

Leonard Runkiewicz\*

*Institut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska*

# Historia metod nieniszczących stosowanych w budownictwie polskim

## History of nondestructive methods in building and civil engineering in Poland

### ABSTRACT

The paper presents the development of nondestructive methods based on:

- scientific and research works at the Polish Academy of Sciences, universities and research institutes;
- scientific and technical conferences;
- publications in the form of monographs, articles and lectures;
- courses and post-graduate studies.

Also presented are universities, research centers and professors having a significant influence on the development of nondestructive testing in Polish construction. A review and division of nondestructive methods and techniques currently used in construction to the appraisal of reinforced concrete, steel, wooden, masonry and plastic structures is also provided.

**Keywords:** structures; nondestructive testing

### STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono rozwój metod nieniszczących na podstawie:

- prac naukowo – badawczych w PAN, wyższych uczelniach oraz instytucjach naukowo – badawczych;
- konferencji naukowo – technicznych;
- publikacji w postaci monografii, artykułów i referatów;
- kursów i studiów podyplomowych.

Przedstawiono także uczelnie, ośrodki naukowo – badawcze i profesorów mających znaczący wpływ na rozwój badań nieniszczących w polskim budownictwie. Podano również przegląd oraz podział metod i technik nieniszczących stosowanych obecnie w budownictwie do ocen konstrukcji żelbetonowych, stalowych, drewnianych, murowych i z tworzyw sztucznych.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje budowlane; badania nieniszczące

### 1. Wstęp

Prawidłowe przeprowadzenie oceny bezpieczeństwa konstrukcji wymaga znajomości wytrzymałości materiałów, z których jest ona wykonana. W przypadku konstrukcji żelbetonowych materiałami takimi jest beton i stal. Niekiedy do oceny bezpieczeństwa elementów konstrukcji stosowana jest metoda obciążenia próbnym.

Wyznaczenia wytrzymałości i jednorodności materiałów można dokonać przy użyciu zarówno metod nieniszczących, jak i metod seminiszczących lub niszczących. Wśród badań nieniszczących najczęściej stosowana jest metoda radiologiczna, ultradźwiękowa i sklerometryczna. Natomiast badania seminiszczące konstrukcji żelbetonowych najczęściej polegają na wrywaniu kotew osadzonych w stwardniałym betonie (metoda pull-out) lub umieszczonych w konstrukcji przed jej zabetonowaniem (metoda lock-out), odrywaniu stalowych krążków przyklejonych do powierzchni betonu (metoda pull-off) oraz ścinaniu naroży elementu betonowego lub wylamywaniu walcowych bloków betonowych powstałych po nawierceniu betonu wiertnicą (metoda break-out). Badania niszczące mające na celu określenie wytrzymałości betonu na ścinanie wykonuje się na próbkach wyciętych z konstrukcji, najczęściej o kształcie walcowym [3].

Oceny konstrukcji budowlanych z innych materiałów takich jak stal, drewno, ceramika, tworzywa sztuczne dokonuje się za pomocą nieniszczących metod specjalistycznych.

### 2. Rozwój metod nieniszczących w budownictwie

Za początek badań nieniszczących (ang. Non Destructive Testing – NDT) uznaje się odkrycie i zastosowanie przez

Wilhelma Conrada Roentgena promieniowania X w 1895 r. Kolejnym ważnym krokiem w rozwoju badań nieniszczących było użycie w 1893 r. ultradźwięków. Jednak znaczny rozwój badań nieniszczących nastąpił w czasie II wojny światowej, gdyż konieczne było zapewnienie niezawodności środków bojowych [2].

Stosowanie metod nieniszczących w budownictwie rozpoczęło się w Polsce w połowie XX w. Pierwsze prace badawcze i diagnostyczne prowadzone były m.in. w Polskiej Akademii Nauk, Politechnice Warszawskiej, Instytucie Techniki Budowlanej oraz Instytucie Elektrotechniki. Obszar badań i wdrożeń poszerzał się stopniowo również na inne uczelnie techniczne oraz ośrodki naukowo-badawcze.

