

Mirosław NADER<sup>1</sup>  
Jarosław KORZEB<sup>1</sup>

### **KONCEPCJA SYSTEMU MONITORINGU DLA ETAPÓW BUDOWY I EKSPLOATACJI METRA**

*W pracy przedstawiono koncepcję projektu systemu monitoringu zarówno dla etapów budowy, etapu przejściowego oraz fazy eksploatacji metra płytkiego, na przykładzie projektowanej II linii metra warszawskiego. Przedstawiono koncepcję zawierającą zarówno dobór odpowiednich parametrów i wybranych wielkości fizycznych podlegających pomiarom, jak również koncepcję budowy systemu monitoringu z podziałem na działania w monitorowanych podsystemach.*

### **MONITORING SYSTEM CONCEPT FOR CONSTRUCTION AND OPERATION STAGES OF METRO**

*The paper presents the concept of monitoring system project for both phases of construction, the transitional stage and the phase of metro operation on the example of a projected II<sup>nd</sup> Warsaw's subway line. The concept includes both the selection of appropriate parameters and some physical quantities to be measured, as well as the concept of building a monitoring system in the division of operations in the monitored subsystems.*

#### **1. WSTĘP**

Budowa metra płytkiego, którego przykładem jest metro warszawskie, niesie z założenia szereg niedogodności i niebezpieczeństw. Wynikają one głównie z prowadzonych prac budowlanych, stwarzających nie tylko duże zmiany w sposobie organizacji ruchu powierzchniowego wpływające na komfort życia mieszkańców, ale również mogą one nieść realne zagrożenie wypadkami, a nawet katastrofami budowlanymi. Katastrofy niosą ze sobą przede wszystkim ofiary w postaci zabitych i rannych, ale ponadto generują szereg innych problemów takich jak zakłócenia komunikacyjne, wysokie dodatkowe koszty, jak również problemy odpowiedzialności prawnej. Wielu katastrof można byłoby uniknąć, gdyby z odpowiednio wczesnym wyprzedzeniem zadziałał system informujący o potencjalnie niebezpiecznych zmianach w statycznym i dynamicznym zachowaniu konkretnych parametrów charakteryzujących otoczenie inwestycji. Istnieje więc głęboko uzasadniona potrzeba monitorowania stanu wybranych oddziaływań

---

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: mna@it.pw.edu.pl, korzeb@it.pw.edu.pl,

dynamicznych oraz budowy odpowiedniego systemu archiwizującego, analizującego dane oraz ostrzegającego o przekroczeniu odpowiednio zdefiniowanych progów alarmowych. W tabeli 1. przedstawiono zestawienie wybranych katastrof, których źródłem było metro, z ostatnich kilkunastu lat.

*Tab. 1. Uzasadnienie potrzeby monitorowania obiektów metra [2].*

<b>Lp.</b>	<b>Rok</b>	<b>Miejsce katastrofy metra</b>
1	1994	Monachium, Niemcy
2	1994	Tunel Heathrow, Anglia
3	2003	Tunel Meteor Paryż, Francja
4	2004	Tunel Nicoll, Singapur
5	2004	Taiwan
6	2005	Linia 5 Barcelona, Hiszpania
7	2006	Tunel Lane Cove, Australia
8	2008	Belgrad, Serbia
9	2008	Hangzhou, Chiny
10	2010	Koln, Niemcy

Potrzeba monitoringu i błyskawicznej reakcji na zmiany parametrów dynamicznych, charakterystycznych dla etapów budowy oraz późniejszej eksploatacji metra, rodzi konieczność budowy jednolitego systemu monitoringu i wczesnego ostrzegania. Przed zaprojektowaniem takiego systemu należy poddać dyskusji:

- określenie stref oddziaływania,
- wyszczególnienie obiektów istniejących, które należy podać starannej obserwacji,
- parametry mierzone,
- liczbę oraz lokalizację punktów pomiarowych,
- budowę Centrum Monitoringu i Informacji,
- sposób akwizycji i przesyłu danych pomiarowych do Centrum Monitoringu,
- sposób analizy zarejestrowanych wyników,
- analizę i obsługę błędów,
- ustalenie progów wartości niebezpiecznych lub nietolerowanych zachowań zmian linii trendów dla każdego z parametrów,
- automatyczne procedury sygnalizacji i alarmowania przez system,
- obieg informacji i uprawnienia odczytu danych o zróżnicowanym stopniu szczegółowości.

