

# Prowadzenie badań dotyczących zachowań pracowników w warunkach budowy

Mgr inż. Łukasz Rosicki, Politechnika Warszawska

## 1. Wprowadzenie

Prowadzenie badań dotyczących realizacji prac budowlanych jest zagadnieniem niezwykle problematycznym. W budownictwie badania dotyczące zachowań pracowników, zwłaszcza w czasie robót, ograniczone są w praktyce wyłącznie do metod opartych o ankietyzację. Surowe wymagania prawne [1], wynikające przede wszystkim z chęci zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa pracownikom znacząco ograniczają możliwości udziału naukowców bezpośrednio w procesie wznoszenia obiektów budowlanych. Prowadzi to do powstania dużej luki badawczej powodującej trudności w ilościowej i jakościowej ocenie robotników oraz ich pracy, szczególnie w szerszym kontekście branżowym.

## 2. Metody badawcze

Plac budowy można z pewnością uznać za nietypowe miejsce prowadzenia badań. Duża liczba zmiennych losowych i wysoka niepowtarzalność niektórych procesów prowadzi do sytuacji, w których prowadzenie jakichkolwiek miarodajnych pomiarów powoduje wiele problemów. Szczególnie trudne jest analizowanie zachowań pracowników, przede wszystkim ich efektywności oraz przestrzegania zasad bezpieczeństwa i higieny pracy.

Podstawowym podziałem metod badawczych jest wyróżnienie badań inwazyjnych i nieinwazyjnych. W przypadku pomiarów dotyczących zachowań grup osób najczęściej mamy do czynienia z badaniami nieinwazyjnymi. Naukowcy z założenia starają się w trakcie prowadzenia pomiarów i obserwacji minimalizować swój wpływ na badaną organizację. Jest to szczególnie ważne w przypadku pomiarów prowadzonych na placu budowy, gdzie podstawową koniecznością zawsze będzie zapewnienie bezpieczeństwa wszystkim uczestnikom poszczególnych robót. Badania dotyczące samego procesu wznoszenia obiektów budowlanych i związanym z tym zachowaniem robotników ze względu na charakter

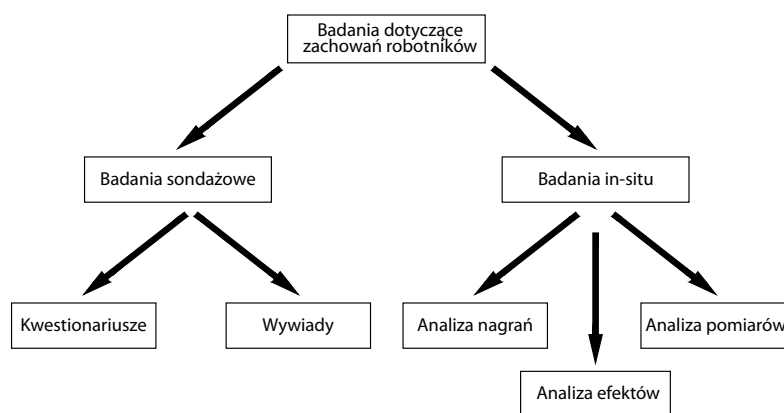
stawianych pytań badawczych, z reguły oparty na wydajności i efektywności pracy, mają częściej charakter ilościowy niż jakościowy.

## 3. Badania sondażowe

Badania sondażowe są jedną z najstarszych metod pozyskiwania informacji, szczególnie popularną w badaniach społecznych. Ze względu na swój nieinwazyjny charakter i całkowite odizolowanie badacza od samego procesu możliwe jest ich stosowanie nawet w sytuacjach, w których umieszczanie dodatkowej osoby bezpośrednio przy realizowanych pracach jest ekonomicznie skrajnie nieopłacalne lub po prostu niebezpieczne. Prowadzenie robót budowlanych wiąże się z wysokim poziomem ryzyka dla zdrowia i życia wszystkich uczestników poszczególnych procesów, nawet pomimo coraz optymistyczniejszych statystyk, dlatego ciągle dąży się do minimalizacji wielkości brygad roboczych. Jest to jeden z głównych powodów braku obecności badaczy bezpośrednio przy wykonywaniu robót i małej liczby badań prowadzonych in situ.

