

# Ocena rozkładu wytrzymałości betonu w belkach żelbetowych za pomocą badań sklerometrycznych

Distribution of the strength of concrete in reinforced concrete beam using sclerometer test

## Streszczenie

W artykule podano ocenę rozkładu wytrzymałości betonu metodą nieniszczącą w belkach żelbetowych. Określenia wytrzymałości betonu dokonano dwiema metodami: niszczącą i nieniszczącą. Porównanie wyników badań uzyskanych różnymi metodami wykazało dobrą zgodność. Weryfikację rozkładów wytrzymałości betonu belek uzyskanych metodą sklerometryczną przeprowadzono na podstawie procesu rozwoju rys oraz wytyżenia poszczególnych przekrojów belek. Analiza uzyskanych wyników umożliwiła wyciągnięcie wniosków dotyczących możliwej korelacji rozkładu wytrzymałości betonu i morfologii rys.

**Słowa kluczowe:** badania nieniszczące, wytrzymałość, konstrukcja budowlana, beton

## Abstract

In this paper the concrete strength evaluation is obtained with non-destructive method in the reinforced concrete beams. Determining of the strength of concrete was accomplished with two methods: destructive and non-destructive. The results comparison is obtained with different methods in a good agreement. The distribution verification of concrete strength of the beams was received with non-destructive method based on process of cracks evolution and level of load in each section of beams. The obtained results analysis permitted for conclusions concerning possible correlation of distribution of concrete strength and the morphology of cracks.

**Keywords:** non-destructive tests, strength, building structure, concrete

## Wstęp

W ramach różnego typu badań prowadzonych od wielu lat w Katedrze Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Betonowych Politechniki Świętokrzyskiej jej pracownicy stosują m.in. metody nieniszczące do diagnostyki elementów i obiektów budowlanych [1] (emisji akustycznej, elektromagnetyczne, sklerometryczne itp.). Podczas diagnostyki konstrukcji żelbetowych

zachodzi często potrzeba oceny zróżnicowania wytrzymałości betonu w elemencie [2,3]. Do takiej oceny najlepsze są metody nieniszczące, np. metody sklerometryczne. Nieodzowne wydaje się jednak zweryfikowanie rozkładu oraz otrzymywanych wartości bezwzględnych metodą niszczącą [4]. Przyczyną może być np. brak właściwych funkcji korelacyjnych twardość – wytrzymałość dla metody sklerometrycznej, które można uzyskać jedynie na drodze doświadczalnej.

Dr inż Artur Wójcicki – Politechnika Świętokrzyska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: arturw@tu.kielce.pl

## Główne tezy badawcze

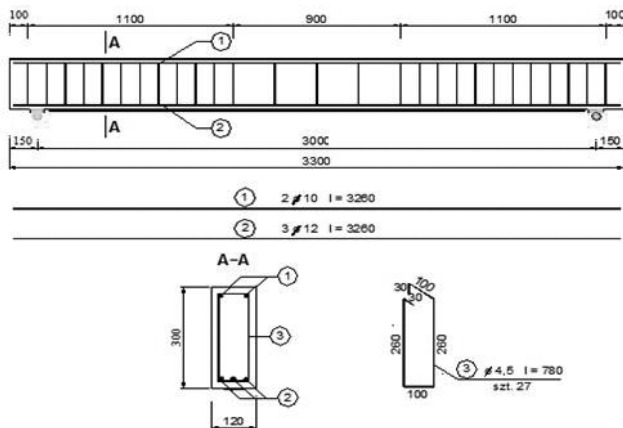
W pracy postawiono następujące tezy:

- Pomiary sklerometryczne, wykonane na elemencie żelbetowym typu belka, umożliwiają ustalenie miarodajnego rozkładu wytrzymałości betonu w jego objętości.
- Uzyskany przed obciążaniem rozkład wytrzymałości pozwala na przewidywanie rozwoju zarysowania oraz lokalizację w belce miejsc o zróżnicowanych właściwościach. Na podstawie morfologii rys można zweryfikować, uzyskany metodą nieniszczącą, rozkład wytrzymałości betonu belki w strefie rozciąganej.
- Wartość naprężeń rysujących można oszacować w miejscu powstania rysy na podstawie znanej wartości obciążenia, schematu statycznego i zależności fizycznych jak dla fazy Ib/IIa zginanego przekroju żelbetowego, co także pozwoli na weryfikację wartości bezwzględnych wyników nieniszczących badań bezpośrednich.