Powyższe zagadnienia powinny zostać jednoznacznie ustalone w relacjach inwestor – projektant – wykonawca i wdrożone w postaci działającego Centrum Monitorowania.

## **2. CEL I ZAKRES MONITORINGU II LINII METRA**

Docelowy zakres monitoringu dla każdej inwestycji powinien być dobierany indywidualnie. W przypadku budowy II linii Metra Warszawskiego, ogólna koncepcja monitorowania powinna obejmować wyszczególnione niżej działy monitorowania w

trakcie wykonywania drążenia tuneli, prac odkrywkowych związanych z budową stacji oraz w fazie eksploatacji [5]:

- monitoring geodezyjny budynków zlokalizowanych w bezpośrednich strefach wpływu,
- monitoring drgań mechanicznych,
- monitoring hałasu (głównie na etapie budowy stacji oraz drążenia tuneli),
- monitoring terenu leżącego w strefie oddziaływania budowanych tuneli,
- monitoring sieci podziemnych,
- monitoring przemieszczeń Skarpy Wiślanej,
- monitoring zwierciadła wód gruntowych oraz poziomu rzeki Wisły,
- monitoring zieleni w zasięgu oddziaływania leja depresji,
- monitoring zanieczyszczeń powietrza,
- monitoring zanieczyszczeń środowiska urobkiem, (odpadami),
- monitoring naprężeń w obudowie tunelu i konstrukcji ścianek szczelinowych,
- monitoring istniejącego tunelu metra w trakcie przejścia tarczy TBM.

Wymienione wyżej elementy podlegające monitoringowi należy poddać krytycznej analizie, biorąc pod uwagę częstotliwość gromadzenia danych oraz określenie, które z monitorowanych dziedzin poddane powinny zostać monitoringowi zautomatyzowanemu, które zaś można monitorować „ręcznie” ze zmniejszoną częstotliwością.

Ponadto w gestii wykonawcy powinno leżeć uruchomienie Centrum Monitorowania i zarządzania Informacją. Dyskusji należy poddać wymienione niżej problemy:

- wybór lokalizacji Centrum Monitoringu i Informacji,
- opracowanie organizacji Centrum Monitoringu,
- opracowanie organizacji Centrum Informacyjnego,
- dobór odpowiednich czujników pomiarowych, układów kondycjonowania sygnału, układów przesyłu danych,
- opracowanie sposobu transmisji i rejestracji danych wejściowych do Centrum,
- przygotowanie sposobu kontroli, analizy i weryfikacji otrzymywanych wyników,
- opracowanie procedur komunikacji z odpowiednimi służbami w „STP Kabaty”,
- opracowanie procedur alarmowych.

Część z przedstawionych zagadnień poruszają istniejące w Metrze Warszawskim dokumenty takie jak: *Wielobranżowy Projekt Konceptyjny (WPK)* [7] i *Program Funkcjonalno Użytkowy (PFU)* [6].

## 2.1 Wymagania dla projektu wg WPK i PFU

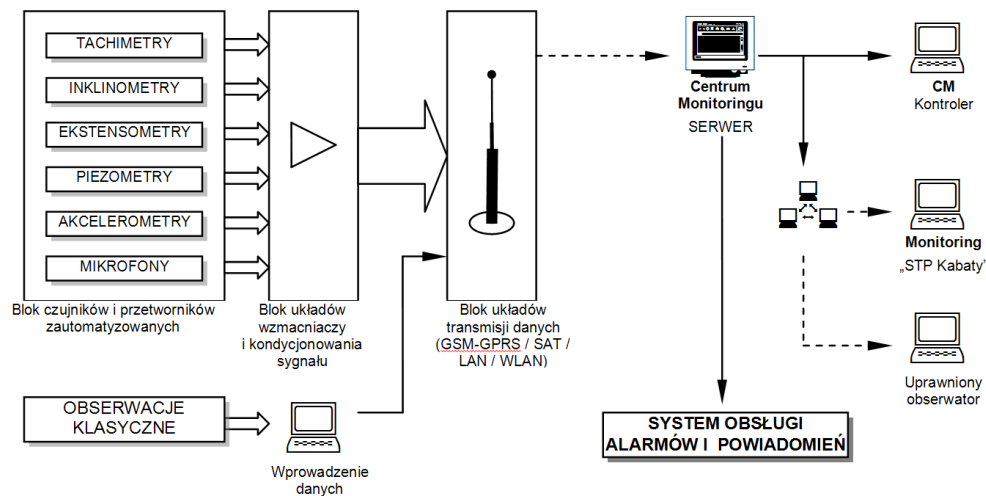
Według wymagań WPK - obiekty centralnego odcinka II Linii metra powinny zostać wykonane jako monolityczna konstrukcja żelbetowa, obudowana zewnętrznymi ścianami szczelinowymi stanowiącymi obudowę wykopów i jednocześnie konstrukcję zewnętrzną ścian [7]. Taki układ konstrukcyjny powinien być najlepszy dla istniejących w przebiegu II Linii metra warunków ścisłej zabudowy. Rozwiązanie takie zminimalizuje efekt deformacji terenu, nie ustrzeże natomiast przed występowaniem leja depresji oraz efektu oddziaływań dynamicznych. Budynki w strefach wpływu oddziaływań dynamicznych (pochodzących od prac ziemnych oraz przemarszu tarcz) należy wyposażyć w repery do prowadzenia