### 3.1. Ankiety i kwestionariusze

Tradycyjnie wyróżnia się dwie formy badań prowadzonych w sposób sondażowy, kwestionariusze (narzędzie dla metody badawczej) i ankiety (metody badawcze) (rys. 1). Pierwsze z nich są przekazywane badanej osobie do wypełnienia, drugie stanowią podstawę do przeprowadzenia wywiadu, co może umożliwić pewną ingerencję badacza w treść zadawanych pytań (tzw. efekt ankietera) [2]. Należy podkreślić, że efekt ankietera nie zawsze wynika ze świadomej intencji,



Rys. 1. Podział metod badawczych możliwych do stosowania w przypadku oceny zachowań pracowników budowlanych

a może mieć charakter mimowolny, polegający na wysłaniu sygnałów osobie przepytywanej i niejakiym wymuszaniu pewnych zachowań. Z tego względu przeprowadzanie ankiet, zwłaszcza w przypadku pozyskiwania dużej ilości informacji, poprzedzone jest badaniem walidacyjnym mającym na celu standaryzowanie odpowiedzi udzielanych poszczególnym ankierom.

Badania sondażowe stawiają przed badaczem szereg trudności, które można przyporządkować do jednej z czterech głównych kategorii, tj.:

- identyfikacja i wybór odpowiedniej próby,
- uzyskanie odpowiedzi od wskazanych osób,
- ocena, sprawdzenie i standaryzowanie pytań oraz wzorcowych odpowiedzi,
- oszacowanie wewnętrznej zgodności i dokładności badań.

Dobór próby jest jednym z najtrudniejszych zadań dotyczących projektowania badań opartych o ankietę czy kwestionariusze. Wyróżnia się dwa podstawowe typy doboru: losowy i oparty o wiedzę [3]. Oba podejścia mają szereg zalet. Całkowicie losowy dobór próby pozwala uniknąć jakiegokolwiek stronniczości i mocno ogranicza mimowolne oddziaływania prowadzącego badania na wyniki. Z kolei wybór oparty o posiadane informacje pozwala na minimalizację wpływu skrajnych, nietypowych czy wysoce niereprezentatywnych przypadków czy osób do badania. Szczególnie znaczenie może mieć to w sytuacjach, gdzie pojedyncze wartości znacząco odbiegają od pozostałych. Bardzo dobrym, wyidealizowanym przykładem jest porównanie analizy wzrostu i majątku losowej próbki osób. W przypadku wzrostu pomiar przeprowadzony na losowej próbie dorosłych będzie mocno miarodajny, gdyż istnieją górne i dolne granice tego czynnika, a przypadki ekstremalne są na tyle rzadkie, że minimalnie wpływają na wartości średnich i odchyłeń standardowych. W przypadku porównywania majątków sytuacja jest zupełnie inna. Losowy dobór próby może znacząco zakłócić wynik, jeżeli pominięte zostaną osoby bardzo zamożne, których wpływ na średnią jest bardzo duży. Na przykład w Polsce w roku 2019 według badań [4] zanotowano 116 tys. milionerów dolarowych, co odpowiada zaledwie 0,3% populacji, z kolei posiadany przez nich majątek stanowi aż 56% sumy wszystkich majątków. W przypadku badań na ograniczonej próbie istnieje więc duże ryzyko uniknięcia takich osób i zarejestrowania kompletnie błędnego wyniku. Charakterystycznym problemem sondaży jest wysoki poziom niechęci do udziału w nich ze strony badanych. Tzw. *response-rate*, czyli stosunek osób udzielających odpowiedzi w stosunku do wszystkich upoważnionych, przez lata uznawany był za podstawowy wskaźnik wiarygodności badania i chociaż bardziej współczesne analizy [5] wskazują na jego malejące znaczenie, dalej wysoki *response-rate* uznawany jest za wskaźnik dobrej reprezentatywności badania. Typowym rozwiązaniem problemu niechęci podmiotów do uczestnictwa w badaniu są gratyfikacje, zarówno materialne, np. upominki czy wynagrodzenia

oraz niematerialne, jak np. dostarczenie odczucia wpływu, wyjątkowości czy zaspokojenia ciekawości.