## Badania eksperymentalne

Do badań użyto trzech belek żelbetowych, wolno podpartych o wymiarach 12 x 30 x 330 cm i rozpiętości w osiach podpór 3,0 m. Wymiary oraz sposób zbrojenia belek przedstawiono na rysunku 1.

Elementy badawcze wykonano z mieszanki betonowej projektowanej klasy min. C25/30, stali 34GS

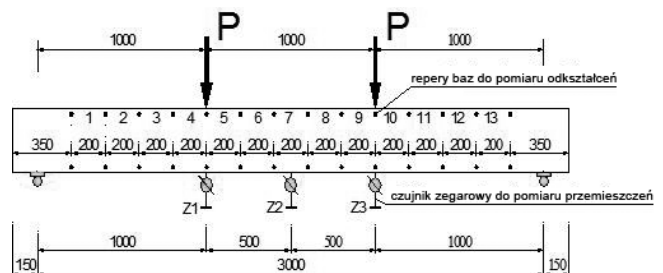


Rys. 1. Geometria i układ zbrojenia belek  
Fig. 1. Geometry and the arrangement of reinforcement

i stopniu zbrojenia podłużnego  $p = 1,05\%$ . Zbrojenie poprzeczne belek przyjęto wg rysunku 1 ze stali gładkiej St3S. Dla każdej belki wykonano po 3 sześciennie próbki betonowe o boku 150 mm.

Belki obciążano dwiema siłami skupionymi od 0,0 do 5,0 kN, aż do zniszczenia, wykonując na każdym poziomie obciążenia odpowiednie pomiary. W niniejszej pracy wykorzystano część pomiarów, tj. pomiary wielkości obciążenia oraz rozwoju zarysowania. Rozmieszczenie czujników i baz pomiarowych na belce pokazano na rysunku 2.

Przed obciążaniem wykonano pomiary sklerometryczne [5÷7] w 52 punktach na pobocznicach każdej belki. Pomiary przewidziano w rejonie włókien dolnych i górnych, jednakże poza obszarem zbrojenia głównego. Badania wszystkich elementów, tj. belek i próbek sześciennych o bokach 150x150x150 mm wykonanych z tego samego zarobu realizowano tego samego dnia. Kostki ściskano w maszynie wytrzymałościowej o dokładności pomiaru siły 0,001 MN. Przed próbą wytrzymałościową dokonywano pomiaru sklerometrycznego na ścianie każdej kostki.



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników i baz pomiarowych  
Fig. 2. Sensors arranging and measuring bases t

## Wyniki badań

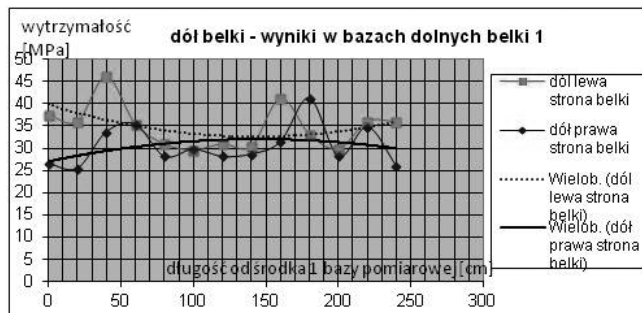
Wyniki pomiarów sklerometrycznych, wykonanych zarówno na belkach, jak i na próbkach sześciennych, zestawiono w tabelcy I.

Porównanie średnich wartości wytrzymałości uzyskanych dwiema metodami na kostkach pokazuje ich dobrą zgodność, co świadczy o tym, że badania sklerometryczne są miarodajne. Średnie wartości uzyskane metodą sklerometryczną na belkach nie odbiegają istotnie od uzyskanych dwiema metodami na kostkach.