Początkowy okres rozwoju badań nieniszczących w budownictwie związany był z prof. prof. W. Olszakiem, A. Sawczukiem, Z. Pawłowskim, J. Pyszniakiem, L. Brunarskim, J. Remiszewskim, L. Runkiewiczem i wieloma innymi, którzy prowadzili prace związane z:

- 1) metodami badania materiałów budowlanych poprzez pomiar ich twardości (w szczególności zastosowanie młotka Poldiego);
- 2) rezonansową metodą pomiarów dynamicznych stałych sprężystych;
- 3) ultradźwiękową metodą kontroli jakości materiałów budowlanych;
- 4) rentgenografią konstrukcji żelbetonowych i stalowych;
- 5) elastooptyką i metodami badań modelowych (w szczególności na modelach z gumy);
- 6) badaniami konstrukcji przy użyciu tensometrów strunowych, elektrooporowych i magnetycznych (opracowanych w Czechosłowacji).

W początkowym okresie z zagranicy sprowadzane były

\*Autor korespondencyjny. E-mail: l.runkiewicz@itb.pl

specjalistyczne przyrządy pomiarowe, m.in. do badań twardości (Schmidta, Paldiego), oceny zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych (Covemet, Proceq Szwajcaria). Natomiast w kraju konstruowano aparaturę specjalistyczną m.in. do badań ultradźwiękowych, rezonansowych, radiologicznych, elastooptycznych (PAN, ITB, IBJ, IE itp.). Aparatura i urządzenia te były wykorzystywane w badaniach naukowych mających na celu poszerzenie zakresu ich optymalnego stosowania, szczególnie w diagnostykach konstrukcji budowlanych wykonanych z różnych materiałów (stalowych, żelbetowych, murowych, drewnianych, zespolonych lub z tworzyw sztucznych).

Polskie ośrodki naukowo-badawcze przedstawiały swoje wyniki badań na krajowych i zagranicznych konferencjach i kongresach badań nieniszczących.

Krajowe uczelnie wyższe oraz ośrodki naukowo-badawcze, np. Polska Akademia Nauk, Instytut Elektrotechniki, Instytut Techniki Budowlanej, organizowały różne formy podnoszenia kwalifikacji w zakresie badań nieniszczących, takie jak konferencje, sympozja, studia podyplomowe. Kursy podyplomowe były znaczącym ogniwem w popularyzowaniu i wdrożeniu metod nieniszczących. Przykładowo kursy podyplomowe organizowane przez ITB obejmowały badania oraz diagnostyki konstrukcji budowlanych prowadzone metodami ultradźwiękowymi, sklerometrycznymi, radiologicznymi, rezonansowymi oraz elektrycznymi.

Znaczącą rolę w dynamicznym rozwoju metod nieniszczących w Polsce odegrał VII Międzynarodowy Kongres Badań Nieniszczących, który odbył się w 1973 r. w Warszawie (Przewodniczący Z. Pawłowski), a także trzy Konferencje Badań Nieniszczących w Budownictwie w latach 1974, 1976 i 1978, w których uczestniczyli – co w tamtych czasach było rzadkością – goście zagraniczni. Organizatorami tych konferencji był Instytut Techniki Budowlanej oraz Politechnika Wrocławska.

Na konferencjach tych przedstawiono oraz opublikowano ponad 120 referatów z Polski i zagranicy, co uważano wtedy za duży sukces naukowy i organizacyjny. Referaty dotyczyły m.in. zagadnień takich jak:

- ogólnych zasad stosowania metod nieniszczących w budownictwie;
- wpływów czynników technicznych i technologicznych na wyniki badań ultradźwiękowych, sklerometrycznych, radiologicznych, emisji akustycznej itp.;
- wpływów czynników środowiskowych i korelacyjnych na dokładności badań nieniszczących;
- wpływów analiz matematycznych na ocenę bezpieczeństwa konstrukcji metodami nieniszczącymi;
- stosowania metod nieniszczących dla oceny różnych rodzajów materiałów;
- ocen jakości elementów prefabrykowanych za pomocą metod nieniszczących;
- kompleksowego stosowania metod nieniszczących do oceny jakości konstrukcji budowlanych;
- stosowania metod radiologicznych i magnetycznych do oceny zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych;
- wilgotności i korozji betonu w konstrukcjach;
- połączeń elementów w konstrukcjach stalowych;