### 3.2. Ograniczenia badań sondażowych

Wszelkie badania sondażowe nawet przy zachowaniu odpowiednich rygorów i zapewnianiu satysfakcjonującego naukowców poziomu ufności mają oczywiście ograniczenia. W przypadku tego typu zbierania informacji badacze muszą ograniczyć się do subiektywnych odczuć i jedynie łatwo mierzalnych procesów. Pracownicy są w stanie ocenić zakres i ilość robót, swoje zmęczenie czy nastrój. W tym przypadku brakuje jednak możliwości pozyskania danych do analizy procesów wymagających precyzyjnych pomiarów. Trudno jest oczekiwać od pracowników konkretnych informacji o np. pokonanym dystansie, czasie pozostawiania w bezruchu czy np. liczbie przeniesionych elementów. Tego typu dane pozyskać może w rzeczywistości tylko zewnętrzny obserwator.

## 4. Nieinwazyjne badania in-situ

Wychodząc niejako naprzeciw przedstawionym problemom w badaniach sondażowych, wielu badaczy stopniowo rezygnuje z badań opartych o zbieranie odpowiedzi od subiektywnych podmiotów. Nie zawsze jednak łatwo jest przeprowadzić własne obiektywne badania. Szczególnie trudne jest to w sytuacji eksperymentów prowadzonych w warunkach naturalnych. Prace prowadzone in-situ charakteryzują się dużą liczbą trudnych do przewidzenia zmiennych, które pozostają poza kontrolą badacza.

### 4.1. Dobór próby

Jednym z podstawowych problemów badań dotyczących zachowań pracowników prowadzonych in-situ jest zapewnienie odpowiednio dużej próby rezultatów. Jednocześnie w trakcie realizacji zachodzi wiele losowych procesów znacznie zaburzających zbierane wyniki. Podstawowym sposobem minimalizacji oddziaływania zmiennych losowych na obserwowany proces jest tzw. technika quasi-eksperymentów, czyli metoda ciągłej analizy zaobserwowanych zjawisk w sposób umożliwiający identyfikację i wyodrębnienie zdarzeń odpowiadających naszemu eksperymentowi kontrolnemu. Uzyskane w ten sposób wyniki mogą oczywiście dostarczyć wystarczającej ilości informacji, jeśli badacz jest gotowy poświęcić na samo badanie wystarczająco dużo czasu. Technika wyodrębniania zdarzeń skazuje więc naukowców na konieczność oczekiwania wystąpienia określonych zmiennych losowych. W tej sytuacji szczególnie duże znaczenie ma odpowiedni dobór bazy badawczej. W przypadku chęci zbadania rzadkiego zjawiska, np. wpływu ujawnienia niewybuchów i niewypałów na odchylenia harmonogramu, konieczne jest ciągle monitorowanie dużej liczby prowadzonych inwestycji, gdyż jest to zjawisko zdarzające się obecnie niezmiernie rzadko.