obserwacji geodezyjnych [7]. Monitorowane obiekty oraz metody zabezpieczające muszą gwarantować zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji, połączeń instalacyjnych oraz bezpiecznego przebywania ludzi, zgodnie z normami PN-81/B-03020 – Posadowienie bezpośrednie budowli, PN-85/B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki, PN-88/B-02171 – Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach. W strefach wpływu obiektów wykonywanych metodą odkrywkową mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu oraz zmiany w jakości powietrza atmosferycznego, niestety są to nieuniknione krótkotrwałe efekty budowy. Niezbędnym jest wykonanie pomiarów tła akustycznego oraz zanieczyszczeń powietrza przed rozpoczęciem prac budowlanych, aby można byłoby określić występowanie potencjalnie niekorzystnych zmian na etapie prowadzenia prac.

Niezbędnym wg PFU [6] jest również określenie szkodliwości wytwarzanych odpadów w postaci np. urobku, który nie powinien być składowany w obszarach chronionych na podstawie Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 o ochronie przyrody.

### 3. PROPONOWANE ROZWIĄZANIE MONITORINGU

Opracowany projekt System Monitoringu, uwzględniający pomiary geodezyjne deformacji obiektów oraz terenu w strefie oddziaływań, monitoring dynamicznie zmiennych wielkości drgań i hałasu oraz monitoring przyrodniczy, powinien uwzględniać obserwacje klasyczne i automatyczne [1,2,5]. Poniżej przedstawiono proponowaną strukturę działania systemu.



Rys.1. Schemat koncepcji powiązania elementów systemu monitorującego.

Na etapie wprowadzania danych z obserwacji klasycznych powinna zostać przeprowadzona kontrola poprawności otrzymanych wyników, przed wprowadzeniem ich do systemu.

Centrum monitoringu (CM) powinno:

- zapewnić kontrolę komunikacji z blokiem przetworników zautomatyzowanych,
- zapewnić kontrolę wpływających pakietów danych,
- zapewnić archiwizację odbieranych danych,
- prowadzić bieżącą analizę trendów zmian rejestrowanych danych,
- zabezpieczyć przed możliwością utraty danych,
- zapewnić dostęp do historii przechowywanych danych,
- umożliwić bieżącą obserwację osobom uprawnionym,
- obsługiwać rozbudowany i zautomatyzowany z wykorzystaniem technologii telefonii GSM (telefon/sms) oraz poczty e-mail, system obsługi powiadomień i alarmów.

