



# CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH WRAZ ZE SFORMUŁOWANIEM WYMAGAŃ DO MONITORINGU

Prof. dr hab. inż. Henryk Zobel

Dr inż. Thakaa Alkhafaji

Mgr inż. Wojciech Karwowski

Mgr inż. Przemysław Mossakowski

Mgr inż. Marcin Wróbel



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



# Pomiary i monitoring uszkodzeń mostów betonowych

| Lp. | Uszkodzenie                 | Zakres pomiaru i ewentualnie metoda pomiaru |
|-----|-----------------------------|---|
| 1.  | Ubytki warstwy otuliny      | Grubość od 0 do 7 cm                        |
| 2.  | Korozja zbrojenia miękkiego | Grubość w zależności od średnicy pręta      |
| 3.  | Korozja kabli sprężających  | Do ustalenia                                |
| 4.  | Zobojętnienie betonu        | Metody chemiczne                            |
| 5.  | Zachlorkowanie betonu       | Metody chemiczne                            |
| 6.  | Rysy                        | Rozwartość od 0,1 do 1 mm                   |
| 7.  | Zacieki                     | Obserwacja za pomocą kamery                 |
| 8.  | Wykwity                     | Obserwacja za pomocą kamery                 |
| 9.  | Wypłukiwanie cementu        | Obserwacja za pomocą kamery                 |
| 10. | Stalaktyty                  | Obserwacja za pomocą kamery                 |

# Pomiary i monitoring uszkodzeń mostów stalowych

| Lp. | Uszkodzenie                                    | Zakres pomiaru i ewentualnie metoda pomiaru |
|-----|--|---|
| 1.  | Korozja powierzchniowa                         | Grubość od 1 do 5 mm                        |
| 2.  | Korozja wżerowa                                | Grubość od 1 do 5 mm                        |
| 3.  | Korozja rozwarstwiająca                        | Grubość od 1 do 5 mm                        |
| 4.  | Korozja szczelinowa                            | Grubość od 1 do 5 mm                        |
| 5.  | Ubytki powłoki malarskiej                      | Grubość od 50 do 300                        |
| 6.  | Deformacje elementów (zmiana płaskiej postaci) | Od 1 mm do 100 mm                           |
| 7.  | Poluzowanie nitów i śrub                       | Do ustalenia                                |
| 8.  | Pęknięcia spoin                                | RTG, USG i inne                             |
| 9.  | Korozja lin podwieszenia                       | Do ustalenia                                |
| 10. | Nieszczelności bloków kotwiących               | Obserwacja za pomocą kamery                 |



# USZKODZENIA ŁOŻYSK I ELEMENTÓW WYPOSAŻENIA MOSTÓW

| Lp. | Element                | Uszkodzenie                              |                               |
|-----|------------------------|--|-------------------------------|
| 1.  | Łożyska                | Skorodowanie                             | Zablokowanie                  |
| 2.  | Urządzenia dylatacyjne | Ubytek wypełnienia masą bitumiczną       | Nieszczelność Zablokowanie    |
| 3.  | Nawierzchnia           | Koleiny                                  | Spękania i pęknięcia          |
|     |                        | Fałdowanie                               | Lokalne ubytki Brak spadków   |
| 4.  | Krawężniki             | Ubytki                                   | Wykruszenia                   |
| 5.  | Izolacja               | Nieszczelność                            |                               |
| 6.  | Odwodnienie            | Złe osadzenie wpustów                    | Korozja rur spustowych        |
| 7.  | Bariery ochronne       | Brak                                     | Deformacje                    |
| 8.  | Balustrady             | Deformacje                               | Ubytki powłok antykorozyjnych |
| 9.  | Oświetlenie            | Uszkodzenie połączeń z konstrukcją nośną |                               |