#### 4.2. Badania oparte o analizę obrazu

Badania prowadzone w warunkach trwającego procesu budowlanego można podzielić na 3 podstawowe grupy (rys. 1). Analiza nagrań jest jednym z najdynamiczniej rozwijających się sposobów przeprowadzenia badań dotyczących organizacji procesu budowlanego. Istniejące technologie pozwalają już na precyzyjną analizę albo nagranych materiałów wideo, albo materiału przesyłanego w czasie rzeczywistym. Bardzo podobne rozwiązania są już wprowadzane w ramach procedur zapewniających bezpieczeństwo na budowie [6] w przypadku robót prowadzonych w pobliżu ciężkiego sprzętu mechanicznego. Maszyny wyposażone są w kamery, które analizując obraz są w stanie rozpoznać zarys ludzkiej sylwetki i analizując trajektorie ruchu są w stanie włączyć awaryjny hamulec, zapobiegając kolizji. Szersze stosowanie analizy obrazu niesie ze sobą oczywiście wiele kontrowersji, gdyż wiąże się z ciągłym zakłóceniem prywatności. Istnieją również pewne ograniczenia prawne co do jej stosowania, ale technicznie jest to oczywiście już możliwe i sama technologia jest mocno rozwijana i działa praktycznie bezbłędnie [7]. szczególności jednak zarówno pracodawca, jak i badacz zobowiązany jest do przestrzegania ustawy o ochronie danych osobowych. Należy mieć świadomość, że materiały wideo zawierające nagrania pracowników, klasyfikowane są jako informacje wrażliwe i ich wykorzystywanie, przetwarzanie i udostępnianie podlega licznym ograniczeniom. Warto również podkreślić, że analiza obrazu może być dokonywana ręcznie bez udziału skomplikowanego oprogramowania, jednak dynamiczny rozwój algorytmów analizujących ruch sprawia, że wydaje się to rozwiązaniem przestarzałym. Główną wadą prowadzenia badań w oparciu o materiały wizualne są jednak przede wszystkim koszty. Stworzenie odpowiednio rozbudowanej sieci monitoringu wymaga sporych inwestycji i częstych pracochłonnych modyfikacji likwidujących martwe strefy, które muszą uwzględniać ciągle zmieniającą się geometrię powstającego obiektu budowlanego, szczególnie w przypadku obiektów liniowych, takich jak drogi, które charakteryzują się ciągle przesuwanym frontem robót. Problemem może być także odpowiednie zabezpieczenie sprzętu monitorującego. Dynamiczny charakter wielu prac może prowadzić do uszkodzenia systemu monitorującego, a ciągły ruch ludzi, maszyn i materiałów może powodować liczne przesłania obrazu, uniemożliwiając jego wykorzystanie. Typową cechą wielu procesów jest także wydzielanie licznych zanieczyszczeń, które mogą prowadzić do zaburzeń rejestrowanego obrazu (np. w postaci pyłów czy płynów osadzających się na soczewkach kamer). Potencjalnym rozwiązaniem jest dublowanie rejestracji obrazu w kluczowych miejscach w postaci sprzężenia równoległego, ale wiąże się to z jeszcze większym wzrostem kosztów ze względu na zwiększenie wymaganego zapasu urządzeń. Co więcej, jeżeli konieczna jest precyzyjna ocena lokalizacji poszczególnych obiektów i osób, są wymagane zestawy przynajmniej dwóch kamer i zaawansowane oprogramowanie [8].

Oczywiście obserwacje nie muszą być prowadzone w sposób ciągły. We współczesnych przedsiębiorstwach dużą popularnością cieszą się tzw. badania migawkowe, polegające na wrywkowej analizie obrazu i ekstrapolowaniu uzyskanych danych do analiz np. czasów przestoju [9]. Jest to szczególnie użyteczne narzędzie w celu detekcji i eliminowania „wąskich gardeł” procesu produkcyjnego.

#### 4.3. Analiza efektów

W przypadku problemów badawczych sprowadzających się do oceny tempa lub jakości prowadzenia robót, często wystarczającym sposobem prowadzenia badań jest analiza efektów prac. Jest to szczególnie przydatna metoda w przypadku braku potrzeby analizy szczegółowych danych na temat zachodzących procesów. Taka metoda badawcza charakteryzuje się niskimi nakładami pracy badaczy i skutkuje całkowitym oddzieleniem przedmiotu badania od naukowca. Co więcej, analizowanie efektów pracy może przebiegać bez wiedzy robotników, a więc także możliwe jest całkowite uniknięcie efektu zmiany wzorców zachowań spowodowanych świadomością pozostawania pod obserwacją. Oczywiście największą wadą tego typu rozwiązań jest bezpowrotna utrata dużej ilości informacji i często niemożliwe do odtworzenia łańcuchy przyczynowo skutkowe. Brak możliwości uzyskania pełnej informacji o całym przeprowadzonym procesie produkcyjnym może tę metodę z wielu analiz całkowicie wykluczać. Bez wątplenia pozostaje to jednak jednym z najlepszych sposobów oceny wydajności i efektywności pracy.

