

Utrzymanie predykcyjne w budownictwie – szanse i bariery implementacji

Predictive maintenance in construction industry – opportunities and barriers of implementation

DOI: 10.15199/33.2022.12.27

Streszczenie. W artykule zdefiniowano pojęcie utrzymania predykcyjnego. Na podstawie doświadczeń z jego stosowania w produkcji omówiono koncepcję utrzymania predykcyjnego w budownictwie. W tym celu wykorzystano założenia systemu wspomagania zarządzania technicznego. Dokonano analizy szans i barier systemu z punktu widzenia jego tworzenia i zastosowania. Na tej podstawie sformułowano wnioski wskazujące na zasadność budowy systemu wykorzystującego podejście utrzymania predykcyjnego i jego stosowanie.

Słowa kluczowe: utrzymanie predykcyjne; zarządzanie techniczne budynkiem; utrzymanie budynku.

Abstract. The article defines the concept of predictive maintenance. Basis of experience from its use in production, the concept of predictive maintenance in construction was discussed. For this purpose, the assumptions of technical management support system were used. An analysis of the opportunities and barriers of the system from the point of view of its creation and application was made. On this basis, conclusions were formulated indicating the reason of building a system using approach of predictive maintenance and its application..

Keywords: predictive maintenance; technical management of building; building maintenance.

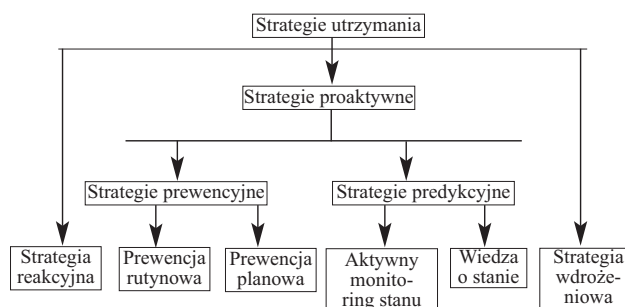
Utrzymanie predykcyjne (ang. *Predictive maintenance*) polega na spełnieniu określonych wymagań na etapie projektowania systemów/obiektów, spełniających oczekiwania użytkownika oraz zgodnie z ich przeznaczeniem [1]. Utrzymanie predykcyjne zalicza się do strategii proaktywnych działań, które wraz z innymi podejściami proaktywnymi wpisują się w koncepcję Przemysłu 4.0 [2, 3]. Utrzymanie predykcyjne często odwołuje się do utrzymania obiektów budowlanych, które jest ustawowym obowiązkiem ich właścicieli i zarządców [4]. W budownictwie utrzymanie predykcyjne może mieć także zastosowanie w produkcji, gdzie występują określone procesy z reguły wspomagane maszynami i urządzeniami o określonych charakterystykach niezawodnościowych.

W artykule podjęto dyskusję nad możliwościami wdrożenia utrzymania predykcyjnego w zarządzaniu obiektami budowlanymi, ze szczególnym uwzględnieniem barier i szans takiej implementacji.

Strategie reakcyjne a proaktywne

Podział strategii utrzymania jest złożony [2, 3, 5, 6]. Na rysunku 1 przedstawiono rodzaje strategii utrzymania, a w dalszej części artykułu omówiono wybrane podejścia o kluczowym znaczeniu.

Strategia reakcyjna to podstawowa strategia utrzymania systemów i obiektów. Bazuje na dość prostym podejściu wystąpienia reakcji na skutek zajścia zdarzenia ją wymuszającego. W przypadku utrzymania obiektów budowlanych można to zobrazować



Rys. 1. Rodzaje strategii utrzymania [3]

Fig. 1. Types of maintenance strategies [3]

sytuacją, w której zachodzi pogorszenie stanu technicznego obiektu, czy awaria jego elementu, co wymusza reakcję w postaci prac remontowych. Dopóki nie wystąpią okoliczności wymuszające reakcję, strategia nie generuje kosztów, natomiast gdy zajdzie okoliczność wymuszająca reakcję, pojawia się ryzyko wystąpienia kosztów i problemów technicznych, a nawet wyłączenia części obiektu z eksploatacji.

Zgodnie z obowiązującym prawem obiekty budowlane podlegają cyklicznym kontrolom i przeglądom, ale często wnioski i zalecenia z nich wynikające są świadomie bagatelizowane lub przesuwane w czasie. Dopiero istotne ograniczenie możliwości korzystania z obiektu wymusza spóźnioną reakcję. Koszty z tym związane są znaczne i obejmują nie tylko ewentualne prace remontowe, ale również wynikają z konsekwencji ograniczeń występujących na tym etapie.