- ocen konstrukcji murowych, drewnianych, zespolonych oraz z tworzyw sztucznych;
- ocen jakości stropów, słupów, ścian, wież, zapór, wiaduktów, mostów oraz innych elementów i konstrukcji specjalistycznych;
- ocen budowli wieżowych, kominów i chłodni;
- ocen zbiorników i silosów;
- ocen zbrojenia i jego korozji metodami radiograficznymi, radiologicznymi, ultradźwiękowymi, prądów wirowych oraz za pomocą specjalistycznej aparatury badawczej, jak np. źródeł promieniowania wysokoenergetycznego, izotopów, betatronów, aparatów rentgenowskich, magnetycznych itp.

W wyniku współpracy naukowej w ramach RWPG opracowano w Centrum Badań Nieniszczących, we współpracy z krajami zachodnimi, podstawy do stosowania metod nieniszczących w budownictwie.

W Polskim Komitecie Normalizacyjnym opracowano specjalistyczne normy m.in. ultradźwiękowe, sklerometryczne, radiologiczne itp. do zastosowania w budownictwie. Normy te zostały wprowadzone do norm międzynarodowych, a później do norm Unii Europejskiej.

Prowadzone w kraju badania nad metodami nieniszczącymi, szczególnie na Wyższych Uczelniach oraz w ITB, pozwalały na coraz szersze stosowanie tych metod w budownictwie.

Przyczyniły się one także do powstania szeregu prac doktorskich i habilitacyjnych, przykładowo na Politechnice Warszawskiej, Wrocławskiej, Krakowskiej, Śląskiej, AGH, Rzeszowskiej, Szczecińskiej, Poznańskiej, Białostockiej, Lubelskiej, a także w Instytucie Techniki Budowlanej. W ośrodkach tych powstawały „szkoły” badań nieniszczących, w których wyróżnić można szkoły prof. prof. A. Garbacza, J. Hoły, J. Kaszyńskiego, R. Sztukiewicza, K. Flagi, K. Schabowicza, B. Stawiskiego, Ł. Drobcza i innych.

W Instytucie Techniki Budowlanej zostały opracowane instrukcje stosowania oraz wytyczne oceny jakości, a także zalecenia Ministerstwa Budownictwa w sprawie podnoszenia kwalifikacji oraz zasad oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych metodami nieniszczącymi. Wymienione prace pozwalały na poprawne stosowanie metod nieniszczących w budownictwie.

Metody nieniszczące weszły do programów nauczania studentów na wszystkich wydziałach budowlanych wyższych uczelni. Ponadto są one przedmiotem wielu budowlanych konferencji naukowo – technicznych, takich jak cykliczne konferencje: PAN i PZITB w Krynicy, Awarie budowlane w Międzyzdrojach, Warsztaty Projektanta Konstrukcji Budowlanych, Warsztaty Rzeczoznawcy Budowlanego, Kontra, Zbiorniki, Renowacje, Budownictwo w energetyce, Konstrukcje sprężone, Matbud i innych.

Za pomocą metod nieniszczących realizowano diagnostyki większości ważniejszych obiektów budowlanych w kraju, a ich wyniki stanowiły podstawy do oceny bezpieczeństwa oraz zakresu ewentualnego wzmocnienia odpowiedzialnych obiektów, w tym obiektów zabytkowych.