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO

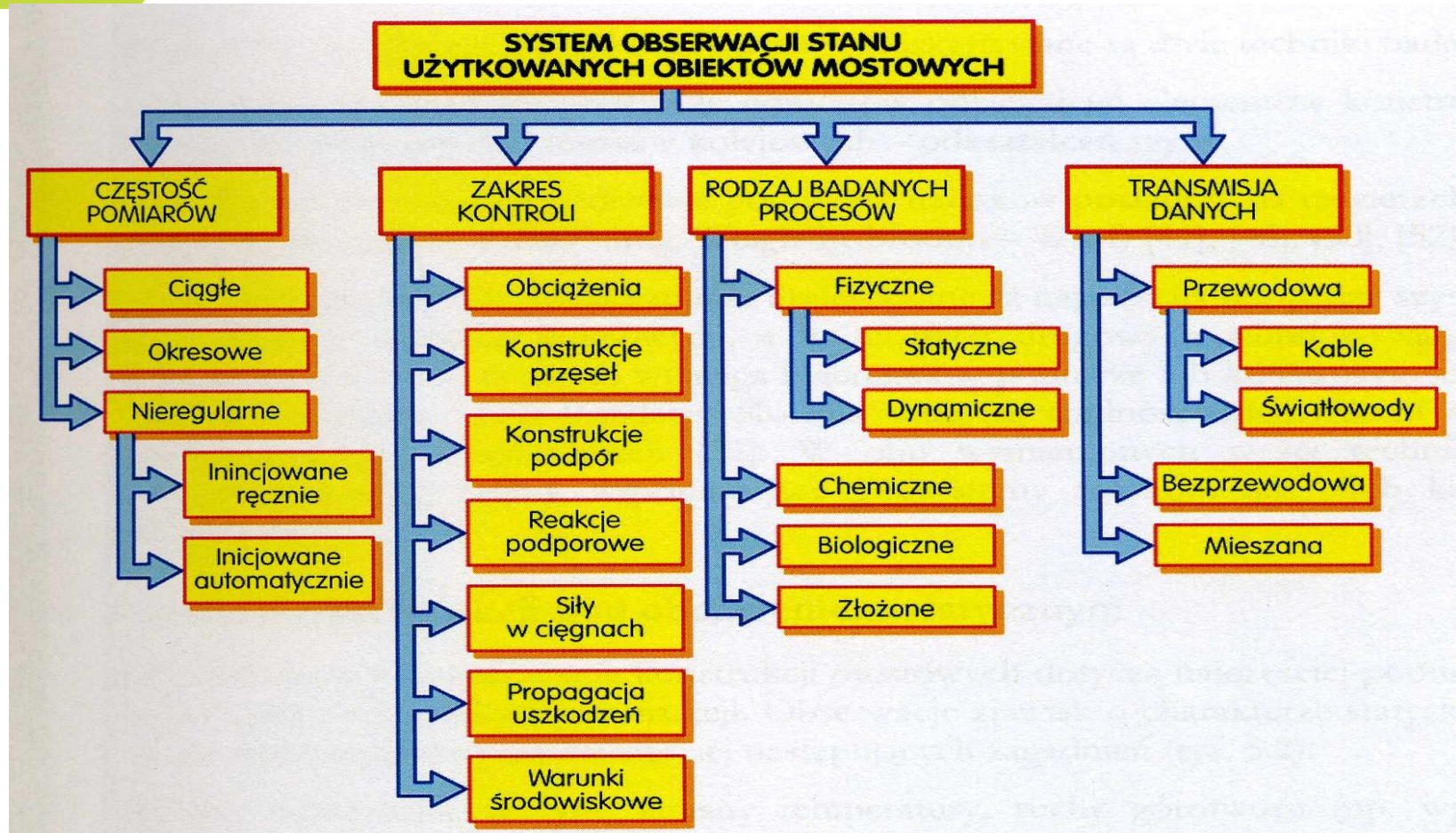


| Mierzona wielkość                 | Czujniki i techniki pomiarowe                | Rodzaj badań |            |                        |
|-----------------------------------|--|--------------|------------|------------------------|
|                                   |  | statyczne    | dynamiczne | systematyczna kontrola |
| Przemieszczenia liniowe           | techniki geodezyjne                          | ●            |            | ●                      |
|                                   | czujniki mechaniczne                         | ●            |            |                        |
|                                   | czujniki indukcyjne                          | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki strunowe                            | ●            |            | ○                      |
|                                   | bezkontaktowe czujniki pojemnościowe         | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki wiropładowe                         | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki światłowodowe                       | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | techniki laserowe                            | ●            | ●          | ○                      |
|                                   | techniki radarowe                            | ●            | ●          | ○                      |
| Przemieszczenia kątowe            | czujniki hydrauliczne                        | ●            |            | ○                      |
|                                   | czujniki żyroskopowe                         | ●            | ○          | ●                      |
|                                   | inklinometry                                 | ●            | ●          | ●                      |
| Odkształcenia                     | czujniki mikroelektromechaniczne (ang. MEMS) | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki elektrooporowe                      | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki światłowodowe                       | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki strunowe                            | ●            | ○          | ○                      |
| Prędkości drgań                   | czujniki mikroelektromechaniczne (ang. MEMS) | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki piezoelektryczne                    |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki pojemnościowe                       |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki bezwładnościowe                     |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki indukcyjne                          |              | ●          | ●                      |
|                                   | techniki radarowe                            |              | ●          | ○                      |
|                                   | techniki laserowe                            |              | ●          | ○                      |
|                                   | czujniki mikroelektromechaniczne             |              | ●          | ●                      |
| Przyspieszenia drgań              | czujniki piezoelektryczne                    |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki pojemnościowe                       |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki bezwładnościowe                     |              | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki indukcyjne                          |              | ●          | ●                      |
|                                   | techniki radarowe                            |              | ●          | ○                      |
|                                   | techniki laserowe                            |              | ●          | ○                      |
|                                   | czujniki mikroelektromechaniczne(ang. MEMS)  |              | ●          | ●                      |
| Rozwartość rys                    | czujniki mechaniczne (wibrografy)            |              | ●          | ○                      |
|                                   | pomiar bezpośredni                           | ●            |            | ○                      |
|                                   | czujniki mechaniczne                         | ●            |            | ○                      |
|                                   | czujniki indukcyjne                          | ●            | ●          | ●                      |
| Siły wciągach i reakcje podporowe | czujniki światłowodowe                       | ●            | ●          | ●                      |
|                                   | czujniki elektrooporowe                      | ●            | ○          | ●                      |
| Procesy degradacji                | czujniki piezoelektryczne                    | ●            | ○          | ●                      |
|                                   | czujniki emisji akustycznej                  | ●            | ○          | ○                      |
|                                   | czujniki poziomu chlorków w betonie          | ○            |            | ●                      |
|                                   | czujniki poziomu pH                          | ○            |            | ●                      |
| Obciążenia użytkowe               | czujniki zagrożenia korozją                  | ○            |            | ●                      |
|                                   | czujniki nacisków kół                        |              | ○          | ●                      |
| Temperatura                       | kamery telewizyjne                           |              | ○          | ●                      |
|                                   | termopary                                    | ●            | ○          | ○                      |
|                                   | czujniki światłowodowe                       | ●            | ○          | ○                      |
|                                   | termometry opornościowe                      | ●            | ○          | ○                      |
| Wilgotność                        | czujniki mikroelektromechaniczne (ang. MEMS) | ●            | ○          | ●                      |
|                                   | higrometry                                   | ○            | ○          | ○                      |
| Siła i kierunek wiatru            | czujniki mikroelektromechaniczne (ang. MEMS) | ○            | ○          | ●                      |
|                                   | wiatromierze                                 | ○            | ●          | ●                      |
| Poziom wody w rzece               | czujniki poziomu wody                        | ○            | ○          | ●                      |
|                                   | czujniki prędkości przepływu wody            | ○            | ○          | ●                      |