#### 4.4. Pomiary ciągłe

Dynamiczny rozwój technologii informatycznych umożliwia obecnie zdalną analizę wielu czynników, które dotychczas pozostawały niezwykle trudne do badania. W przypadku robót budowlanych analizy pracochłonności sprowadzały się dotychczas praktycznie wyłącznie do oceny efektów prac. Jest to o tyle problematyczne, że dzisiejsze roboty budowlane charakteryzują się wysokim stopniem skomplikowania i niepowtarzalności. Coraz częściej pojawiają się nietypowe, innowacyjne rozwiązania, które ze względu na swój wąski zakres zastosowań ciężko sklasyfikować. Co więcej, istnieje cały szereg czynników, których rejestrowanie w ramach prowadzonych robót budowlanych jest praktycznie niemożliwe. Bardzo ciężko jest oceniać przede wszystkim zachowania pracowników. Informacje o ich średniej prędkości, czasie pozostawania w bezruchu, czy ścieżkach poruszania się na budowie, chociaż kluczowe z punktu widzenia zapewnienia odpowiednich poziomów bezpieczeństwa, dotychczas podlegały tylko wrywkowym obserwacjom. Rozwiązaniem tego problemu może być stosowanie technik zaczerpniętych z innych pokrewnych dziedzin.

Praca na budowie charakteryzuje się na przykład pewnym podobieństwem w swojej organizacyjnej strukturze do centrów logistycznych. W ramach placu budowy mamy do czynienia z podobnymi procesami jak w dużych przestrzeniach

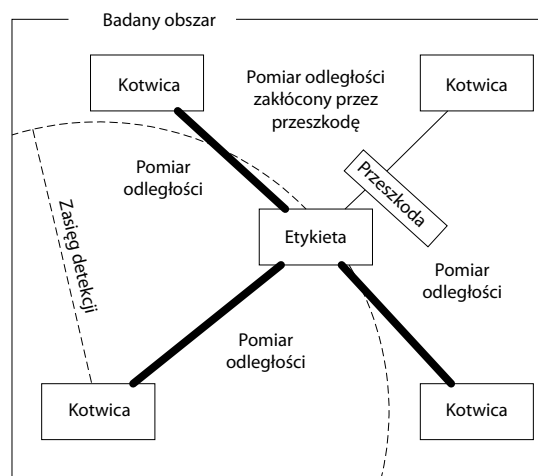
magazynowych. Materiały dostarczane z zewnątrz są składowane w wydzielonym miejscu, skąd po transporcie wewnętrznym trafiają na miejsce wbudowania, gdzie proces wykonywania elementu jest finalizowany. Właśnie to podobieństwo doprowadziło do adaptacji niektórych elementów technologii RTLS (*Real-Time Tracking Systems* – systemy lokalizacji czasu rzeczywistego) na potrzeby budownictwa. Koncept technologii powstał w latach 90. ubiegłego wieku, a pierwsze adaptacje na potrzeby niektórych armii oraz dużych ośrodków medycznych w Stanach Zjednoczonych pojawiły się na początku XXI w. Zestaw „kotwic” montowanych na ścianach (*anchor*) i „etykiety” (*tag*), najczęściej w postaci opasek lub przymocowanych do kasków nadajników, ma za zadanie w czasie rzeczywistym przekazywać zbiór informacji o obiekcie czy osobie. Najczęściej badane jest tylko położenie czujnika w przestrzeni, ale istnieją systemy mogące przesyłać dane o wielu cechach takich jak tętno, temperatura czy przyspieszenie. Zastosowanie tego typu rozwiązań w budownictwie może doprowadzić zarówno do uzyskania dotychczas nieposiadanych informacji o przebiegu procesu budowlanego, jak i znacznego zwiększenia bezpieczeństwa pracowników [10]. Obecne technologie RTLS najczęściej oparte są o technikę radiokomunikacji UWB (*Ultra WideBand*), czyli szybkim wysłaniu krótkich impulsów na niskich poziomach mocy w celu uniknięcia interferencji z innymi urządzeniami elektronicznymi. Najczęstszym sposobem lokalizacji jest triangulacja. Etykiety wysyłają w sposób ciągły sygnał radiowy z odczytem zegara, który po dotarciu do minimum 3 kotwic pozwala na określenie jej położenia w przestrzeni. Ze względu na zaburzenia fal wywołane koniecznością przejścia fali radiowej przez przeszkody, konieczne jest w warunkach prowadzenia analiz, rozmieszczenie kotwic tak, aby sygnał z każdego punktu badanego regionu docierał do minimum 3 kotwic bez przeszkód (rys. 2).

