Rys. 12. Przykładowe wyniki pomiaru grubości żelbetowego elementu płytowego



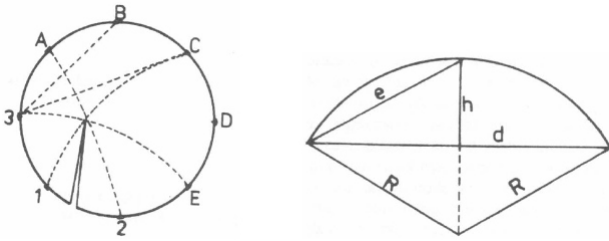
Rys. 13. Przykładowe, wyniki uzyskane w miejscu wystąpienia wady typu „rozwarstwienie”



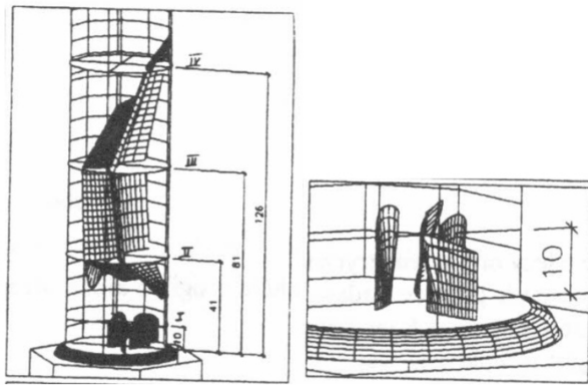
Rys. 14. Badania głębokości szczeliny betonoskopem T544: a, b – rejestracje impulsów z efektami dyfrakcji na krawędzi szczeliny i wzdłuż zbrojenia poza szczeliną, c – rejestracje skorygowane, d – impuls odfiltrowany



Rys. 15. Schemat i wyniki badań głębokości rysy naturalnej przy różnych układach głowic



Rys. 16. Rozmieszczenie punktów dla głowic nadawczych i odbiorczych na obwodzie kolumny w każdym badanym przekroju oraz cięciwa łuku jako model geometryczny



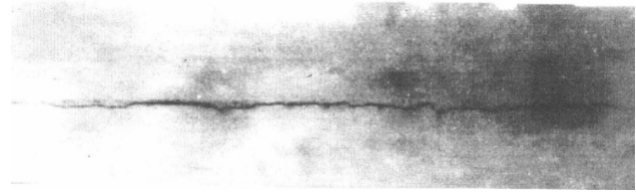
Rys. 17. Płaszczyzny pęknięć w jednej z kolumn pokazane w aksonometrii w dwóch różnych powiększeniach

rejestrację tylko fali ugiętej i umożliwia określenie głębokości szczeliny.

Przy niesymetrycznym układzie głowic względem szczeliny, możliwe jest odfiltrowanie zakłóceń odbieranego impulsu, przez zamianę głowic bez zmiany ich wzajemnego położenia.

Modelem geometrycznym pomiarów fali ugiętej na krawędzi szczeliny, lub na końcu rysy naturalnej jest elipsa, której ogniska wyznaczone są położeniem obydwu głowic. Promienie wodzące elipsy określają drogę fali padającej i ugiętej na końcu szczeliny. Znając prędkość fali ultradźwiękowej w betonie i czas odbioru fali ugiętej, można określić wszystkie parametry elipsy, a tym samym głębokość rysy prostopadłej do powierzchni betonu. Jeżeli rysa jest ukośna, to należy wykonać dwa pomiary i wówczas współrzędne przecięcia obydwu elips wyznaczają miejsce zakończenia rysy.

Oryginalne w założeniach teoretycznych badania ultradźwiękowe zarysowanych kolumn kamiennych z piaskowca o przekroju kołowym, zaprezentował Bohdan Stawiski. Badania w wielu płaszczynach poziomych prowadzono przy założeniu, że drogi przepływu fali poza rysą są prostoliniowe, natomiast w obszarze zarysowania do obliczeń przyjęto inne (fikcyjne) założenie, że fale „omijają” rysę, przebiegając po łuku kołowym o promieniu  $R$ . Przy dwóch takich pomiarach, punkt przecięcia obydwu łuków wyznacza zakończenie rysy w badanym przekroju.



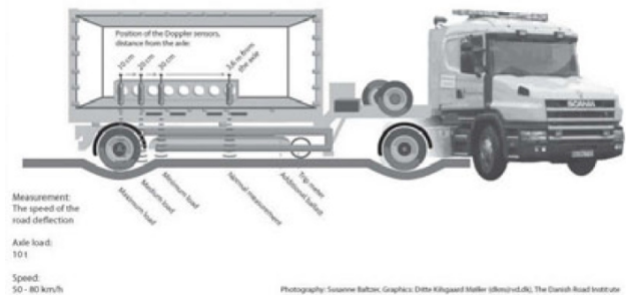
Rys. 18. Rentgenogram złącza czołowego środnika z pęknięciem na całej długości styku