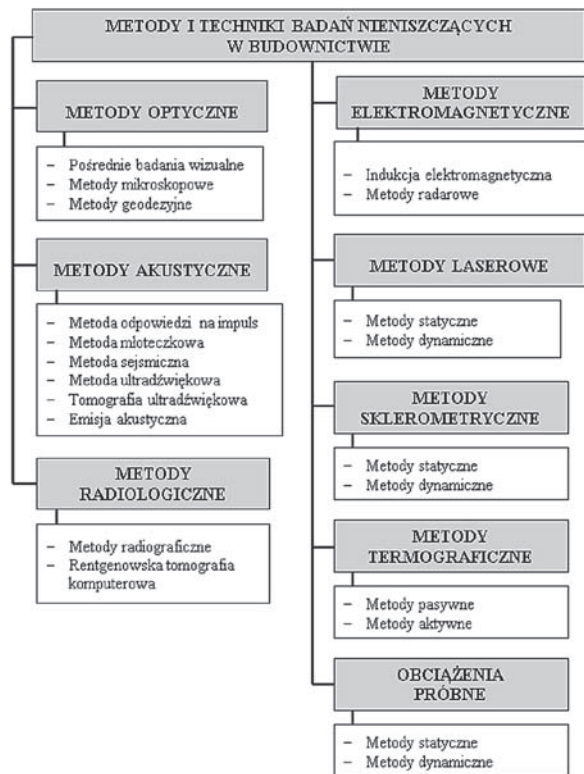
Szeroki i innowacyjny rozwój konstrukcji budowlanych wymaga dalszego rozwoju badań nieniszczących

z wykorzystaniem specjalistycznej, nowoczesnej aparatury badawczej.

### 3. Krótki przegląd metod nieniszczących i seminiszczących w budownictwie

#### Podział metod i technik nieniszczących

W diagnostyce konstrukcji budowlanych powszechnie stosowane są metody nieinwazyjne, nieniszczące i seminiszczące, które nie powodują naruszenia struktur badanych konstrukcji. Na rysunku 1 przedstawiono ogólny podział tych metod, a ich szczegółowy opis można znaleźć w literaturze technicznej, np. w [1, 3].



Rys. 1. Ogólna klasyfikacja nieniszczących metod i technik stosowanych w diagnostykach konstrukcji budowlanych.

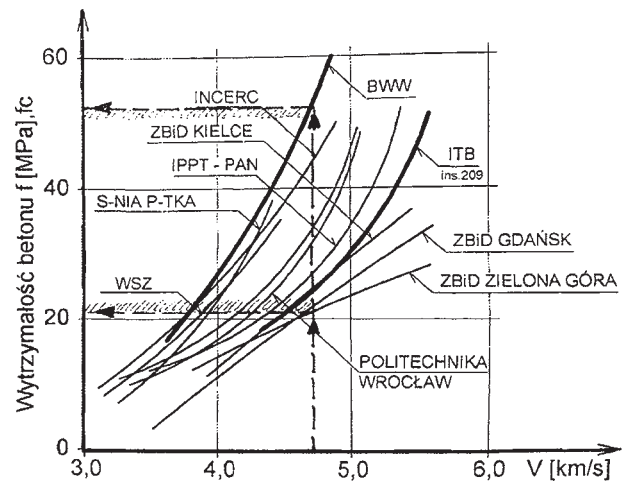
Fig. 1. General classification of nondestructive methods and techniques used in diagnostics of building structures.

Metody optyczne - do metod optycznych zalicza się wiele technik pomiarowych wykorzystujących aparaturę badawczą w postaci m.in. endoskopów, boroskopów, wideoskopów umożliwiających badanie powierzchni i miejsc niedostępnych dla oka, a także mikroskopy użyteczne w warunkach laboratoryjnych. Ponadto do tej grupy metod zalicza się także skaning laserowy umożliwiający zdalne wyznaczenie położenia zbioru punktów w przestrzeni trójwymiarowej, co daje możliwość rekonstrukcji trójwymiarowego obrazu (ukształtowania) całych obiektów budowlanych lub ich fragmentów, w tym widocznej dla lasera konstrukcji [1]. Metoda ta może być stosowana m.in. do zdalnych pomiarów postępujących ugięć wybranych elementów konstrukcji. Stosowane są one w monitoringach obiektów budowlanych.

Metody akustyczne - do metod akustycznych zalicza się metody ultradźwiękowe, odpowiedzi na impuls, młoteczkową, tomografii ultradźwiękowej i emisji akustycznej.