Dużo pewniejsza z punktu widzenia przydatności jest **strategia bazująca na remontach planowo-zapobiegawczych**. Polega na ustaleniu harmonogramu wykonywania określonych prac utrzymaniowych i remontowych, które powinny

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu; marcin.gajzler@put.poznan.pl

zagwarantować pełną przydatność obiektu do użytkowania. Niedogodnością jest dość duży koszt czynności podejmowanych na etapie eksploatacji wynikających z realizacji harmonogramu. W strategii uwzględnia się trwałość normową, która nie zawsze odzwierciedla faktyczny stan elementów obiektu. W efekcie podejmowane są prace, które często nie są adekwatne do faktycznego stanu technicznego. Może się zdarzyć, że część prac jest niezasadna, a część mogłaby zostać ograniczona.

Strategia proaktywna jest efektywniejszym podejściem w utrzymaniu obiektów. Pozwala na podjęcie odpowiednich działań dostosowanych do faktycznych potrzeb, aby jednocześnie zapewnić przydatność systemu/obiektu i nie dopuścić do ograniczenia jego użytkowania. Wśród strategii proaktywnych wyróżnia się **podejście prewencyjne** oraz **predykcyjne**. **Podejście prewencyjne** polega na nadzorowaniu stanu technicznego przez cykliczne kontrole i przeglądy. W Polsce jest prawny obowiązek realizacji przeglądów obiektów budowlanych [4]. Powinny one być rzetelnie realizowane, a wnioski pokontrolne uwzględniane w działaniach zarządcy czy właściciela przez podejmowanie określonych prac remontowych i utrzymaniowych adekwatnych do zaleceń. Uwzględniając interwał przeglądowy – tj. rok w przypadku przeglądów podstawowych i 5 lat w przypadku przeglądów rozszerzonych (w obiektach wielkopowierzchniowych zalecane są np. kontrole co najmniej 2 razy w roku), realizacja zaleceń pokontrolnych powinna zapewnić utrzymanie właściwego stanu technicznego i przydatność obiektu do użytkowania. Podejście prewencyjne nie wyklucza wystąpienia zdarzeń incydentalnych, których skutki zmniejszą przydatność obiektu. W związku z tym, że zmiana stanu technicznego obiektów budowlanych nie następuje w sposób gwałtowny, ale jest rozłożona w czasie i sygnalizowana usterkami, można założyć, że przeprowadzane kontrole pozwolą dokonać właściwej identyfikacji uszkodzeń przed zajściem zdarzenia krytycznego powodującego istotne ograniczenie korzystania z obiektu.

Podejście predykcyjne stanowi ewolucję podejścia prewencyjnego, które wykorzystuje rozwój technologii i automatyzację. Zakłada budowanie prognoz występowania zmian stanu technicznego i związanych z tym zdarzeń powodujących ograniczenia w korzystaniu z obiektu. W tym celu budowane są modele wykorzystujące różne techniki wnioskowania opierające się na dostępnych danych dotyczących obiektu. Dzięki rozwojowi techniki oraz zaimplementowaniu monitoringu (np. wizyjnego, sensorycznego) zakłada się wykorzystanie zautomatyzowanej akwizycji danych. Podobnie jak w podejściu prewencyjnym możliwe jest podjęcie odpowiednich działań z wyprzedzeniem, aby wykluczyć ewentualne zakłócenia w użytkowaniu obiektu, obniżenie przydatności i ograniczenie kosztów. **Wykorzystanie elementów automatyzacji i modelowania numerycznego, to cecha podejścia predykcjnego, która różni go od prewencyjnego.**

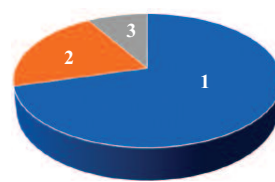
Na rysunku 2 przedstawiono wynik badania ankietowego dotyczącego stosowania podejść w zarządzaniu budynkiem. Badanie przeprowadzono w 2021 r. i objęto nim zarządy wspólnot mieszkaniowych, a także wybrane podmioty zajmujące się zarządzaniem obiektami na terenie Wielkopolski. Stwierdzono, że najczęściej stosowana jest strategia reakcyjna.

Rys. 2. Udział wybranych strategii w polityce utrzymaniowej budynków mieszkalnych: 1 – strategia reakcyjna; 2 – strategia prewencyjna; 3 – strategia wdrożeniowa (stały plan konserwacji i remontów)

Opracowanie własne

Fig. 2. The share of selected strategies in the maintenance policy of residential buildings: 1 – reaction strategy; 2 – preventive strategy; 3 – implementation strategy (permanent plan for maintenance and repairs)