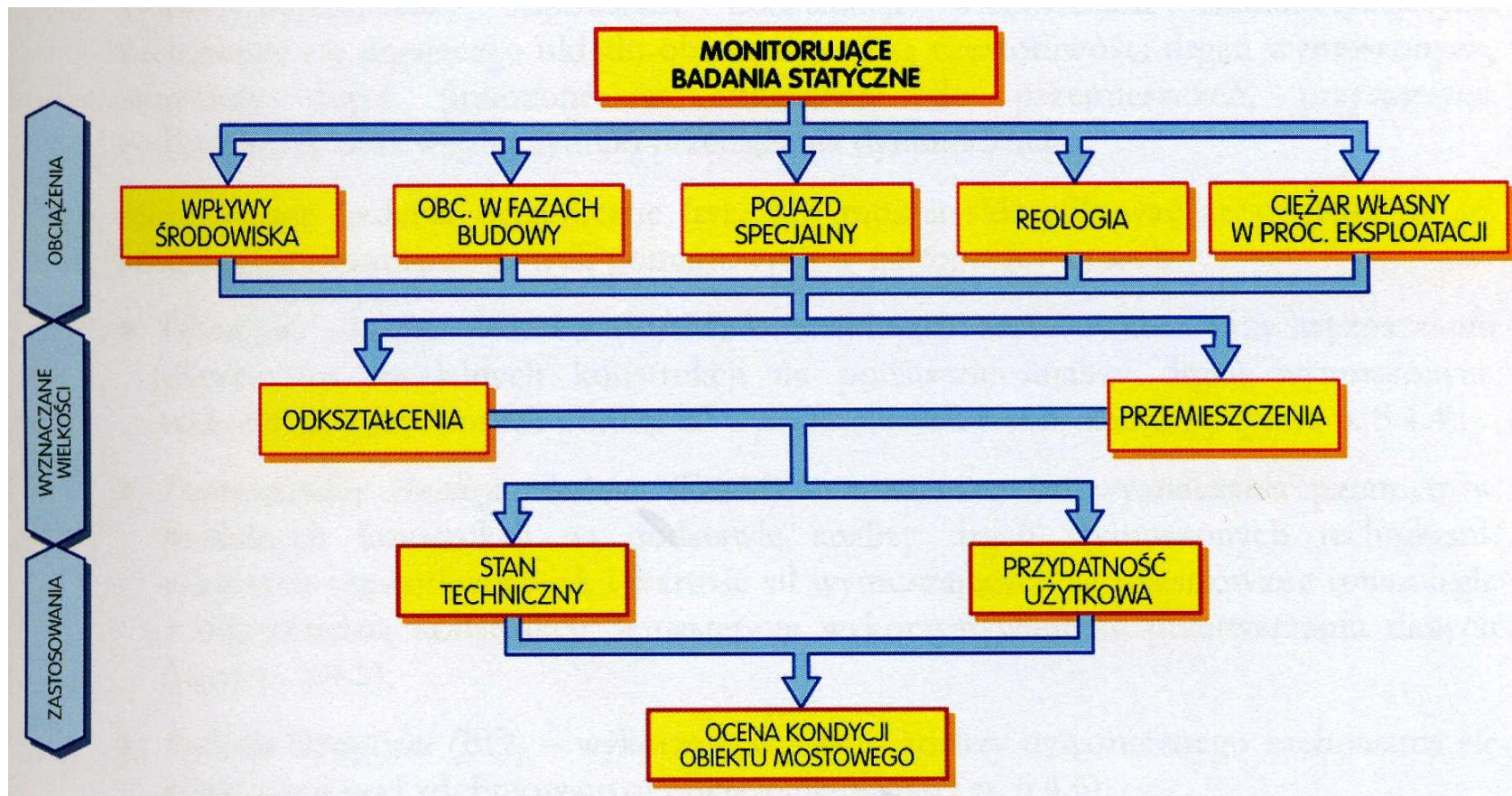
| Lp. | Kryterium klasyfikacji            | Rodzaj mostów              |  |
|-----|-----------------------------------|----------------------------|--|
|     |                                   | Klasyfikacja I-ego stopnia | Klasyfikacja II-ego stopnia            |
| 1.  | Funkcje użytkowe obiektu          | - Mosty drogowe            |  |
|     |                                   | - Mosty kolejowe           |  |
|     |                                   | - Mosty tramwajowe         |  |
|     |                                   | - Mosty dla pieszych       |  |
|     |                                   | - Mosty specjalne          |  |
|     |                                   | - Różne inne mosty         |  |
| 2.  | Materiał konstrukcyjny<br>przęsła | Kamienne                   |  |
|     |                                   | Drewniane                  |  |
|     |                                   | Betonowe                   | Beton niezbrojony                      |
|     |                                   |                            | Żelbet                                 |
|     |                                   |                            | Beton sprężony                         |
|     |                                   | Metalowe                   | Żeliwne                                |
|     |                                   |                            | Stalowe                                |
|     |                                   |                            | Ze stopów aluminium                    |
|     |                                   | Mieszane                   | Stalowo-betonowe                       |
|     |                                   | Kompozytowe                |  |
| 3.  | Liczba przęseł                    | Mosty jednoprzęsłowe       |  |
|     |                                   | Mosty wieloprzęsłowe       |  |
| 4.  | Schemat statyczny<br>konstrukcji  | Mosty belkowe              | O przęsłach wolopodpartych             |
|     |                                   |                            | O przęsłach wspornikowych              |
|     |                                   |                            | O przęsłach ciągłych i przegubowych    |
|     |                                   |                            | O przęsłach ciągłych i bezprzegubowych |