Metody ultradźwiękowe – są stosowane m.in. do oceny, w sposób pośredni, wytrzymałości i jednorodności betonu i stali w konstrukcji [4-11], a także do wykrywania nieciągłości strukturalnej w postaci pęknięć oraz do lokalizowania pustek powietrznych w badanych materiałach. Wytrzymałość betonu określana jest na podstawie prędkości podłużnych fal ultradźwiękowych rozprzestrzeniających się w badanych betonach, skorelowanych z wytrzymałością na ściskanie uzyskaną na podstawie badań wytrzymałościowych próbek pobranych z konstrukcji.

Przykładowe zależności  $f_c - V$  dla różnych krajów i ośrodków pokazano na rys. 2.



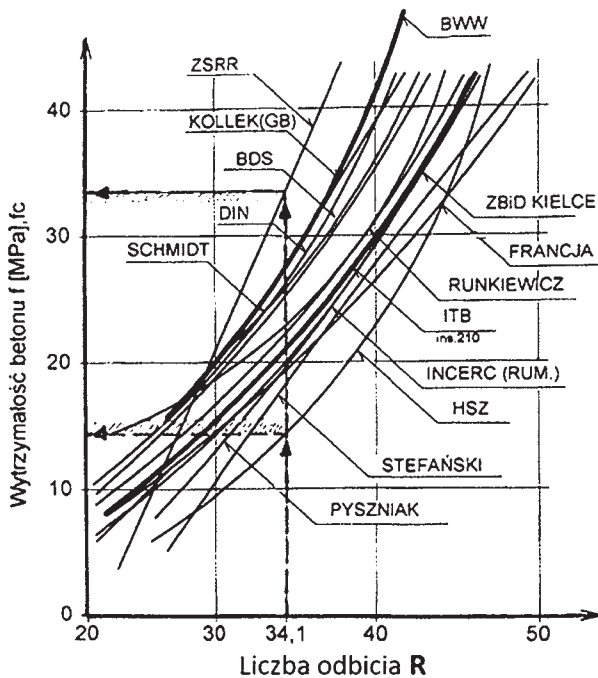
Rys. 2. Przykłady charakterystycznych zależności  $f_c - V$  dla metody ultradźwiękowej (dla różnych betonów i różnych krajów).

Fig. 2. Examples of characteristic dependencies  $f_c - V$  for the ultrasonic method (for different concretes and different countries).

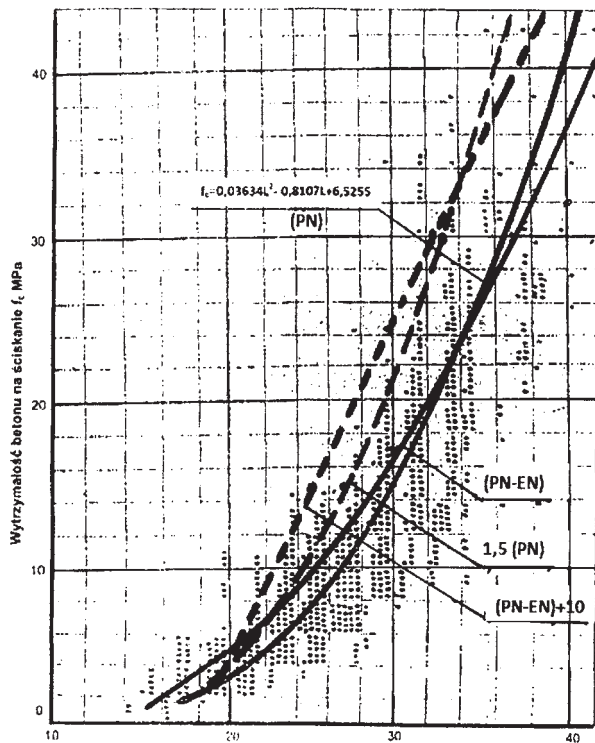
Metody odpowiedzi na impuls (impulse response) – są stosowane m.in. do wykrywania pustek powietrznych pod płytami żelbetowymi ułożonymi na gruncie, delaminacji na stykach warstw, miejsc wadliwych i obszarów o dużej niejednorodności struktury betonu w masywnych elementach betonowych (tzw. honeycombing).