Tablica I. Zestawienie średnich wartości wytrzymałości uzyskanych z badań towarzyszących i na belkach  
Table I. >>>

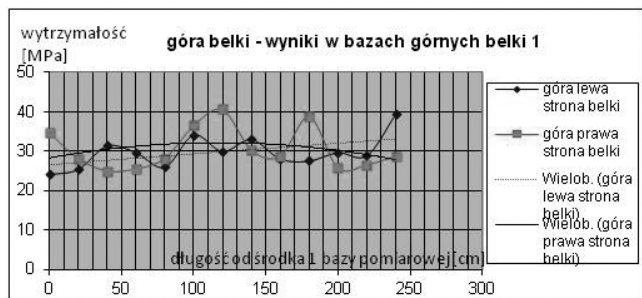
Numer belki	Wytrzymałość średnia badania belki, MPa (sklerometr)	Wytrzymałość średnia badania kostek, MPa (sklerometr)	Wytrzymałość średnia badania kostek, MPa (prasa)
1	31,43	29,34	31,26
2	32,20	30,06	27,92
3	27,30	25,49	24,17

Rozkład wytrzymałości betonu w belce 1 przedstawiono na rysunku 3, oddzielnie po jej stronie lewej i prawej. Markery oznaczają wartości wytrzymałości w miejscu pomiaru i odpowiadają środkom baz 1÷13. Linie grube (przerwana i ciągła) oznaczają odpowiednio aproksymacje wyników wielomianem drugiego stopnia, po obydwóch stronach belki oddzielnie. Wartości wytrzymałości w i-tych bazach na lewej i prawej poboczniczy belki są porównywalne, a przebieg zmian na kolejnych bazach, wzdłuż belki, także wzajemnie zgodny. Natomiast rozkład wytrzymałości betonu na długości belki 1 w pobliżu włókien górnych przedstawiono na rysunku 4.



**Rys. 3.** Wartości wytrzymałości uzyskane na belce metodą sklerometryczną – belka 1, bazy dolne

**Fig. 3.** Values of the strength gotten on the beam using sclerometer test – beam 1, bottom bases

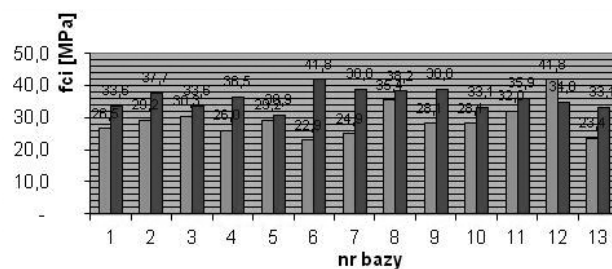


**Rys. 4.** Wartości wytrzymałości uzyskane na belce metodą sklerometryczną – belka 1, bazy górne

**Fig. 4.** Values of the strength gotten on the beam using sclerometer test – beam 1, bottom bases

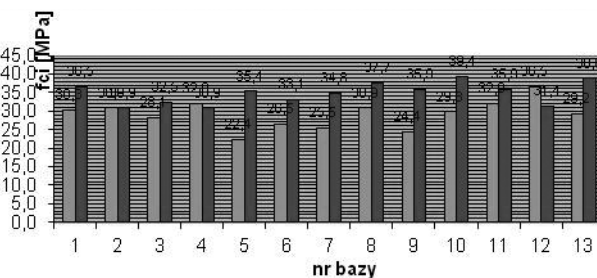
Wzajemna zgodność wartości uzyskanych na stronie lewej i prawej jest mniejsza niż w przypadku włókien dolnych. Wartości bezwzględne wyników uzyskanych na belce 1 zawierają się w przedziale od ok. 24 MPa do 46 MPa. Wartość średnia wytrzymałości betonu w belce 1 wynosi 31,43 MPa.

Wyniki badań i analiz uzyskane na belkach 2 i 3 pokazano na rysunkach od 5÷8. Zmieniono konwencję wykresów, aby tym razem, pokazać rozrzut wartości na każdej stronie poboczniczy tych belek (górze – dół belki). Słupki lewe (w parach) odpowiadają wytrzymałości na górze, a prawe, odpowiednio, na dole każdego boku kolejnej belki. Przedział wartości otrzymanych wyników dla belki 2 wynosi od ok. 22,0 do 41,8 MPa, natomiast wartość średnia 32,20 MPa.