## 5. Budownictwo komunikacyjne

W dziedzinie budownictwa komunikacyjnego najważniejszymi obiektami są mosty, wiadukty i drogi. Intensywna eksploatacja i wielokrotność obciążenia powodują, że ich trwałość użytkowa jest określana na 60 lat, choć wiele obiektów, w tym także mostów wciąż jeszcze użytkowanych, przekracza wiek 100 lat. Zespół pracowników Zakładu Konstrukcji Metalowych Politechniki Szczecińskiej prowadził wieloletnie (1956÷1990 r.) badania rentgenograficzne głównych spoin czołowych w 155 mostach i wiaduktach stalowych o konstrukcji blachownicowej lub kratowej. Wyniki tych badań wraz z ogólną analizą i klasyfikacją wadliwości badanych mostów kolejowych przedstawił na KKBN Bernard Wichtowski – aktywny uczestnik tych badań.

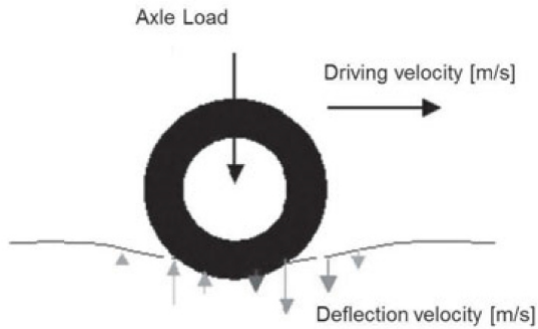
Także długoletnie badania „wierzchniej warstwy nawierzchni drogowej metodami powierzchniowymi” prowadził i prezentował na konferencjach Romuald Sztukiewicz. Wierzchnie warstwy nawierzchni drogowych i lotniskowych z betonu cementowego oraz nawierzchnie drogowe z warstwą wierzchnią z betonu asfaltowego badano ultradźwiękowo przy równoległym układzie głowic o stałym rozstawie, w 8-letnim okresie monitorowania w wyznaczonych sektorach drogi. Niezależnie od tego badano grubości poszczególnych warstw nawierzchni georadarem RAMAC/RPR. Jest to urządzenie wykonujące pomiary w ruchu na zasadzie wykorzystania fal elektromagnetycznych z ciągłą rejestracją graficzną wyników.

How the High Speed Deflectograph works:



Rys. 19. Ruchomy zestaw pomiarowy z ugięciomierzem laserowym TSD





Rys. 20. Ugięcie nawierzchni pod toczącym się kołem



Rys. 21. Porównanie wartości wskaźnika SCI300 dla czterech prędkości pomiarowych

Postęp techniczny w badaniach nawierzchni drogowych doprowadził do szybkich pomiarów ugięcia warstwy wierzchniej, w czasie jazdy z dużą prędkością, dochodzącą do 80 km/godz.

dzięki wykorzystaniu dopplerowskich czujników laserowych, zamontowanych na specjalnym zestawie pomiarowym w przyczepie samochodu.

## 6. Tematyka badań wybranych materiałów

Fibrobeton występujący w różnych odmianach rozproszonego zbrojenia z cienkiego drutu w całej objętości betonu jest materiałem o zwiększonej wytrzymałości na rozciąganie i większej odporności na obciążenia dynamiczne i ruchowe. Ma zastosowanie w nawierzchniach drogowych, lotniskowych i posadzkach przemysłowych oraz w wielu innych rozwiązaniach konstrukcyjno budowlanych. W zespole poznańsko wrocławskim (Tomasz Błaszczński, Marta Przybylska-Fałek, Tomasz Gorzelańczyk, Jerzy Hola) przeprowadzono badania emisji akustycznej w czasie obciążania ściskającego w porównaniu z betonem niezbrojonym. Stwierdzono, że poziom inicjujących pęknięć  $\sigma_{cr}$  jest trudno zauważalny, a poziom naprężeń krytycznych jest nieco wyższy niż w betonie nie zbrojonym o tym samym składzie.

Wyroby ceramiczne były badane przez Bohdana Stawiskiego ultradźwiękowo przy zastosowaniu głowic eksponencyjnych. Wyroby ogniotrwałe, nominalnie do temperatury 1500C, z wadami produkcyjnymi o charakterze wewnętrznych rozwarstwień, występowały w pewnych partiach kształtek i cegieł szamotowych. Precyzyjne badania nieniszczące pozwoliły na identyfikację typowych wad, ważnych dla producenta. Podobny charakter i cel miały badania dachówek ceramicznych.

Jest jeszcze wiele tematów prezentowanych i dyskutowanych na 49-ciu minionych konferencjach KKBN. Będą one wspomniane na Jubileuszowej 50-iej Konferencji w gronie jej uczestników i autorów referatów. Dynamiczny postęp w dziedzinie aparatury pomiarowej sprzyja dalszemu rozwojowi metod badania konstrukcji, materiałów budowlanych, a także nowoczesnych technologii. Będzie o czym pisać przy okazji następnego Jubileuszu Konferencji KKBN.