Metody emisji akustycznej – są to metody pomiarowe wykorzystujące zjawisko powstawania i rozprzestrzeniania się fal sprężystych wysokiej częstotliwości w strukturze materiału, powodowanych obciążeniem. Mogą to być obciążenia narastające statycznie, wielokrotnie zmienne, dynamiczne, ale też i obciążenia niemechaniczne [8]. W metodach tych znacznie wcześniej niż w innych sygnalizowany jest rozwój procesów destrukcyjnych, które mogą spowodować zniszczenie, dając w ten sposób czas potrzebny do odciążenia konstrukcji.

Metody elektromagnetyczne – wykorzystywane są do określenia lub wykrywania w dostępnych jednostronnie betonowych i żelbetowych elementach, zwłaszcza płytowych: grubości, rozwarstwień, rozległych wad, usytuowania prętów zbrojeniowych [9]. Aparatura może przemieszczać się po powierzchni badanego elementu. Zaletą tej metody jest możliwość szybkiego badania elementów o dużych powierzchniach szczególnie w zakresie lokalizowania zbrojenia, natomiast wadą – mała dokładność określenia średnicy i grubości otuliny zbrojenia w elementach żelbetowych.



Rys. 3. Przykładowe zależności empiryczne  $f_c - R$  dla sklerometrów Schmidta typu N (dla różnych betonów w różnych krajach).  
Fig. 3. Examples of empirical relationships  $f_c - R$  for Schmidt type N sclerometers (for different concretes in different countries).



Rys. 4. Zależności empiryczne dla młotków Schmidta typu N ( $a = 0$ ) do oceny wytrzymałości betonu podane dla warunków polskich [7].  
Fig. 4. Empirical dependencies for type N Schmidt hammers ( $a = 0$ ) for the assessment of concrete strength given for Polish conditions [7].

Metody sklerometryczne - stosowane do oceny, w sposób pośredni, wytrzymałości i jednorodności betonu

w konstrukcji. Uzyskiwany z badań parametr w postaci tzw. liczby odbicia  $R$  skorelowany jest z wytrzymałością na ściskanie betonu poprzez dobór odpowiedniej zależności korelacyjnej lub hipotetycznej [3, 6, 7].

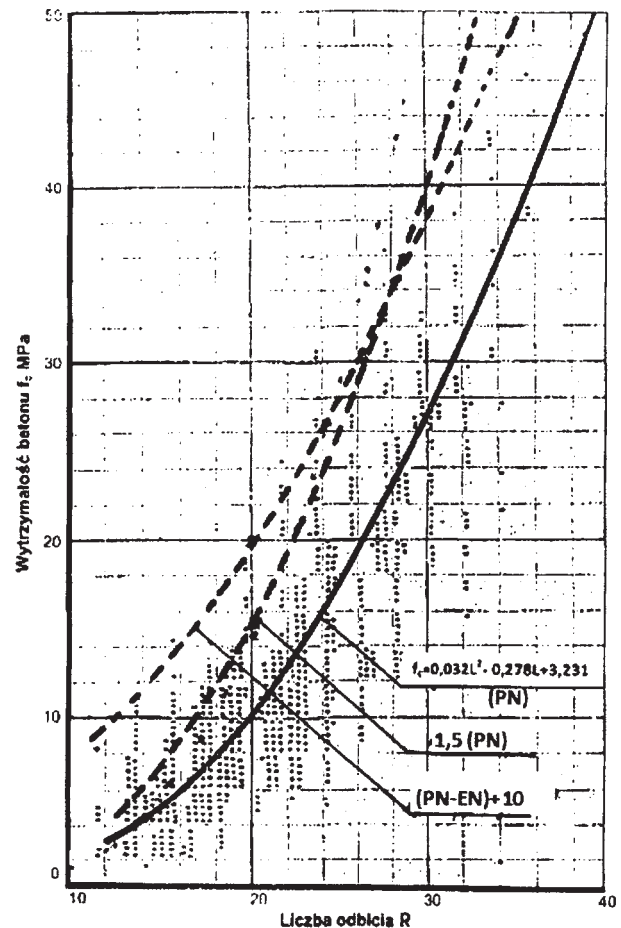
Przykładowe zależności badawcze dla metod sklerometrycznych do oceny wytrzymałości betonu podano na rys. 3. Uzasadniają one potrzebę uproszczonego skalowania metody dla każdego rodzaju betonu.