|    |                                     | Mosty płytowe   | Jak belkowe   |
|----|-------------------------------------|---|---|
|    |                                     | Mosty kratownicowe  | Jak belkowe   |
|    |                                     | Mosty ramownicowe   | Jak belkowe   |
|    |                                     | Mosty łukowe  | O pomostach podwieszonych do łuku                                 |
|    |                                     |   | O pomostach częściowo opartych na łuku, a częściowo podwieszonych |
|    |                                     | Mosty podwieszone   |   |
|    |                                     | Mosty wiszące   |   |
| 5. | Usytuowanie pomostu                 | Jazda górą  |   |
|    | względem dźwigarów                  | Jazda dołem   |   |
|    | głównych                            | Jazda pośrednia   |   |
|    |                                     | Mosty wielopoziomowe  |   |
| 6. | Liczba dźwigarów                    | Mosty jednodźwigarowe   |   |
|    | głównych                            | Mosty dwudźwigarowe   |   |
|    |                                     | Mosty wielodźwigarowe   |   |
| 7. | Sposób oparcia przęseł na podporach | Przęsła podparte poprzez łożyska lub przeguby   |   |
|    |                                     | Przęsła połączone z podporami bezprzegubowo   |   |
|    |                                     | Przęsła częściowo podpartych przez łożyska, a częściowo połączone z podporami bezprzegubowo |   |