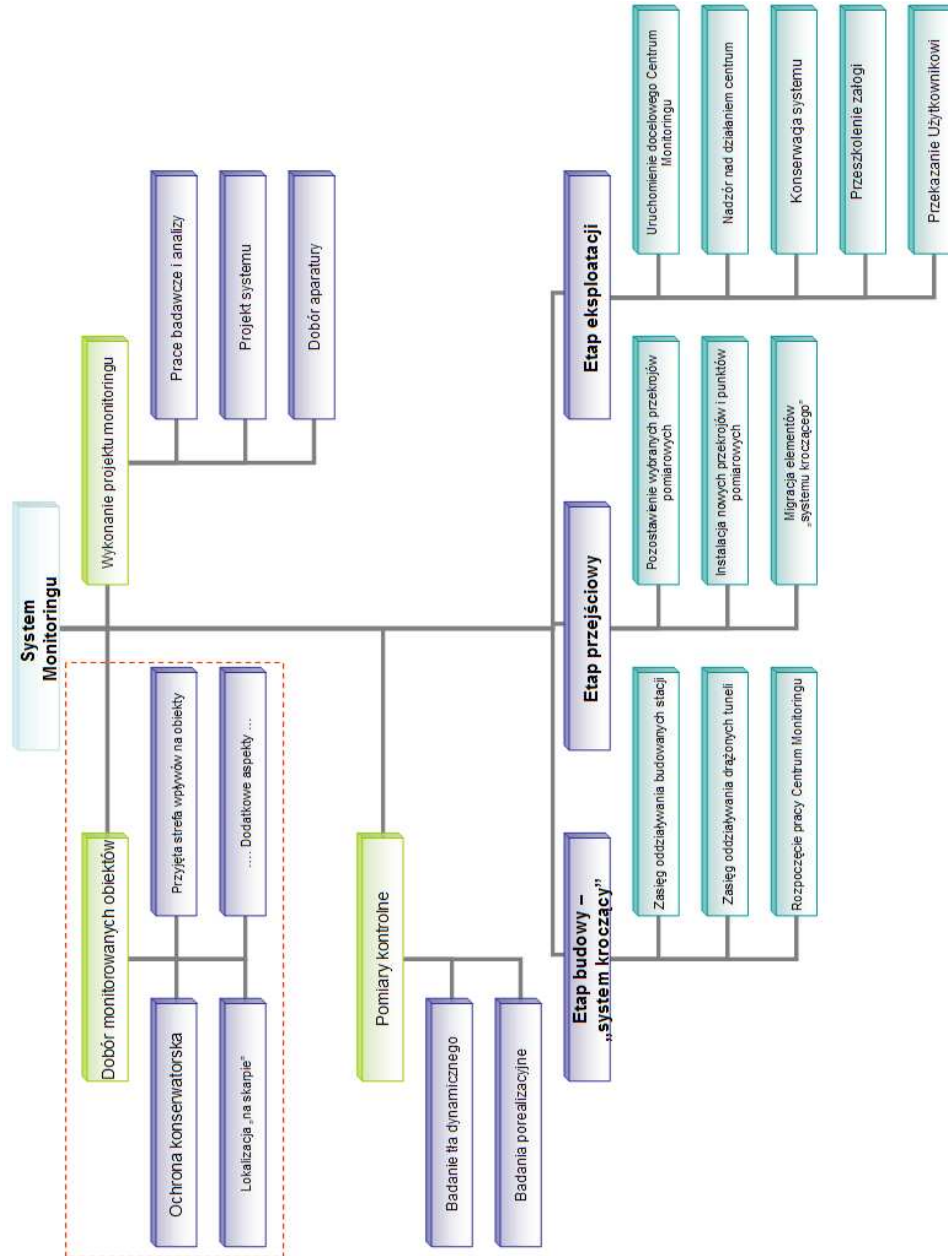
#### 4. ORGANIZACJA SYSTEMU MONITORINGU

Ogólna koncepcja budowy Systemu Monitoringu opiera się na doborze obiektów podlegających monitoringowi, wykonaniu pomiarów przed realizacyjnymi oraz wykonaniu projektu systemu monitorującego z podziałem na fazy: budowy, etap przejściowy i docelowy etap eksploatacji centralnego odcinka II Linii metra warszawskiego.

Dobór obiektów powinien być oparty na ich lokalizacji z uwzględnieniem sąsiedztwa budowanej linii metra, czyli występowania w strefie jej dynamicznego oddziaływania oraz statycznego osiadania terenu i wpływu leja depresji [3,4,7]. Dodatkowo poddać należy uwagę obiekty objęte ochroną konserwatorską. Centrum monitoringu (CM) powinno działać już od początku prowadzenia prac budowlanych i umożliwiać bieżącą archiwizację, kontrolę i analizę spływających danych. Ponadto powinien już funkcjonować system obsługi alarmów i powiadomień. Na tym etapie w CM powinny już znajdować się wyniki pomiarów kontrolnych przeprowadzonych przed rozpoczęciem prac (tło dynamiczne drgań i hałasu, ocena geodezyjna, poziom wód gruntowych, natężenie, rozkład i struktura rodzajowa ruchu powierzchniowego), jak również odpowiednia dokumentacja fotograficzna. W momencie rozpoczęcia prac należy sukcesywnie uruchamiać stałe (docelowe) punkty pomiarowe z przesyłem danych pomiarowych do CM oraz wdrożyć „kroczący system” lokowany na bieżąco w strefie bezpośredniego oddziaływania TBM i wykopów otwartych. „System kroczący” poza obserwacjami geodezyjnymi powinien uwzględniać śledzenie i kontrolę drgań mechanicznych, hałasu oraz emisję zanieczyszczeń w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót budowlanych. Jego zadaniem powinno być jednocześnie przemieszczanie się wraz z postępami prac budowlanych. Elementy pomiarowe montowane w stałych punktach pomiarowych powinny być wykorzystane w docelowej konstrukcji systemu, która pozostanie i będzie funkcjonować na etapie eksploatacji II Linii metra.