Polskie zależności empiryczne  $f_c - R$  dla sklerometrów Schmidta, dla betonów specjalistycznych i regionalnych, były opracowywane na podstawie bardzo licznych badań.

Przykładowe zależności opracowane w ITB na ponad 2000 pomiarach, dla warunków polskich pokazano na rys. 4 i 5 [14].

Metody radiologiczne. Wśród metod radiologicznych można wyróżnić metodę radiograficzną [12] służącą m.in. do oceny rozkładu zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych. Przykład oceny zbrojenia w belce żelbetowej pokazano na rys. 6. Metody te są opisane w wielu publikacjach.

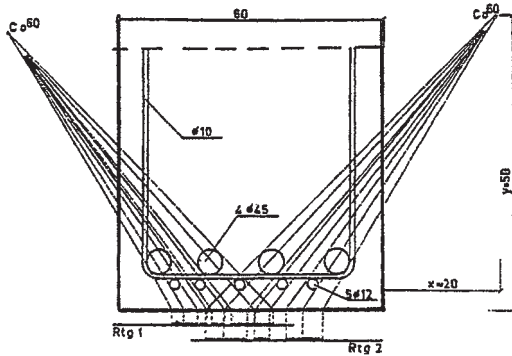
Wyniki badań naukowych opracowanych przez ITB stały się podstawą do opracowania odpowiedniej normy PN-B i obecnie służą do opracowania normy PN-EN.



Rys. 5. Zależności empiryczne dla młotków Schmidta typu L ( $a = 0$ ) do oceny wytrzymałości betonu dla warunków polskich [7].  
Fig. 5. Empirical dependencies for L-type Schmidt hammers ( $a = 0$ ) to assess concrete strength for Polish conditions [7].

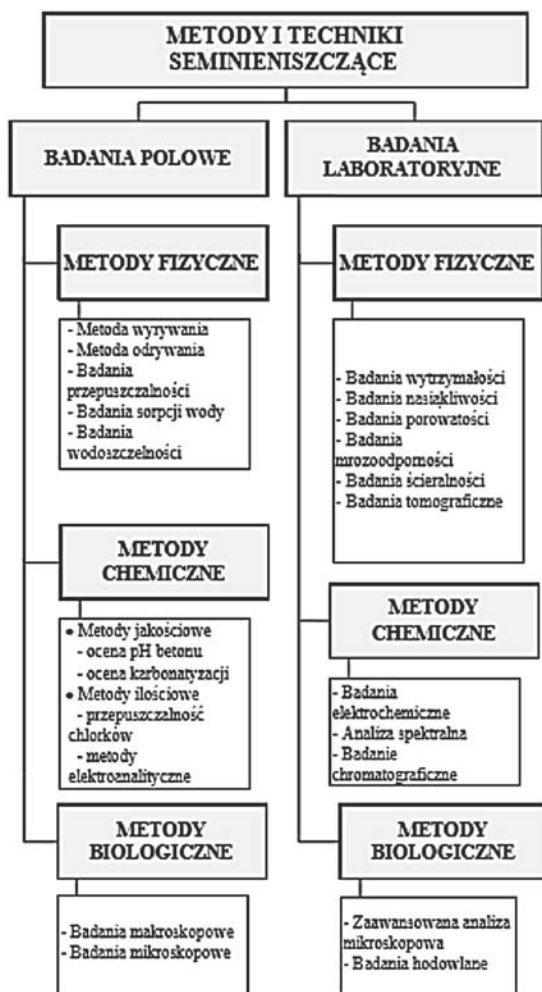
Metody i techniki seminieniszczące - metody te, podobnie jak metody nieniszczące, cechują się dużą przydatnością w ocenie trwałości, bezpieczeństwa i niezawodności





Rys. 6. Ocena zbrojenia dolnego w belce (w środku przęsła) za pomocą metody radiograficznej.