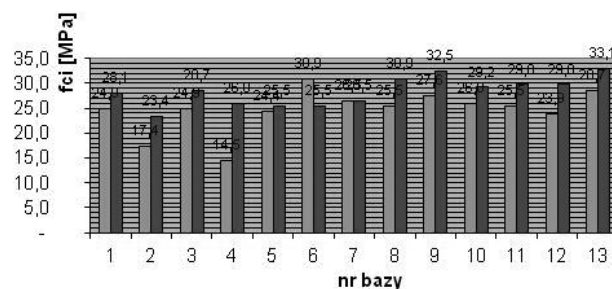
**Rys. 5.** Wartości wytrzymałości uzyskane metodą sklerometryczną – belka 2, strona lewa – bazy górne i dolne

**Fig. 5.** Values of the strength gotten using sclerometer test – beam 2, left side – upper and bottom bases



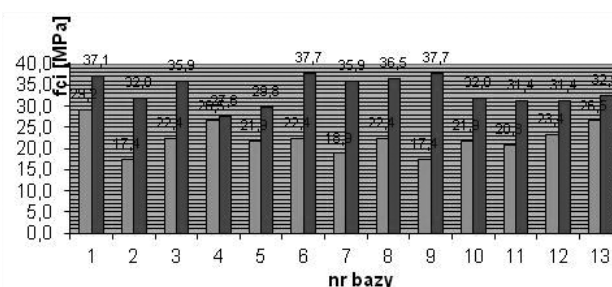
**Rys. 6.** Wartości wytrzymałości uzyskane metodą sklerometryczną – belka 2, strona prawa – bazy górne i dolne

**Fig. 6.** Values of the strength gotten using sclerometer test – beam 2, right side – upper and bottom bases



**Rys. 7.** Wartości wytrzymałości uzyskane metodą sklerometryczną – belka 3 strona lewa – bazy górne i dolne

**Fig. 7.** Values of the strength gotten using sclerometer test - beam 3 left side - upper and bottom bases

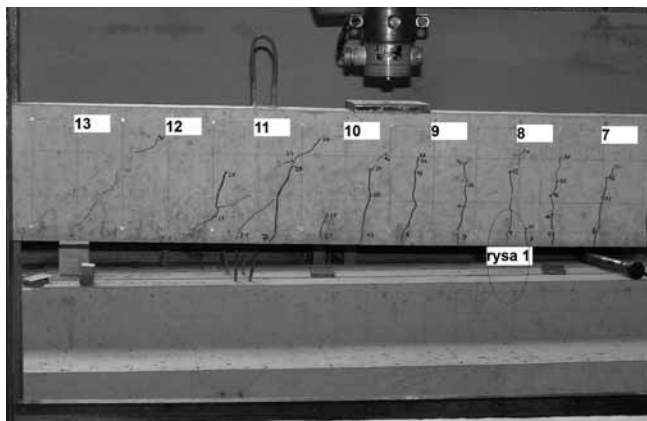


**Rys. 8.** Wartości wytrzymałości uzyskane metodą sklerometryczną – belka 3, strona prawa – bazy górne i dolne

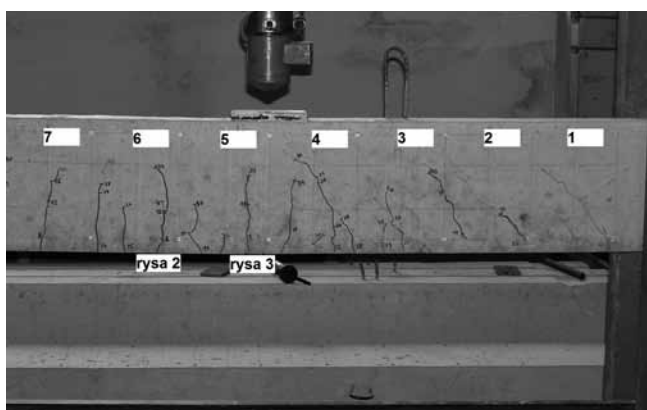
**Fig. 8.** Values of the strength gotten using sclerometer test – beam 3, right side – upper and bottom bases

Stwierdzone, relatywnie znaczne różnice wartości wytrzymałości betonu belek w odległościach rzędu kilkudziesięciu centymetrów potwierdzają zasadność przedstawianego postępowania badawczego oraz ewentualną przydatność wyników i wniosków z nich płynących w praktyce.