Po zakończeniu prac budowlanych i uruchomieniu docelowej organizacji ruchu konieczne jest przeprowadzenie ponownych pomiarów kontrolnych w celu oszacowania zmiany, jaką wprowadziło uruchomienie nowego środka transportu w analizowanym obszarze. Pamiętać należy również o okresowej kontroli i konserwacji działającego systemu monitoringu, jak również o potencjalnych możliwościach rozbudowy systemu o dodatkowe moduły, oraz modernizację systemu w związku z innowacjami technologicznymi.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy proponowanej koncepcji systemu monitoringu.



Rys.2. Schemat blokowy koncepcji budowy systemu monitoringu[5].

Przedstawioną koncepcję budowy systemu monitoringu traktować należy jako projekt otwarty, z możliwością dowolnej modyfikacji lub rozbudowy o dodatkowe elementy.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w pracy koncepcja budowy zaawansowanego Systemu Monitoringu jest uzasadniona ze względu na szeroko rozumiane bezpieczeństwo nowej inwestycji. Konieczność monitorowania zjawisk dynamicznych (zachodzących w zasięgu strefy oddziaływania budowanej infrastruktury podziemnej) jest niepodważalna, a stosowane rozwiązania światowych [1,2] zapewnia możliwość potencjalnego wykorzystania systemów modułowych, dzięki którym możliwe jest stworzenie systemu monitorującego. Koncepcja może posłużyć jako zestaw wytycznych do budowy systemu i uruchomienia docelowego Centrum Monitoringu i Informacji. Uruchomienie takiego zautomatyzowanego systemu stanowi nieodłączny element budowy II Linii metra w Warszawie.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dokumentacja Systemu Leica GEOMOS: „*The Leica Automatic Deformation Monitoring System*“, www.leica.com, sierpień 2010r.
- [2] Poitrineau N., Uchański J.: „*Prezentacja systemu SOLDATA*”; WPG – SolData, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa, marzec 2010r.
- [3] Praca zbiorowa: „*Aktualizacja ustalenia stref wpływu budowy II Linii metra dla Odcinka Śródmiejskiego od stacji "Nowy Świat" do stacji "Dworzec Wileński", stref wpływu budowy powiązania łącznikiem jednotorowym torów odstawczych stacji "Centrum" I linii metra z projektem II linii metra.*” Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, sierpień 2006r.
- [4] Praca zbiorowa: „*Ocena stanu budynków w strefach wpływu budowy II linii metra w Warszawie na odcinku od stacji "Nowy Świat" do stacji "Dworzec Wileński".*” „GEOTEKO”, Warszawa, 2006r.
- [5] Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Nadera: „*Oferta na budowę struktury funkcjonalnej projektu monitoringu*”. Konsorcjum Naukowe Politechnika Warszawska-Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, kwiecień 2010r.
- [6] Praca zbiorowa: „*Program Funkcjonalno-Użytkowy - Projekt i budowa II linii metra od stacji „Rondo Daszyńskiego” do stacji „Dworzec Wileński” w Warszawie*”. Koordynator prac A. Chudzikiewicz, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, str. 462, Warszawa, wrzesień 2008r.
- [7] Praca zbiorowa: „*Wielobranżowy Projekt Koncepcyjny dla zaprojektowania i budowy odcinka centralnego II linii metra w Warszawie od ronda Daszyńskiego do dworca Wileńskiego*”, Umowa Nr MN - L21 - 10 - 4670/II, Konsorcjum: BP Metroprojekt Sp. z o.o. – AMC - Andrzej M. Chołdzyński Sp. z o.o., str. 595, Warszawa, wrzesień 2008r.
- [8] PN-81/B-03020 – Posadowienie bezpośrednie budowli
- [9] PN-85/B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
- [10] PN-88/B-02171 – Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.