Fig. 6. Evaluation of the bottom reinforcement in the beam (in the middle of the span) using the radiographic method.



Rys. 7. Ogólna klasyfikacja metod i technik seminieniszczących stosowanych w diagnozowaniu konstrukcji budowlanych.

Fig. 7. General classification of seminon-destructive methods and techniques used in diagnosing building structures.

konstrukcji żelbetowych. Ich stosowanie nie powoduje istotnego naruszenia struktury badanej konstrukcji. Rysunek 7 jest propozycją ogólnej klasyfikacji podstawowych metod i technik seminieniszczących przydatnych w diagnostyce konstrukcji budowlanych. Wyróżniono metody fizyczne, chemiczne i biologiczne, z podziałem na przydatne w badaniach polowych (terenowych) oraz stosowane w laboratoryjnych

badaniach próbek, w tym na przykład rdzeniowych pobranych z konstrukcji. Szczegółowe opisy metod i technik seminieniszczących dostępne są m.in. w pracach [1, 3, 13].

Obciążenia próbne konstrukcji – wykorzystywane są do oceny aktualnego stanu granicznego nośności lub użyteczności elementu konstrukcyjnego, gdy z różnych przyczyn nie można tego dokonać na drodze badawczej lub obliczeniowo [10].

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Rozwój metod nieniszczących w budownictwie, rozpoczęty w Polsce przed ponad 50 laty należy ocenić, mimo wielu trudności techniczno – gospodarczych, jako dobry. Na wyższych uczelniach i w ośrodkach naukowo – badawczych są opracowywane i rozwijane specjalistyczne metody badawcze służące, w oparciu o aparaturę i urządzenia badawcze opracowywane w kraju, jak i zakupywane za granicą, rozwojowi polskiego nowoczesnego budownictwa na poziomie światowym. Ich dalszy rozwój powinien być wdrażany przez szkolenia, publikacje oraz prace naukowe – badawcze, realizowane wspólnie z ośrodkami zagranicznymi.

#### 5. Literatura/References

- [1] J. Bień: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [2] T. Chady, R. Sikora: Badania nieniszczące: historia, stan obecny i perspektywy rozwoju. Przegląd Spawalnictwa 12/2013, s. 13-15
- [3] Ł. Drobiec, R. Jasiński, A. Piekarczyk: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [4] PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu. Część 4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej
- [5] B. Goszczyńska, G. Świt, W. Trompczyński, i inni: Zastosowanie metody emisji akustycznej do analizy procesu zarysowania belek żelbetowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej: Budownictwo i Inżynieria Środowiska. Zeszyt 59, 2012, s. 76 – 84.
- [6] L. Runkiewicz, J. Sieczkowski: Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badań sklerometrycznych. Poradnik. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2018.
- [7] PN-EN 12504-2:2013-03. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badania nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia.
- [8] PN-EN 12504-3:2006. Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wrywającej.
- [9] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [10] B. Lewicki: Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków. Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1997.
- [11] D. Stefaniuk, Ł. Sadowski, Wykorzystanie rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej do oceny wybranych cech mikrostruktury betonu, Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych - „POPÓW 2016”
- [12] J. Hoła, K. Schabowicz: Diagnostyka obiektów budowlanych. Materiały Budowlane, 2015, 5, 3 – 7.
- [13] A. Zybura, M. Jaśniok, T. Jaśniok: Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Tom 2. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017
- [14] L. Runkiewicz: Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu. Instrukcja nr 210, ITB, Warszawa 1977
- [15] L. Runkiewicz: Sklerometryczna ocena jakości betonu. Praca magisterska. Politechnika Warszawska, 1961