Own source



Cechy podejścia predykcjnego

Zastosowanie podejścia predykcjnego w utrzymaniu obiektów budowlanych przedstawiono w [6]. Podejście to przeniesiono z utrzymania ruchu w produkcji, gdzie rozwinęło się wcześniej. Przesłanką do wykorzystania podejścia utrzymania predykcjnego była konieczność, podobnie jak w systemach produkcyjnych, zapewnienia obiektom pełnej przydatności i użyteczności. Warto zwrócić uwagę, że obiekty budowlane to nie tylko budynki, ale również elementy infrastruktury, np. obiekty mostowe, których jakakolwiek awaria powoduje istotne ograniczenia w korzystaniu i zakłóca łańcuchy dostaw realizowanych transportem drogowym. Przykładem jest drogowo-kolejowy most Oresund o długości 7845 m przebiegający nad cieśniną Sund i łączący stolicę Danii – Kopenhagę ze szwedzkim miastem Malmo, który ma zainstalowany automatyczny system zarządzania ze względu na ważność przeprawy [7]. W celu utrzymania ruchu wyposażono obiekt w różne czujniki i monitoring wizyjny, co wraz z systemem zarządzania daje niezbędne podstawy do wdrożenia podejścia predykcjnego. Należy zauważyć, że utrzymanie ruchu na przeprawie nie ogranicza się tylko do sterowania, ale ma związek z niezawodnością konstrukcji, która poddawana jest oddziaływaniom czynników zewnętrznych, m.in. wiatru. W związku z tym na wantach i pylonach mostu zastosowano czujniki drgań (akcelerometry trójosiowe) oraz stacje monitorujące pogodę (kierunek i siłę wiatru, wilgotność i temperaturę powietrza).

Na przykładzie mostu Oresund wskazano niezbędne elementy i cechy podejścia predykcjnego, wśród których są:

- wykorzystanie różnych sensorów i mierników dostarczających dane o stanie elementów obiektu i występujących oddziaływaniach;
- wykorzystanie stałego monitoringu wizyjnego oraz przeglądów cyklicznych;
- zdalna i zautomatyzowana akwizycja danych;
- analiza pozyskanych danych na podstawie dostępnych modeli, w tym bazujących m.in. na sztucznej inteligencji;
- podejmowanie niezbędnych działań z wyprzedzeniem, aby zapewnić stałą przydatność obiektu.

Idea wspomaganie zarządzania technicznego

Odwołując się do faktycznych potrzeb występujących w zarządzaniu budynkami mieszkalnymi, strategia predykcjna pozwoliłaby na podejmowanie odpowiednich działań, zanim wystąpią sytuacje krytyczne. W pewnym stopniu potrzeby te spełnia system wspomaganie zarządzaniem technicznym budynkami, który będzie prognozował zmianę stanu techniczne-

go i niezbędne nakłady na utrzymanie i remont budynków mieszkalnych. Jest to bardzo ważne, gdyż z prowadzonych badań ankietowych wynika, że odpowiednie zabezpieczenie finansowe stanowi zasadniczy problem działań utrzymaniowych i remontowych.

System wspomagania zarządzania technicznego bazuje m.in. na eksploracji dostępnych źródeł informacji o budynku, takich jak protokoły z kontroli rocznych i pięcioletnich, w których dokonuje się opisu kluczowych elementów budynku z podaniem m.in. uszkodzeń i określeniem stanu technicznego [7]. Ze względu na tekstową i opisową postać materiału źródłowego zasadne okazało się wykorzystanie zautomatyzowanego podejścia text mining poprzedzonego digitalizacją dokumentów tekstowych. Niezbędnym dopełnieniem są dane dotyczące ponoszonych nakładów na utrzymanie i remont budynków w przeszłości. Ten zbiór informacji wraz z charakterystyką techniczną budynku określoną klasą (zastosowane klasyfikatory to m.in.: technologia budowy, liczba kondygnacji, powierzchnia użytkowa, wiek budynku) stanowią bazę danych wykorzystywanych w systemie wnioskowania. W celu jej rozbudowy zaproponowano standaryzację słownika używanego do opisu i oceny stanu technicznego podczas przeglądów i kontroli budynków. Docelowym rozwiązaniem powinna być aplikacja wspomagająca proces przeglądu i kontroli budynku oraz akwizycji danych i ich raportowania.

Możliwości implementacji podejścia predykcyjnego w przypadku budynków

Bazując na przykładzie mostu Oresund oraz elementach wykorzystywanych w podejściu predykcyjnym, zauważono bariery w jego implementacji do zarządzania budynkami, przede wszystkim mieszkalnymi. Wskazano na brak powszechności wykorzystywania wielu czujników monitorujących stan elementów budynku. Mimo że systemy BMS (*Building Management System*) mają elementy pomiarowe i sensoryczne, to w przypadku podejścia predykcyjnego ich funkcjonalność jest ograniczona. Pozwalają one na zarządzanie budynkiem przez sterowanie jego instalacjami w celu dostosowania się do oczekiwań użytkownika, ale nie dają pełnego obrazu stanu wybranych elementów. Zastosowanie systemów sensoryczno-pomiarowych z infrastrukturą komunikacyjną czy stosowania monitoringu wizyjnego generuje duże koszty inwestycyjne, co jest dodatkowym obciążeniem. Brak wymienionych systemów implikuje brak niezbędnych danych do analizy w modelach predykcyjnych.