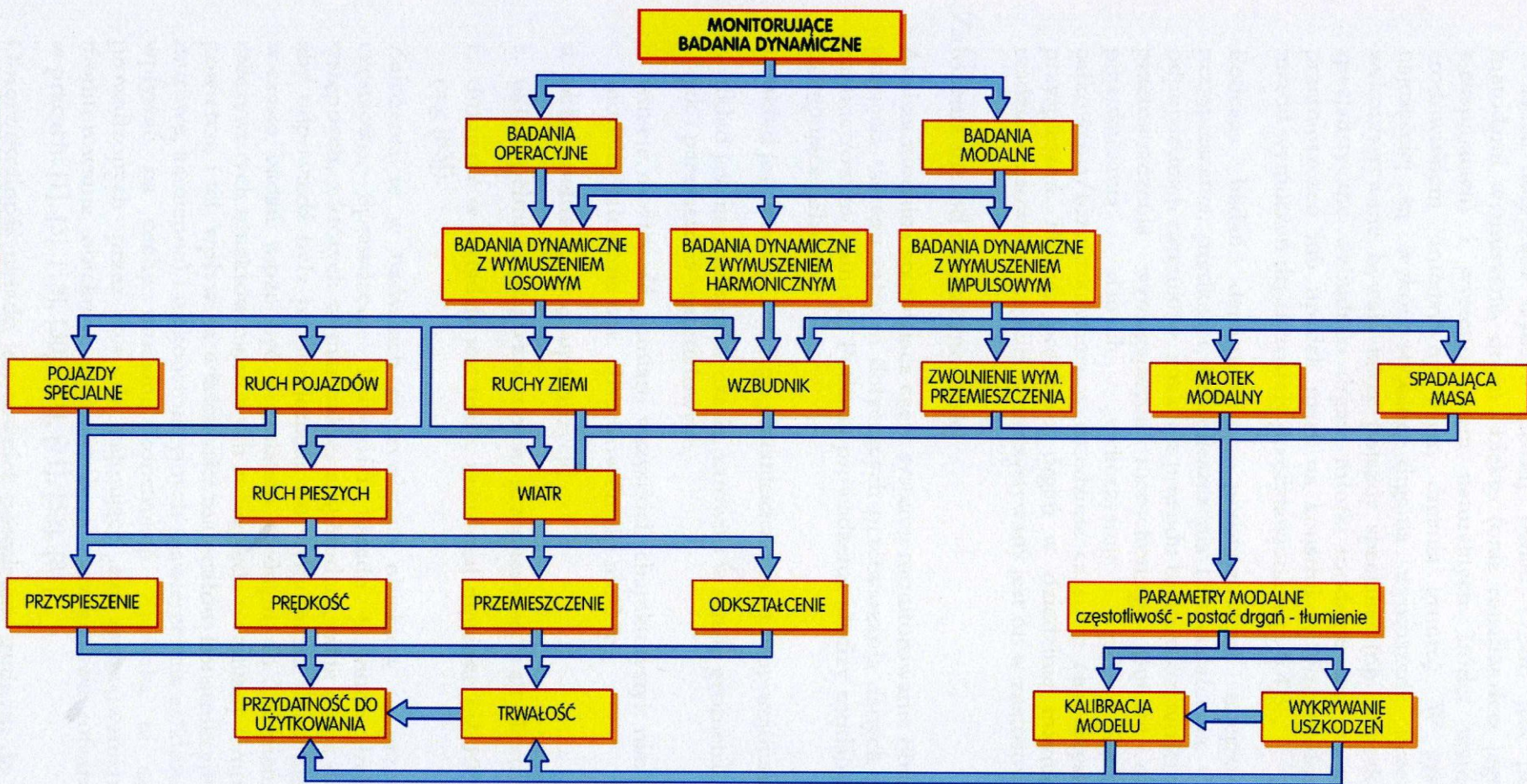


# MONITORUJĄCE BADANIA STATYCZNE – OBCIĄŻENIA, WYZNACZANE WIELKOŚCI I ZAKRES ZASTOSOWAŃ WYNIKÓW





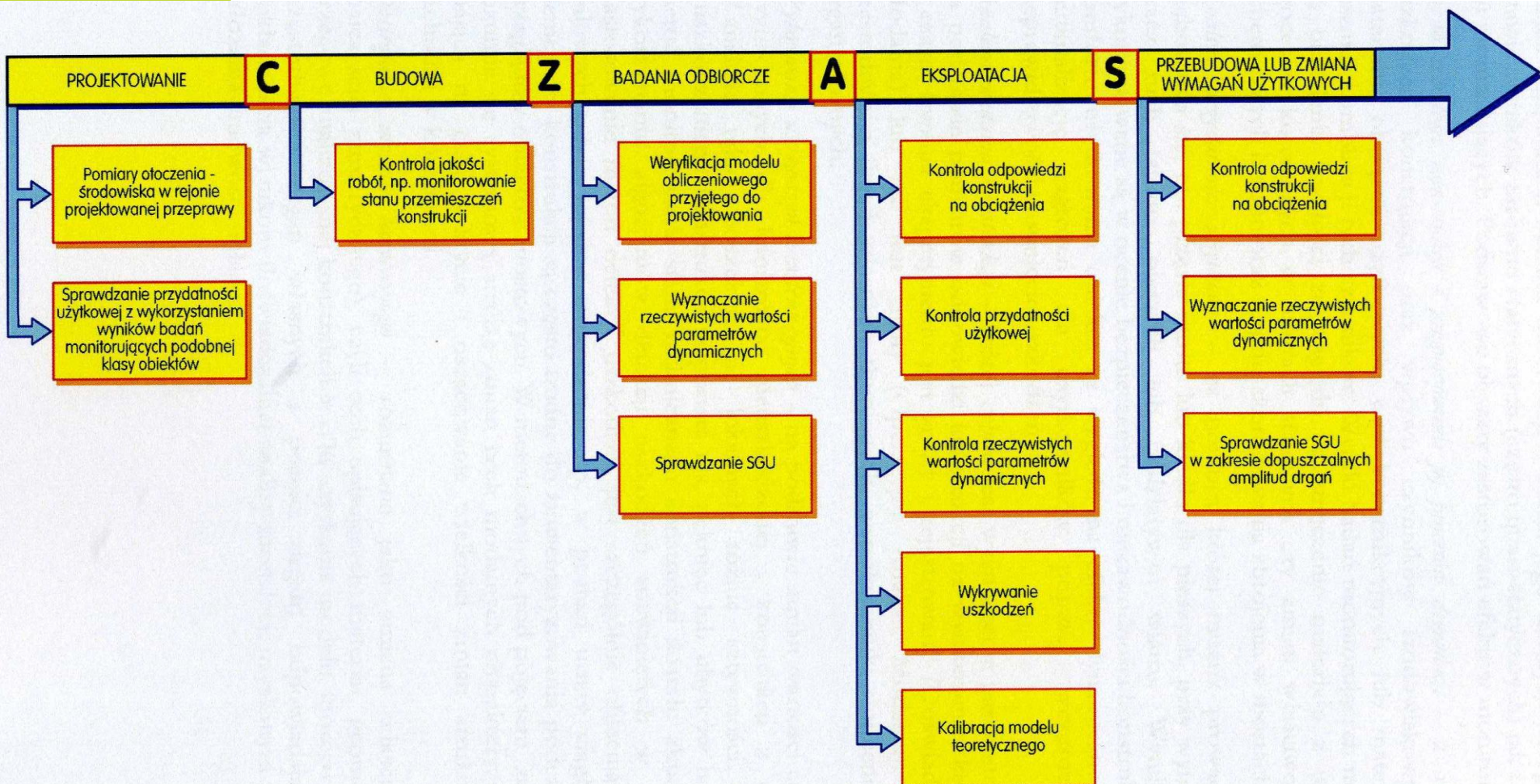
RODZAJE BADAŃ  
 RODZAJE BADAŃ  
 WYZNACZANE WIELKOŚCI  