Podobnie jak w przypadku systemów analizy obrazu technologia wymaga więc sprzężenia równoległego, aby zapewnić ciągłość pracy. Przy maksymalnym zasięgu detekcji wynoszącym 80 m, kotwice należałyby więc rozmieszczać w siatce o wymiarach około 25x25 m. Konieczne niestety jest uwzględnianie trwałych przeszkód, takich jak na przykład ściany żelbetowe.

Opisywana technologia może mieć jednak zastosowania nie tylko badawcze. Systemy lokalizacji czasu rzeczywistego mogą służyć również jako podstawowe narzędzie zapobiegania wypadkom [11], informując pracowników o zbliżaniu się do niebezpiecznej strefy.

## 5. Podsumowanie

Nietypowe środowisko badawcze, takie jak budowa, zawsze jest przyczyną wielu problemów w czasie przeprowadzania eksperymentów i analiz. Duża niepewtarzalność realizowanych obiektów sprawia, że jakiegokolwiek pomiary prowadzone in-situ zazwyczaj są realizowane na dużą skalę. Tradycyjne



Rys. 2. Schemat działania systemu RTLS

metody badawcze oparte na badaniach sondażowych, pomimo często bardzo wysokiej pracochłonności, rzadko są w stanie zapewnić wszystkie poszukiwane informacje. Analizy realizowane bezpośrednio na placach budowy, czy za pomocą osobistych obserwacji, analizy obrazu, czy odczytów z różnego rodzaju czujników mają szansę stać się w przyszłości powszechną praktyką i umożliwić likwidację licznych luk badawczych dotyczących zachowań pracowników. Należy przy tym pamiętać, że te technologie mogą być wykorzystywane nie tylko w celach naukowych, ale również jako narzędzia optymalizujące proces budowlany i zwiększające poziom bezpieczeństwa pracowników.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (Dz.U. z 2003 r. Nr 47, poz. 401)
- [2] Lisowski K., Ankieter w terenie, problemy z jakością badań ilościowych. Problem rzetelności badań surveyowych 3/2017
- [3] Flyvbjerg B., Five misunderstandings about case-study research, *Qual. Inq.*, tom 12, 2/2006, str. 219–245, Doi: 10.1177/1077800405284363
- [4] Shorrocks A. et al., *Global Wealth report 2019: The year in review*, Glob. wealth Rep. 2019, by Suisse Group, Credit AG, 10/2019, str. 37–42
- [5] Baruch Y, Holtom B. C., Survey response rate levels and trends in organizational research, *Hum. Relations*, tom 61, 8/2008, str. 1139–1160, Doi:10.1177/0018726708094863
- [6] Son H., Kim C., Integrated worker detection and tracking for the safe operation of construction machinery, *Autom. Constr.*, tom 126, 8/2020, str. 103670, 2021, Doi: 10.1016/j.autcon.2021.103670
- [7] Angah O., Chen A. Y., Tracking multiple construction workers through deep learning and the gradient based method with re-matching based on multi-object tracking accuracy, *Autom. Constr.*, tom 119, 4/2019, str. 103308, 2020, Doi: 10.1016/j.autcon.2020.103308
- [8] Lee Y. J., Park M. W., 3D tracking of multiple onsite workers based on stereo vision, *Autom. Constr.*, tom 98, 8/2018, str. 146–159, 2019, Doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.017
- [9] Nesterak J., Siudy J. M., *Automatyzacja analizy migawkowej* 12/2020
- [10] Hwang S., Seo J. O., Jebelli H., Lee S. H., Feasibility analysis of heart rate monitoring of construction workers using a photoplethysmography (PPG) sensor embedded in a wristband-type activity tracker, *Autom. Constr.*, tom 71, 2/2016, str. 372–381, Doi: 10.1016/j.autcon.2016.08.029
- [11] Lee K. P., Lee H. S., Park M., Kim H., Han S., A real-time location-based construction labor safety management system, *J. Civ. Eng. Manag.*, tom 20, 5/2014, str. 724–736, Doi: 10.3846/13923730.2013.802728