Układ rys na poziomie obciążenia zbliżonym do niszczonego uzyskany na belce 1 po prawej stronie poboczniczy odpowiednio w rejonie baz pomiarowych o numerach od 1÷7 oraz 7÷13 pokazano na rysunkach 9 i 10. Numer każdej rysy widoczny jest przy dolnej krawędzi belki, natomiast bazy ponumerowano na tej stronie belki od prawej do lewej.



**Rys. 9.** Belka 1 – morfologia rys – prawa strona belki, bazy 1÷7  
**Fig. 9.** Beam 1 – morphology of cracs – the right side of the beam, bases 1÷7



**Rys. 10.** Belka 1 – morfologia rys – prawa strona belki, bazy 7÷13  
**Fig. 10.** Beam 1 – morphology of cracs – the right side of the beam, bases 7÷13

W celu oceny zarówno samych wartości bezwzględnych wytrzymałości uzyskanych dwiema metodami, jak i miarodajności ich rozkładu w objętości elementów podjęto próbę porównawczej weryfikacji tych wyników z wynikami badań rozwoju zarysowania. Porównując wartości wytrzymałości uzyskanych w strefie dolnej (rys. 3) z kolejnością powstawania rys (rys. 10) stwierdzono, że pierwsza rysa powstała w miejscu, gdzie oceniono najniższą wartość wytrzymałości na ściskanie, tj. 28,67 MPa (baza 8). Kolejna rysa powstała w bazie 6 (rys. 9) przy wytrzymałości 29,75 MPa. Trzecia rysa powstała w bazie 5, gdzie stwierdzono wytrzymałość równą 28,13 MPa. W ten sam sposób porównano dalszy rozwój rys z wartościami określonej wytrzymałości betonu tej belki. Analogiczne postępo-

wanie przeprowadzono dla belek 2 i 3. W większości przypadków kolejność powstawania rys jest zgodna z rozkładem wytrzymałości betonu uzyskanych z badań oraz wyężeniem przekroju (przekroje poza strefą stałego momentu).

Podjęto także próbę pośredniego wyznaczenia wytrzymałości na ściskanie w przekrojach, gdzie zarejestrowano kolejno powstające rysy. Znając miejsce powstania i-tej rysy i obciążenie, przy którym ona powstała można, na podstawie związków (1) [8] i (2), określić naprężenie rysujące  $\sigma_{ct}$  (wytrzymałość na rozciąganie) przy zginaniu, a następnie określić na tej podstawie wytrzymałość betonu na ściskanie.

$$f_{ctm} = 0,30f_{ck}^{2/3} \quad (1)$$

gdzie:  $f_{ctm}$  – średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie,  $f_{ck}$  – wytrzymałość betonu na ściskanie;

$$\sigma_{ct} = M_{cr} / W_c \quad (2)$$

gdzie:  $M_{cr}$  – moment rysujący,  $W_c$  – wskaźnik wytrzymałości przekroju,  $\sigma_{ct}$  – naprężenie rozciągające.

Wartość momentu rysującego posłużyła do określenia spodziewanej wartości naprężenia rysującego w przekroju, gdzie stwierdzono rysę (wytrzymałości betonu na rozciąganie w tym miejscu). Korygując odpowiednio wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu  $f_{ct,fl}$ , na podstawie zależności z [8] (przyjęto  $f_{ct,fl} = (1,6 - h/1000)f_{ct}$ ,  $h$  – wysokość przekroju belki), do wartości wytrzymałości przy osiowym rozciąganiu  $f_{ct}$  oraz wykorzystując zależność (1) z [8], wyznaczono wartość wytrzymałości na ściskanie według wzoru (3). gdzie:  $f_c$  – wytrzymałość betonu na ściskanie,  $\sigma_{ct}$  – naprężenie rysujące określone z badań

$$f_c = \sqrt{\left[\frac{\sigma_{ct}}{1,3 \cdot 0,3}\right]^3} \quad (3)$$

Przeprowadzono obliczenia dla belki 1 i miejsca powstania pierwszej rysy na prawej stronie belki (baza 8 na rys. 10). Pozwoliło to na oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie w tym miejscu. Obliczona wartość wyniosła 28,21 MPa (dla obciążenia, po którym stwierdzono powstanie rysy). Pomiar metodą sklerometryczną wykazał natomiast wartość wytrzymałości wyznaczoną w rejonie środka bazy 8, na dole, o wartości 28,67 MPa (rys. 3). Odpowiednio kolejne rysy na prawej poboczniczy tej belki stwierdzono w bazie 6 (29,75 MPa) oraz 5 (28,13 MPa). W podobny sposób przeanalizowano kolejność powstawania rys w przypadku strony lewej tej belki oraz belek 2 i 3. Uzyskano podobną zgodność z wynikami pomiarów sklerometrycznych. Analiza uzyskanych rozkładów wytrzymałości betonu (rys. 3÷8) pozwala zatem przewidywać rozwój zarysowania. Informacja taka jest także często bardzo przydatna podczas oceny aktualnego stanu konstrukcji żelbetowej.