 ZASTOSOWANIA







# WYKORZYSTANIE BADAŃ MONITORUJĄCYCH W RÓŻNYCH ETAPACH BUDOWY I EKSPLOATACJI OBIEKTÓW MOSTOWYCH



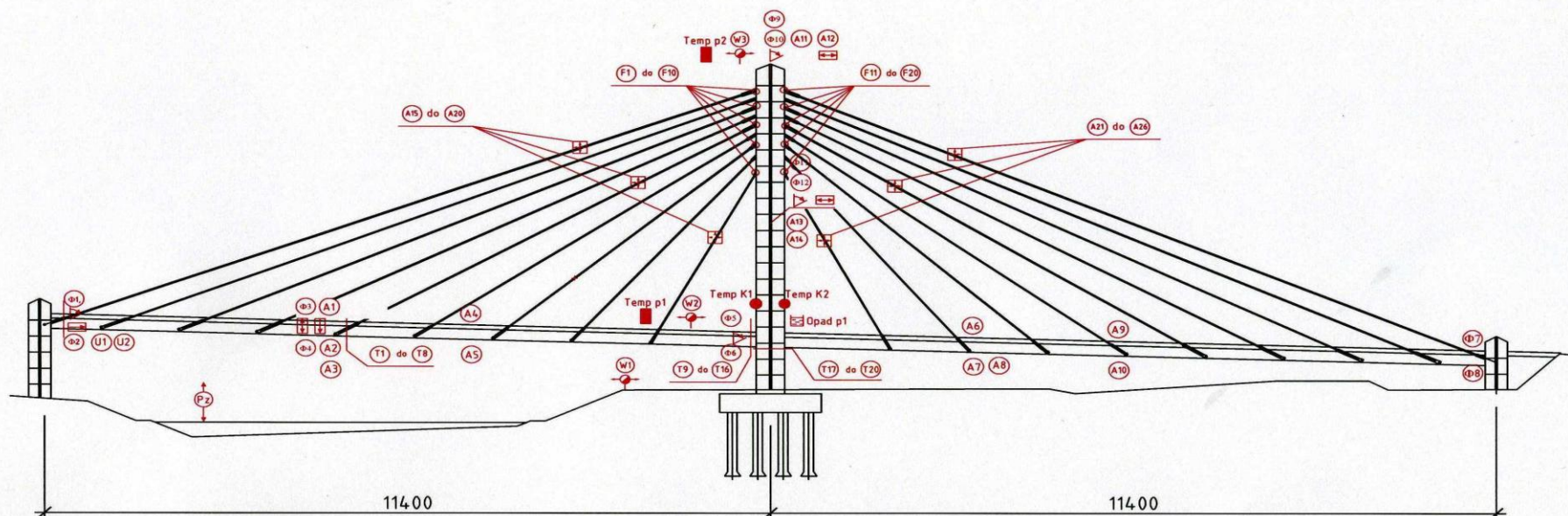
**INNOWACYJNA GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