Przykładem budynków najlepiej dostosowanych do wymagań implementacji podejścia predykcyjnego są budynki inteligentne (*Smart Buildings*), w przypadku których konieczne jest jedynie uzupełnienie istniejącej infrastruktury sensoryczno-pomiarowej. Daje to podstawy do pozyskania niezbędnych danych o stanie elementów budynku, wykorzystywanych w modelu predykcyjnym. Takie podejście przełożyłoby się na minimalizację dużych zakłóceń podczas użytkowania, szczególnie budynków produkcyjnych, użyteczności publicznej, komercyjnych, gdzie zapewnienie budynku zastępczego jest niemożliwe.

Kolejną barierą jest brak standardów modeli analitycznych pozwalających na predykcję utrzymania. Istnieją różne modele o charakterze indywidualnym i eksperymentalnym, ale zasadne byłoby opracowanie standaryzowanego narzędzia, które operowałoby pozyskiwanymi danymi. Wydaje się, że rozwiązania softwarowe typu shell byłyby dobrym narzędziem.

Korzyści wynikające z systemu utrzymania predykcyjnego, to minimalizacja ryzyka wystąpienia zdarzeń powodujących ograniczenia użytkowe budynku i konieczność jego wyłączenia z eksploatacji. Należy przyjąć, że podejście predykcyjne nie jest w stanie zagwarantować całkowitej eliminacji negatywnych zdarzeń. Ponadto mimo dużych nakładów na etapie implementacji, umożliwia redukcję kosztów utrzymania. Założenie, że podjęcie działań wyprzedzających jest tańsze niż działania post factum, daje wymierne oszczędności. Dodatkową oszczędnością jest redukcja zakłóceń użytkowych.

Wnioski

Podejście predykcyjne, stanowiące element Przemysłu 4.0, jest niewątpliwie słusznym kierunkiem ewolucji strategii utrzymania budynków. Poziom jego implementacji jest jednak ograniczony. Największe możliwości są w przypadku budynków inteligentnych, gdzie funkcjonują już wybrane i wymagane elementy systemu predykcyjnego. Ze względu na koszty implementacji, zastosowanie podejścia predykcyjnego ma uzasadnienie w przypadku budynków produkcyjnych i użytkowych. W budynkach mieszkalnych zasadne jest stosowanie wspomagania zarządzania technicznego oraz planowania polityki utrzymaniowo-remontowej [8], polegającej m.in. na doraźnych i cyklicznych kontrolach oraz ocenach stanu technicznego. Nie wyklucza to jednak wdrożenia w budynkach mieszkalnych podejść, które przy braku systemów monitorujących można określić jako quasi-predykcyjne.

Literatura

- [1] Mobley R.K. An Introduction to Predictive maintenance, Butterworth Heinemann, Amsterdam.
- [2] Trzeciński S. Stan dostosowania systemów utrzymania ruchu do warunków Przemysłu 4.0. w: Zarządzanie strategiczne w dobie cyfrowej gospodarki sieciowej, S. Gregorczyk, G. Urbanek (red.), WUŁ, Łódź 2020, DOI: 10.18778/8220-335-6.24.
- [3] Almobarak M, Mendibil K, Alrashdan A. Predictive Maintenance 4.0 for Chilled Water System at Commercial Buildings: A Systematic Literature Review. *Buildings*. 2022. DOI: 10.3390/buildings12081229.
- [4] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane.
- [5] Kosicka E, Mazurkiewicz D, Gola A. Problemy wspomagania decyzji systemach utrzymania ruchu. *Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. 2016. DOI: 10.5604/01.3001.0009.5189.
- [6] Selcuk S. Predictive maintenance, its implementation and latest trends. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 2017. DOI: 10.1177/0954405415601640.
- [7] Peeters P, Couvreur G, Razinkov O, Kundig C, Van der Auweraer H, De Roeck G. Continuous Monitoring Of The Oresund Bridge: System And Data Analysis. *Structure and Infrastructure Engineering*. 2009. DOI: 10.1080/15732470701478362.
- [8] Gajzler M. Supporting the technical management of residential buildings in the process of their exploitation. *Archives of Civil Engineering*. 2021, 67 (2).
- [9] Bucóń R, Czarnigowska A. A model to support long-term building maintenance planning for multifamily housing. *Journal of Building Engineering*. 2021. DOI: 10.1016/j.jobee.2021.103000.

Przyjęto do druku: 19.10.2022 r.