## Wnioski

Przeprowadzone badania oraz analiza otrzymanych wyników prowadzą do następujących wniosków:

– Wyznaczenie rozkładu wytrzymałości betonu w elementach za pomocą badań sklerometrycznych daje miarodajne wyniki.

– Zastosowanie metody nieniszczącej pozwala na miarodajną ocenę wytrzymałości betonu w miejscach, gdzie nie jest możliwe pobranie próbek.

– Stwierdzono zgodność rozwoju procesu zarysowania oraz ustalonego rozkładu wytrzymałości betonu, co może w praktyce umożliwić prognozowanie rozwoju zarysowania w elemencie.

## Literatura

- [1] Runkiewicz L.: Stosowanie metod nieniszczących do oceny bezpieczeństwa, trwałości i niezawodności konstrukcji budowlanych. Wyd. [www.badania-nieniszczace.info/Badania...runkiewicz\\_03\\_05\\_r03](http://www.badania-nieniszczace.info/Badania...runkiewicz_03_05_r03).
- [2] Runkiewicz L.: Wpływ wybranych czynników na wyniki badań sklerometrycznych betonu. Wyd. ITB, Warszawa, 1994.
- [3] Runkiewicz L.: Wpływ statystycznej analizy wyników badań nieniszczących na ocenę betonu w konstrukcji. Prace ITB, nr 1/81.
- [4] Runkiewicz L.: Badania konstrukcji „in situ” w rzeczoznawstwie budowlanym. Materiały Konferencyjne „Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego”. Wyd. Pol. Świętokrzyska, Kielce, 1996.
- [5] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N.
- [6] Metoda sklerometryczna do badań wytrzymałości betonu w konstrukcji. Instrukcja ITB nr 210.
- [7] PN-EN 12504-2:2002 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.
- [8] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.

## Zachodniopomorska Sekcja Spawalnicza SIMP Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej – SIMP O/Szczecin Urząd Dozoru Technicznego Biuro Techniki Spawalniczej „BM”

*zapraszają do udziału w:*

### XXI NAUKOWO-TECHNICZNEJ KRAJOWEJ KONFERENCJI SPAWALNICZEJ

Międzyzdroje 26 - 28.05.2015 (Hotel Wolin w Międzyzdrojach)

*na temat:*

### „Postęp, innowacje i wymagania jakościowe procesów spajania”

sesje referatowe, wystawa techniczna, imprezy towarzyszące – 26. i 27. maja  
wycieczka techniczna – 28. maja

- zakwaterowanie uczestników wg życzenia, w pokojach jedno- i dwuosobowych
- wybrane referaty naukowe będą publikowane w punktowanym czasopiśmie naukowo-technicznym
- firmy handlowe zapraszamy do uczestnictwa w wystawie technicznej i zamieszczenia, reklam i artykułów promocyjnych

Dalsze informacje (i druki) będą podawane na stronie: [www.saperski.com.pl](http://www.saperski.com.pl) - od jesieni br.  
Dodatkowe informacje:

\* Bogusław Olech (badania nieniszczące) tel.: 601-795-718; e-mail: [boguslawolech@wp.pl](mailto:boguslawolech@wp.pl)

\* Marek Saperski (spawalnictwo, uzgodnienia formalne i organizacyjne) tel.: 601-669-521; e-mail: [biuro@saperski.com.pl](mailto:biuro@saperski.com.pl)

Korespondencję prosimy kierować do Biura Konferencji:

- elektronicznie: [biuro@saperski.com.pl](mailto:biuro@saperski.com.pl)
- faxem: 91 487 88 19 (24h)
- listy: Przedsiębiorstwo „BM” ul. Łukasiewicza 1A, 71-317 Szczecin

Komitet Organizacyjny