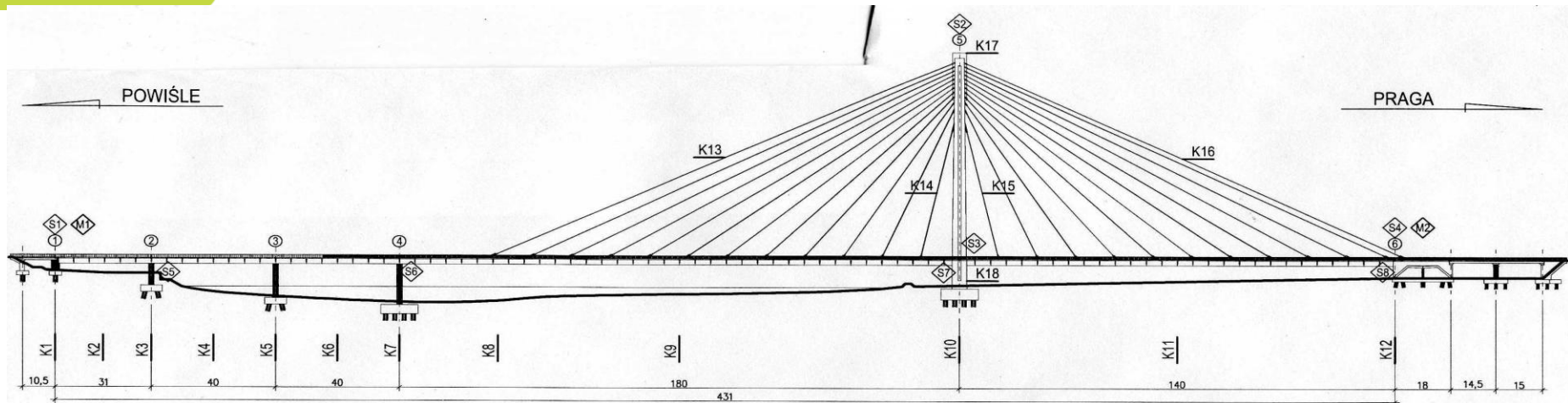




**Legenda:**

- ▲ (T1) - TENSOMETRYCZNE PUNKTY POMIAROWE
- ▷ (Φ1) - PUNKT POMIAROWY KĄTA OBROTU
- ⊞ (A1) - PUNKT POMIAROWY PRZYSPIESZEŃ
- ⊞ (A2) - PUNKT POMIAROWY PRZYSPIESZEŃ WANTY
- (F1) - PUNKT POMIAROWY SIŁY W WANTACH
- ⊞ (U1) - PUNKT POMIAROWY PRZEMIESZCZEŃ
- Temp K1 - PUNKT POMIAROWY TEMPERATURY KONSTRUKCJI
- Temp p1 - PUNKT POMIAROWY TEMPERATURY POWIETRZA
- ⊞ (W1) - WIATROMIERZ, PUNKT POMIAROWY PRĘDKOŚCI I KIERUNKU WIATRU
- ⊞ Opad p1 - PUNKT POMIAROWY OPADU ATMOSFERYCZNEGO
- ⊞ (P2) - PUNKT POMIAROWY ZWIERCIADŁA WODY





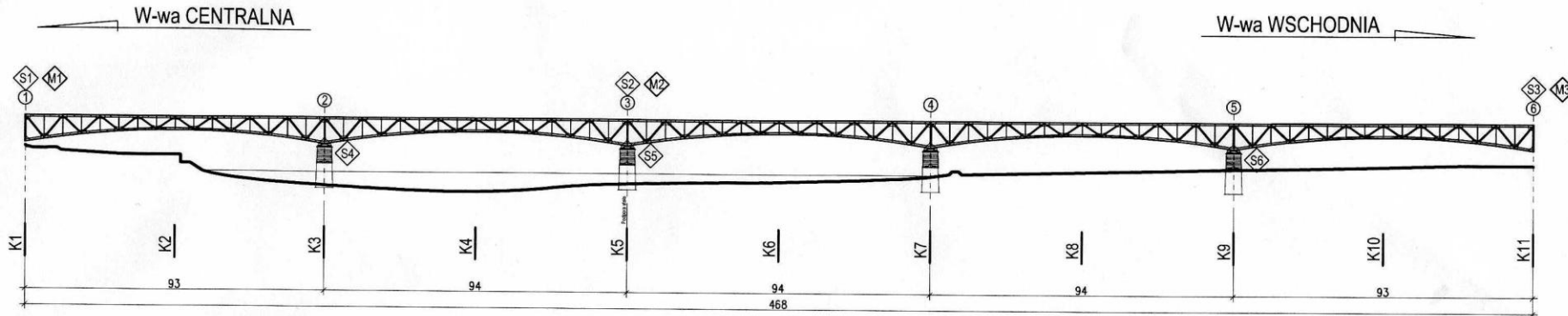
| Punkty monitoringu konstrukcji:                                     | USTRÓJ NOŚNY |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     | KABLE PODWIESZENIA |     |       |     |       |     | PYLON |     |  |  |
|---|--------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--|--|
|   | K1           | K2  | K3    | K4  | K5    | K6  | K7    | K8  | K9    | K10 | K11   | K12 | K13                | K14 | K15   | K16 | K17   | K18 |       |     |  |  |
| KP - czujnik do pomiaru przemieszczeń x, y, z                       | x            | 2*1 | x,y,z | 2*1 | x     | 2*1 | x,y,z | 2*1 | x     | 2*1 | x,y,z | 2*1 | x                  | 2*1 | x,y,z | 2*1 | x     | 2*1 | x,y,z | 2*1 |  |  |
| KK - czujnik do pomiaru przemieszczeń kątowych względem osi x, y, z | y,z          | 2*1 | x,y,z | 2*1 | y,z   | 2*1 | x,y,z | 2*1 | y,z   | 2*1 | x,y,z | 2*1 | y,z                | 2*1 | x,y,z | 2*1 | y,z   | 2*1 | x,y,z | 2*1 |  |  |
| KA - czujnik do pomiaru przyspieszeń x, y, z                        |              |     | x,z   | 2*1 |       |     | y,z   | 2*1 |       |     | y,z   | 2*1 |                    |     | y,z   | 2*1 |       |     | y,z   | 2*1 |  |  |
| KO - czujnik do pomiaru odkształceń (tensometry)                    |              |     | x,z   | 2*1 |       |     | 2*4+4 |     |       |     | 2*4+4 |     |                    |     | 2*4+4 |     |       |     | 2*4+4 |     |  |  |
| KN - czujnik do pomiaru zmian siły w kablach podwieszenia           |              |     |       |     |       |     | 2*4+4 |     |       |     | 2*4+4 |     |                    |     | 2*4+4 |     |       |     | 2*4+4 |     |  |  |
| KG - geodezyjny punkt pomiaru przemieszczeń x, y, z                 | x,y,z        | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z              | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   | x,y,z | 1   |  |  |
| KT - czujnik do pomiaru temperatury materiału konstrukcji           |              | 3   |       |     |       |     |       |     |       | 3   |       |     |                    |     |       | 3   |       |     |       | 3   |  |  |

| Czujniki monitorujące otoczenie - środowisko konstrukcji:                      | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ST - czujnik do pomiaru temperatury powietrza                                  | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SH - czujnik do pomiaru wilgotności względnej                                  | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SC - czujnik do pomiaru ciśnienia atmosferycznego                              | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SR - wskaźnik punktu rosy  | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SW - czujnik do pomiaru kierunku i siły wiatru                                 | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SP - czujnik do pomiaru promieniowania/słonecznienia                           | +  | +  | +  | +  |    | +  | +  |    |
| SD - czujnik określający opad atmosferyczny i jego ilość (deszcz, śnieg, grad) |    |    | +  |    |    |    |    |    |
| SF - punkt pomiarowy wysokości lustra wody (wodowskaz)                         |    |    |    |    | +  | +  | +  | +  |
| SV - czujnik do pomiaru szybkości przepływu wody, wielkości przepływu          |    |    |    |    | +  | +  | +  | +  |
| SD - punkt dozoru wizyjnego  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |

| Czujniki/punkty monitorujące obciążenia użytkowe mostu:                                  | M1 | M2 |
|--|----|----|
| M1 - czujnik identyfikujący pojazdy  | +  | +  |
| MP - czujnik liczący pojazdy, rowerzystów, pieszych                                      | +  | +  |
| MV - czujnik do pomiaru prędkości pojazdów, rowerzystów, pieszych                        | +  | +  |
| MO - czujnik określający obciążenie od osi pojazdu (masę pojazdu), rowerzystów, pieszych | +  | +  |



# Most Średnicowy w Warszawie. Schemat rozmieszczenia elementów systemu monitoringu



| Punkty monitoringu konstrukcji:                                     | K1, K2, ..., K11 |   |   |   |   |
|---|------------------|---|---|---|---|
|   | no               | x | y | z |   |
| KP - czujnik do pomiaru przemieszczeń x, y, z                       | 1                | 1 | 2 | 2 | 1 |
| KK - czujnik do pomiaru przemieszczeń kątowych względem osi x, y, z | 1                | 1 | 1 | 1 | 1 |
| KA - czujnik do pomiaru przyspieszeń x, y, z                        | 1                | 1 | 1 | 1 | 1 |
| KO - czujnik do pomiaru odkształceń (tensometry)                    | 1                | 1 | 1 | 1 | 1 |
| KG - geodezyjny punkt pomiaru przemieszczeń x, y, z                 | 1                | 1 | 1 | 1 | 1 |
| KT - czujniki do pomiaru temperatury materiału konstrukcji          | 1                | 1 | 1 | 1 | 1 |

Uwagi:  
 W tabeli zestawiono wymaganą liczbę czujników (punktów) pomiarowych dla jednego dźwigara.  
 W konstrukcji jest 8 dźwigarów.  
 PG – pas górny, PD – pas dolny, K – krzyżulec, S – słupki, Z – zwiotrowania

| Czujniki monitorujące otoczenie – środowisko konstrukcji:                      | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 |
|--|----|----|----|----|----|----|
| ST - czujnik do pomiaru temperatury powietrza                                  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SH - czujnik do pomiaru wilgotności względnej                                  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SC - czujnik do pomiaru ciśnienia atmosferycznego                              | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SR - wskaźnik punktu rosy  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SW - czujnik do pomiaru kierunku i siły wiatru                                 | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SP - czujnik do pomiaru promieniowania/ustłonecznienia                         | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| SO - czujnik określający opad atmosferyczny i jego ilość (deszcz, śnieg, grad) |    | +  |    |    |    |    |
| SF - punkt pomiarowy wysokości lustra wody (wodowskaz)                         |    |    |    | +  | +  | +  |
| SV - czujnik do pomiaru szybkości przepływu wody, wielkości przepływu          |    |    |    | +  | +  | +  |
| SD - punkt dozoru wizyjnego  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |

| Czujniki/punkty monitorujące obciążenia użytkowe mostu: | M1 | M2 | M3 |
|---|----|----|----|
| M1 - czujnik identyfikujący tabor kolejowy              | +  |    | +  |
| MP - czujnik liczący osie                               | +  |    | +  |
| MV - czujnik do pomiaru prędkości taboru                | +  |    | +  |
| MO - czujnik określający obciążenie od osi              | +  | +  | +  |
| MT - czujnik do pomiaru odkształceń toru (tensometry)   | +  | +  | +  |



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO

