

mgr inż. Tomasz Stachon¹⁾
ORCID: 0000-0002-1220-0494

Linear correlation between cost and schedule overruns in the execution of multifamily buildings

Liniowa korelacja przekroczenia kosztu i terminu realizacji budynków wielorodzinnych

DOI: 10.15199/33.2025.09.19

Abstract. The article presents a correlation analysis between cost overrun and schedule overrun in the execution of multifamily residential buildings, using the Pearson correlation coefficient. The study was based on processed data obtained from 14 construction residential projects carried out between 2006 and 2021. The results revealed a weak negative correlation, indicating no statistically significant linear relationship between the examined variables, in which the cost variable corresponds in 70% to the value of built-in building materials.

Keywords: cost overrun; time overrun; Pearson's correlation.

Streszczenie. Artykuł przedstawia analizę korelacji pomiędzy przekroczeniem kosztu i terminu realizacji budynków wielorodzinnych z zastosowaniem współczynnika korelacji Pearsona. Przedmiotem badania były przetworzone dane uzyskane z czternastu przedsięwzięć mieszkaniowych, realizowanych w latach 2006–2021. Wyniki wykazały słabą ujemną korelację, wskazującą na brak istotnej zależności liniowej między badanymi cechami, w której zmienna kosztu odpowiada w 70% nakładom wbudowanych materiałów budowlanych.

Słowa kluczowe: przekroczenie kosztu; przekroczenie terminu; korelacja Pearsona.

These are many methods, both statistical and empirical, for determining the interdependence or influence of one phenomenon on another. Depending on the nature of the variables analyzed, there are three main types of dependencies [1]. **The first is functional dependencies**, where each value of one variable corresponds to a well-defined value of the other, described by a mathematical function. The second type is **stochastic dependencies**, in which one variable is assigned a probabilistic distribution of the other. A division is assumed between an independent (explanatory) variable and a dependent (explanatory) variable, with the former affecting the probability of the latter. The third type is **correlation relationships**, in which one value of a characteristic is assigned an average value of the other.

Correlation methods allow not only to confirm correlation, but also to determine its strength and direction. The purpose of this article is to analyze the relationship between cost and schedule overruns in construction projects. These values, expressed as CPI and SPI, are part of the Value-Performance Method (EVM), commonly used in project management. They represent measurable characteristics that allow the determination of deviations at set time intervals. Pearson's correlation coefficient was used for the analysis. The observations made indicate that the values of one characteristic can have different values of the other, which justifies the use of correlation analysis to assess the existence and strength of possible linear relationships between the variables under study.

Istnieje wiele metod, zarówno statystycznych, jak i empirycznych, umożliwiających określenie współzależności lub wpływu jednych zjawisk na inne. W zależności od charakteru analizowanych zmiennych wyróżnia się trzy główne typy zależności [1]. Pierwszym są **zależności funkcyjne**, gdzie każdej wartości jednej zmiennej odpowiada ściśle określona wartość drugiej, opisywana funkcją matematyczną. Drugim typem są **zależności stochastyczne**, w których jednej zmiennej przypisuje się probabilistyczny rozkład drugiej. Przyjmuje się podział na zmienną niezależną (objaśniającą) i zależną (objaśnianą), przy czym ta pierwsza wpływa na prawdopodobieństwo wystąpienia drugiej. Trzecim rodzajem są **zależności korelacyjne**, w których jednej wartości cechy przypisywana jest przeciętna wartość drugiej. Metody korelacyjne pozwalają nie tylko potwierdzić współzależność, ale też określić jej siłę i kierunek.

Celem artykułu jest analiza zależności między przekroczeniem kosztu i terminu realizacji w inwestycjach budowlanych. Wartości te, wyrażone jako CPI i SPI, są częścią Metody Wartości Wypracowanej (EVM), powszechnie stosowanej w zarządzaniu projektami. Reprezentują one mierzalne cechy, pozwalające na określenie odchyłeń w zadanych przedziałach czasowych. Do analizy zastosowano współczynnik korelacji Pearsona. Przeprowadzone obserwacje wskazują, że w przypadku wartości danej cechy mogą występować różne wartości drugiej, co uzasadnia zastosowanie analizy korelacyjnej w celu oceny istnienia i siły ewentualnych zależności liniowych między badanymi zmiennymi.

¹⁾ Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego; tomasz.stachon@pwr.edu.pl



Literature review

The phenomenon of cost overruns is common in the construction industry and leads to financial losses and a decrease in trust among project stakeholders [2]. Studies show that a significant proportion of project overruns both the assumed cost and the completion date [3÷5]. According to data cited in [6], it appears that as many as 90% of construction projects exceed their budget, and in some cases the increases reach up to 183%, e.g. in the Netherlands the average overrun was 16.5% [7], in Portugal 24% [8], while in Qatar it was 54% [9, 10]. Similar irregularities have also been reported in the United States [11] and Poland [12÷14].

In the context of such uncertainties, the use of Pearson's correlation coefficient to analyze the interrelationship between cost overruns and terminimum completion, especially in residential housing programs, can provide important analytical information. The coefficient allows assessment of the strength and direction of linear relationships between quantitative variables, making it a useful tool in identifying and interpreting interrelationships. Studies indicate that Pearson correlation works well in assessing the relationship between resource management elements and project performance [15÷16]. However, it should be emphasized that basing only on survey data can lead to the occurrence of so-called spurious correlations [17], and correlation alone does not determine the existence of a cause-and-effect relationship [18]. Another advantage of the Pearson coefficient is its ability to analyze relationships without the need to build complex statistical models, which is important especially in projects with limited access to sophisticated analytical tools. An example of such an application is the study of the relationship between buildings area and the cost of their realization [19].

This method also supports de-decision-making in housing investments, where financial margins are often small [20, 21]. It is worth noting, however, that the effectiveness of correlation analysis depends on the context, as differences in typology, location or phasing of projects can significantly affect the results of analysis [22]. **The Pearson correlation coefficient is therefore a useful tool in analyzing the relationship between cost and schedule overruns**, supporting project management despite its limitations.

Research sample

In analyzing the correlation between cost and deadline overruns in construction projects, the quality and characteristics of the research sample are crucial. The article focuses on residential buildings projects, which represent an important segment of the construction market. Adequate development of a typologically homogeneous database made it possible to use Pearson's correlation coefficient to assess the relationship between actual cost and completion time. The data included in the present research sample was collected and processed from 2006 to 2021 and concerned fourteen fully completed residential investments. Their acquisition was carried out according to the same principles ensuring consistency, completeness, comparability and high cognitive value.

Przegląd literatury

Zjawisko przekroczenia kosztów jest w budownictwie powszechne i prowadzi do strat finansowych oraz spadku zaufania wśród interesariuszy projektu [2]. Badania wykazują, że znaczna część projektów przekracza zarówno zakładany koszt, jak i termin realizacji [3÷5]. Z danych przytoczonych w [6], wynika, że aż 90% przedsięwzięć budowlanych przekracza założony budżet, a w niektórych przypadkach jego wzrosty sięgają nawet 183%, np. w Holandii średni poziom przekroczenia wyniósł 16,5% [7], w Portugalii 24% [8], natomiast w Katarze 54% [9, 10]. Podobne nieprawidłowości odnotowano także w Stanach Zjednoczonych [11] oraz w Polsce [12÷14].

W kontekście takich niepewności, zastosowanie współczynnika korelacji Pearsona do analizy współzależności pomiędzy przekroczeniem kosztu a terminem realizacji, szczególnie w projektach wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego, może dostarczyć istotnych informacji analitycznych. Współczynnik ten umożliwia ocenę siły i kierunku liniowych zależności między zmiennymi ilościowymi, co czyni go przydatnym narzędziem w identyfikacji i interpretacji wzajemnych relacji. Badania wskazują, że korelacja Pearsona sprawdza się w ocenie zależności pomiędzy elementami zarządzania zasobami a efektywnością projektów [15÷16]. Należy jednak podkreślić, że bazowanie wyłącznie na danych z badań ankietowych może prowadzić do występowania tzw. fałszywych korelacji [17], a sama korelacja nie przesądza o istnieniu związku przyczynowo-skutkowego [18]. Zaletą współczynnika Pearsona jest także jego zdolność do analizy relacji bez potrzeby budowania skomplikowanych modeli statystycznych, co ma znaczenie szczególnie w projektach o ograniczonym dostępie do zaawansowanych narzędzi analitycznych. Przykładem takiego zastosowania jest badanie zależności pomiędzy powierzchnią budynków a kosztami ich realizacji [19]. Metoda ta wspiera również podejmowanie decyzji w inwestycjach mieszkaniowych, gdzie marginesy finansowe są często niewielkie [20, 21]. Warto jednak podkreślić, że skuteczność analizy korelacyjnej zależy od kontekstu, ponieważ różnice w typologii, lokalizacji czy fazie realizacji projektów mogą w istotny sposób wpływać na wyniki analiz [22]. **Współczynnik korelacji Pearsona stanowi więc użyteczne narzędzie w analizie zależności między przekroczeniem kosztu i terminu**, wspierając zarządzanie projektami mimo swoich ograniczeń.

Próba badawcza

W analizie współzależności pomiędzy przekroczeniem kosztu i terminu realizacji robót budowlanych kluczowe znaczenie ma jakość i charakterystyka próby badawczej. W artykule skupiono się na przedsięwzięciach dotyczących wielorodzinnych budynków mieszkalnych, które stanowią istotny segment rynku budowlanego. Odpowiednie opracowanie jednorodnej typologicznie bazy danych pozwoliło na zastosowanie współczynnika korelacji Pearsona do oceny relacji między rzeczywistym kosztem a czasem realizacji. Dane ujęte w niniejszej próbie badawczej były gromadzone i przetworzone w latach 2006–2021 i dotyczyły czternastu w całości zrealizowanych inwestycji mieszkaniowych. Ich pozyskanie odbywało się wg



The development of the research sample was based on measuring the actual costs of construction works by conducting monthly, direct technical and financial inspections at construction sites of implemented investments, as part of performing the duties of the Bank Inspector of Supervision (BIN). This is an independent entity appointed by agreement between the lending bank and the investor to supervise and audit the non- public investment projects they co-finance. The Bank Supervisor's responsibilities include: reporting including verification of the documentation provided by the investor, including all permits and administrative decisions and the planned budget; continuous monitoring of the status of investment implementation; verification and acceptance of settlements and invoices, analysis of the conditions for payment of credit tranches, possible recommendation and introduction of repair programs, and final financial analysis of the implementation of the investment along with documentation for obtaining final permits for commissioning of the facility.

An analysis of individual expenditures in the surveyed group of projects indicates their similar structure: about **25% of the cost of construction work is the value of labor, and about 5% is the cost of equipment**. The largest cost of construction works, amounting to about 70% of total outlays, is represented by the embedded most price-intensive construction, finishing and installation materials (concrete, structural and reinforcing steel, masonry walls, prefabricated ceilings, building roofing, etc.). For this reason, the correlation of the cost variable will be significantly related to the cost of building materials.

Test method

As part of the activities of the Bank Inspection Service (BIN), the material and financial schedules prepared by the investors before the start of the work were analyzed, as well as data on the actual progress of implementation, derived from monthly protocols confirming the execution of the work. These materials were used for monthly settlements between the investor and the contractor. All cost values were verified in several stages by the contractor, industry inspectors, the Bank Supervisor and the financing bank. Each BIN inspection ended with a report for the investor and the bank. On the basis of this documentation, measurements were taken, which went into a database. Each measurement of the cost value was the result of a number of observations of the advancement of work, covering different types of work. In total, several hundred measurement values were obtained in this way throughout the research sample.

In order to integrate cost and schedule, the Earned Value Method (EVM) was used, exploiting key parameters: BCWS (planned cost of planned work); BCWP (planned cost of work done) and ACWP (actual cost of work done). Based on these, **two important indicators were calculated: CPI (cost performance index), which informs about the deviation of costs from the plan, and SPI (schedule performance index), which determines the level of schedule deviations** [23].

jednakowych zasad zapewniających spójność, kompletność, porównywalność i dużą wartość poznawczą.

Opracowanie próby badawczej polegało na pomiarach rzeczywistych kosztów robót budowlanych przez prowadzenie comiesięcznych, bezpośrednich inspekcji techniczno-finansowych na placach budów, realizowanych inwestycji, w ramach pełnienia obowiązków Bankowego Inspektora Nadzoru (BIN). Jest to niezależny podmiot powoływany na mocy porozumienia pomiędzy bankiem kredytującym a inwestorem do nadzorowania i audytowania współfinansowanych przez nich niepublicznych przedsięwzięć inwestycyjnych. Do zadań Bankowego Inspektora Nadzoru należy: raportowanie obejmujące weryfikację dokumentacji dostarczonej przez inwestora wraz ze wszystkimi pozwoleniami i decyzjami administracyjnymi oraz planowanym budżetem; stałe monitorowanie stanu realizacji inwestycji; weryfikacja i akceptacja rozliczeń i faktur, analiza warunków wypłat transz kredytowych, ewentualne rekomendowanie i wprowadzanie programów naprawczych oraz końcowa analiza finansowa realizacji inwestycji wraz z dokumentacją uzyskania ostatecznych pozwoleń na oddanie obiektu do użytkowania.

Analiza poszczególnych nakładów w badanej grupie przedsięwzięć wskazuje na ich zbliżoną strukturę: ok. **25% kosztu robót budowlanych to wartość robocizny, a ok. 5% koszt sprzętu**. Największy koszt robót budowlanych, wynoszący ok. 70% całkowitych nakładów, stanowią wbudowane najbardziej cenotwórcze materiały konstrukcyjne, wykończeniowe i instalacyjne (beton, stal konstrukcyjna i zbrojeniowa, muryrowane ściany, prefabrykowane stropy, przekrycie budynku itp.). Z tego powodu korelacja zmiennej kosztu będzie w istotnej części odnosiła się do kosztu materiałów budowlanych.

Metoda badań

W ramach działań Bankowego Inspektora Nadzoru (BIN), analizie poddano harmonogramy rzeczowo-finansowe opracowane przez inwestorów przed rozpoczęciem prac oraz dane o faktycznym przebiegu realizacji, pochodzące z comiesięcznych protokołów potwierdzających wykonanie robót. Materiały te służyły comiesięcznym rozliczeniom między inwestorem a wykonawcą. Wszystkie wartości kosztowe były wieloetapowo weryfikowane przez wykonawcę, inspektorów branżowych, Bankowego Inspektora Nadzoru oraz bank finansujący. Każda kontrola BIN kończyła się opracowaniem raportu dla inwestora i banku. Na podstawie tej dokumentacji prowadzono pomiary, które trafiały do bazy danych. Każdy pomiar wartości kosztu był wynikiem wielu obserwacji zaawansowania prac, obejmujących poszczególne rodzaje robót. Łącznie pozyskano w ten sposób kilkaset wartości pomiarowych w całej próbie badawczej.

W celu integracji kosztu i harmonogramu wykorzystano Metodę Wartości Wypracowanej (EVM), wykorzystującą kluczowe parametry: BCWS (planowany koszt planowanej pracy); BCWP (planowany koszt wykonanej pracy) i ACWP (rzeczywisty koszt wykonanej pracy). Na ich podstawie **obliczono dwa istotne wskaźniki: CPI (wskaźnik wykonania kosztu), informujący o odchyleniach kosztów od planu, oraz SPI (wskaźnik wykonania harmonogramu), określający poziom odchylen harmonogramowych** [23]. Dane te zostały



These data were then processed for further scientific analysis, aimed at studying the relationship between costs and deadlines, using CPI and SPI. The data processing process was divided into 5 basic stages:

Stage I – data acquisition; the data came from the reports of the Bank Supervision Inspector, acting as an independent control unit, and included costs, deadlines, and planned and actual values of individual stages of work. Only data from completed projects were collected, taking into account the full cycle of implementation. Information was collected according to a unified method, which ensured its consistency.

Stage II – data standardization. As part of the standardization, three basic key values were collected from each control report for the planned analyses: BCWS, BCWP and ACWP. They were then placed in a tabular list for ordering.

Stage III – organizing the data. Based on the analysis of the reports, a database was developed in the form of a two-dimensional table, including selected information on construction projects. In the table, the columns corresponded to successive reporting periods, and the rows corresponded to individual investments. The structure of the cost part of the database is shown in Table 1, containing cumulative cost values.

Stage IV – data processing. The next stage required processing the data for the Pearson coefficient correlation test. On the basis of the data obtained in Stage III it was possible to determine two indicators that reflect overruns in the cost and timing of investments:

- **cost performance index determined (CPI_j^I)** in the case of the postdynamic period under study $j \in (1, \dots, m)$, where m – the number of settlement periods determined by the number of financial throughputs and the actual duration of the analyzed pre-construction project.

$$CPI_j^I = \frac{BCWP_j}{ACWP_j} \quad (1)$$

- **schedule performance index (SPI_j^I)**, determined in the case of a single study period $j \in (1, \dots, m)$, where m – the number of settlement periods determined on the basis of the number of financial throughputs and the actual duration of the analyzed construction project.

$$SPI_j^I = \frac{BCWP_j}{BCWS_j} \quad (2)$$

The indicator values determined in each month are summarized in Table 2. They also created the basis for validation.

następnie przetworzone w celu dalszej analizy naukowej, ukie-
runkowanej na badanie zależności między kosztami a termina-
mi realizacji, z wykorzystaniem wskaźników CPI i SPI. Proces
przetwarzania danych podzielono na 5 podstawowych etapów.

Etap I – pozyskanie danych; dane pochodziły z raportów Bankowego Inspektora Nadzoru, pełniącego funkcję niezależnej jednostki kontrolnej i obejmowały koszty, terminy oraz wartości planowane i rzeczywiste poszczególnych etapów robót. Zbierano wyłącznie dane z zakończonych projektów, uwzględniając pełny cykl realizacji. Informacje gromadzono wg zunifikowanej metody, co zapewniło ich spójność.

Etap II – standaryzacja danych. W ramach standaryzacji z każdego raportu kontrolnego gromadzono trzy podstawowe wartości kluczowe do planowanych analiz: BCWS, BCWP oraz ACWP. Następnie zamieszczano je w tabelarycznym zestawieniu w celu uporządkowania.

Etap III – uporządkowanie danych. Na podstawie analiz raportów opracowano bazę danych w formie dwuwymiarowej tabeli, obejmującą wybrane informacje o przedsięwzięciach budowlanych. W tabeli kolumny odpowiadały kolejnym okresom raportowania, a wiersze poszczególnym inwestycjom. Strukturę części kosztowej bazy przedstawiono w tabeli 1, zawierającej skumulowane wartości kosztów.

Etap IV – przetworzenie danych. Kolejny etap wymagał przetworzenia danych na potrzeby badania korelacji współczynnikiem Pearsona. Na podstawie danych uzyskanych w etapie III możliwe było wyznaczenie dwóch wskaźników które odzwierciedlają przekroczenie kosztu i terminu inwestycji:

- **wskaźnik wykonania budżetu (CPI_j^I)**, określony w przypadku pojedynczego badanego okresu $j \in (1, \dots, m)$, gdzie m – liczba okresów rozliczeniowych określona na podstawie liczby przerobów finansowych i rzeczywistego czasu trwania analizowanego przedsięwzięcia budowlanego.

$$CPI_j^I = \frac{BCWP_j}{ACWP_j} \quad (1)$$

- **wskaźnik wykonania harmonogramu (SPI_j^I)**, określany w przypadku pojedynczego badanego okresu $j \in (1, \dots, m)$, gdzie m – liczba okresów rozliczeniowych określona na podstawie liczby przerobów finansowych i rzeczywistego czasu trwania analizowanego przedsięwzięcia budowlanego

$$SPI_j^I = \frac{BCWP_j}{BCWS_j} \quad (2)$$

Wartości wskaźników wyznaczone w każdym miesiącu zestawiono w tabeli 2. Stanowiły one również podstawę do przeprowadzenia walidacji.

Table 1. Structure of the database on construction projects in the cost section (excerpt from the statement)

Tabela 1. Struktura bazy danych o przedsięwzięciach budowlanych w części dotyczącej kosztów (fragment zestawienia)

No. /Nr	Object / Obiekt	Number of measurements / Liczba pomiarów	...	BCWS.3	BCWS.4	...	BCWP.3	BCWP.4	...	ACWP.3	ACWP.4	...
1	M.1	17	...	3 255 000,00	4 705 000,00	...	3 305 000,00	4 153 000,00	...	3 305 000,00	4 153 000,00	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	M.14	19	...	1 727 439,37	2 996 728,20	...	1 727 439,37	2 704 382,48	...	1 727 439,37	2 996 728,20	...

Table 2. Structure of the database on construction projects in the deviation section (excerpt from the statement)

Tabela 2. Struktura bazy danych o przedsięwzięciach budowlanych w części dotyczącej odchyłeń (fragment zestawienia)

No. /Nr	Object / Obiekt	Number of measu- rements / Liczba pomiarów	...	CPI.3	CPI.4	CPI.5	CPI.6	...	SPI.3	SPI.4	SPI.5	SPI.6	...
1	M.1	17	...	1,00	1,00	1,00	1,00	...	1,00	1,00	1,00	1,00	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
14	M.14	19	...	1,00	0,90	0,98	0,98	...	1,00	0,90	0,98	0,98	...

Stage V – validation of the data, which aimed to assess their correctness, completeness, consistency and compliance with the adopted criteria. Cyclic reports were compiled as part of the project oversight, based on monthly field inspections. Each subsequent report referred to previous, which made it possible to have ongoing verification of previously collected information and its correct processing. Progress protocols included information on completed works in the given and previous terms, as well as the cumulative value of works since the beginning of implementation, which allowed systematic validation of trends in the correlation between cost overruns and term delays. The research sample prepared in this way was used to test the correlation with the Pearson coefficient.

Results of correlation studies cost and term overruns using Pearson correlation coefficient

Pearson's correlation coefficient is a popular statistical measure used to assess the strength and direction of a linear relationship between two quantitative variables. It is commonly used in data analysis, allowing one to determine, how changes in one variable affect to the other, which is important when interpreting the results of the study. The value of the coefficient ranges from -1 to 1 . A value of " 1 " indicates a perfect positive correlation, " -1 " – ideal negative, and " 0 " – no linear correlation. The closer to the absolute value of 1 , the stronger the relationship between the variables. Pearson's coefficient r is calculated as the quotient of the covariance of two variables and the product of their standard deviations [24]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

Labels: X , Y – values of variables for which correlation is examined

The study used 224 observations from fourteen completed construction projects (residential buildings). For each observation, CPI and SPI were calculated according to the Earned Value Method, which formed the basis for further correlation analysis. Due to the large number of data, the following presents the course of determination of Pearson coefficients in the form of a data table presented in abbreviated form (Table 3).

The correlation significance analysis resulted in a p-value of 0.057 , assuming a significance level of 5% .

Etap V – walidacja danych, która miała na celu ocenę ich poprawności, kompletności, spójności i zgodności z przyjętymi kryteriami. W ramach nadzoru nad realizacją inwestycji sporządzano cykliczne raporty, na podstawie comiesięcznych inspekcji terenowych. Każdy kolejny raport odnosił się do poprzedniego, co umożliwiało bieżące weryfikowanie wcześniej zebranych informacji i ich poprawnego przetwarzania. Protokoły zaawansowania prac zawierały informacje o wykonanych robotach w danym i poprzednim okresie oraz o skumulowanej wartości robót od początku realizacji, co pozwalało na systematyczną walidację trendów współzależności między przekroczeniem kosztów a opóźnieniami terminów. Tak przygotowana próba badawcza posłużyła do zbadania korelacji współczynnikiem Pearsona.

Wyniki badań korelacji przekroczenia kosztu i terminu z zastosowaniem współczynnika korelacji Pearsona

Współczynnik korelacji Pearsona to popularna miara statystyczna służąca do oceny siły i kierunku liniowej zależności między dwiema zmiennymi ilościowymi. Stosowany jest powszechnie w analizie danych, pozwalając określić, jak zmiany jednej zmiennej wpływają na drugą, co ma istotne znaczenie przy interpretacji wyników badań. Wartość współczynnika mieści się w przedziale od -1 do 1 . Wartość „ 1 ” oznacza idealną dodatnią korelację, „ -1 ” – idealną ujemną, a „ 0 ” – brak liniowej zależności. Im bliżej wartości bezwzględnej 1 , tym silniejsza zależność między zmiennymi.

Współczynnik Pearsona r oblicza się jako iloraz kowariancji dwóch zmiennych i iloczynu ich odchyłeń standardowych [24]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

Oznaczenia: X , Y – wartości zmiennych, w przypadku których badana jest korelacja

W badaniu wykorzystano 224 obserwacje z czternastu zrealizowanych inwestycji budowlanych (wielorodzinne budynki mieszkalne). W przypadku każdej obserwacji obliczono wskaźniki CPI i SPI zgodnie z Metodą Wartości Wypracowanej, które stanowiły podstawę dalszej analizy korelacyjnej. Ze względu na dużą liczbę danych, poniżej zaprezentowano przebieg wyznaczania współczynników Pearsona w formie tabeli danych przedstawionej w skróconej formie (tabela 3).

W wyniku analizy istotności korelacji uzyskano wartość p-value równą $0,057$ przy założeniu poziomu istotności 5% .

**Table 3. Run of Pearson coefficient correlation test for the residential building group**

Tabela 3. Przebieg badania korelacji współczynnikiem Pearsona w przypadku grupy budynków mieszkalnych

No. /Nr	SPI	CPI	$X - X_{avg} / X - X_{sr}$	$Y - Y_{avg} / Y - Y_{sr}$	$(X - X_{avg})^2 / (X - X_{sr})^2$	$(Y - Y_{avg})^2 / (Y - Y_{sr})^2$	$(X - X_{avg})(Y - Y_{avg}) / (X - X_{sr})(Y - Y_{sr})$
1	1,00	1,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
2	1,00	1,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
3	0,77	1,00	-0,18	0,01	0,03	0,00	0,00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
222	1,02	0,98	0,07	-0,01	0,01	0,00	0,00
223	1,00	1,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
224	1,04	1,00	0,09	0,01	0,01	0,00	0,00
	0,95	0,99		Suma	22,93	0,30	-0,21
Mean values / Wartości średnie			Correlation coefficient $r = -0,08178$ / Współczynnik korelacji $r = -0,08178$				

Conclusions

The analysis enabled the formulation of significant conclusions regarding the relationship between cost overruns and schedule delays in the execution of construction works in multi-family residential buildings, both from a theoretical and practical perspective. The use of Pearson's correlation coefficient was methodologically and substantively justified. This tool made it possible to assess the strength and direction of the linear relationship between the CPI and SPI indicators, which describe the cost and time course of projects.

The study, based on 224 observations from fourteen projects, showed a weak relationship between cost and time overruns. Coefficient correlation $r = -0,08178$ and $p\text{-value} = 0,057$ (slightly above the significance threshold $\alpha = 0,05$) indicate that there is no statistically significant correlation between the analyzed variables. This means that delays were not clearly related to the budget overruns. These results are relevant to engineering practice, as they inform that the causes of overruns can be independent and stem from a variety of sources - organizational, technological, administrative or random. As a result, in the case of the implementation of residential buildings, effective time management does not always guarantee keeping costs in check. Cost overruns can occur in spite of the schedule, for example, due to design changes or increases in material prices, which account for about 70% of costs.

Despite limitations, such as the lack of an indication of cause-and-effect relationships, correlation analysis remains a useful tool for preliminary assessment of relations between variables. The results indicate the need for more in-depth analyses, such as using multivariate regression or structural equation modeling, to better reflect the complexity of investment processes.

Wnioski

Analiza pozwoliła sformułować istotne wnioski dotyczące zależności między przekroczeniem kosztu i terminu realizacji robót budowlanych w budynkach wielorodzinnych, zarówno w ujęciu teoretycznym, jak i praktycznym. Zastosowanie współczynnika korelacji Pearsona było zasadne metodycznie i merytorycznie. Narzędzie to umożliwiło ocenę siły i kierunku liniowej zależności pomiędzy wskaźnikami CPI i SPI, opisującymi przebieg kosztowy i czasowy przedsięwzięć.

Badanie na podstawie 224 obserwacji z czternastu przedsięwzięć wykazało słabą zależność między przekroczeniem kosztu i terminu. Współczynnik korelacji $r = -0,08178$ oraz $p\text{-value} = 0,057$ (nieco powyżej progu istotności $\alpha = 0,05$) wskazują na brak statystycznie istotnej korelacji między analizowanymi zmiennymi. Oznacza to, że opóźnienia nie były jednoznacznie związane z przekroczeniem budżetu. Wyniki te mają znaczenie w praktyce inżynierskiej, gdyż informują, że przyczyny przekroczeń mogą być niezależne i wynikać z różnych źródeł – organizacyjnych, technologicznych, administracyjnych lub losowych. W efekcie, w przypadku realizacji budynków wielorodzinnych, skuteczne zarządzanie czasem nie zawsze gwarantuje utrzymanie kosztów w ryzach. Ich przekroczenie może występować mimo dotrzymania harmonogramu, np. z powodu zmian projektowych czy zwiększania cen materiałów, które stanowią ok. 70% kosztów.

Mimo ograniczeń, jak brak wskazania zależności przyczynowo-skutkowej, analiza korelacyjna pozostaje przydatnym narzędziem do wstępnej oceny relacji między zmiennymi. Wyniki wskazują na potrzebę pogłębionych analiz, np. z użyciem regresji wielowymiarowej czy modelowania równań strukturalnych, aby lepiej odzwierciedlić złożoność procesów inwestycyjnych.

Received: 14.04.2025

Revised: 04.06.2025

Published: 19.09.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 17.04.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 04.06.2025 r.

Opublikowano: 19.09.2025 r.

Literature

[1] Gruszczynski M, Kuszewski T, Podgórska M. Econometrics and operations research. 1st. ed. Warsaw: Wydawnictwo Naukowe PWN. 2009.

[2] Szóstak M, Stachoń T, Konior J. Course of Cumulative Cost Curve (CCCC) as a Method of CAPEX Prediction in Selected Construction Projects. Applied Sciences. 2024; <https://doi.org/10.3390/app14135597>.

- [3] Makesh S, Mathivanan M. Analysis on causes of delay in building construction. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019;7: 335-41.
- [4] Rachid Z, Toufik B, Mohammed B. Causes of schedule delays in construction projects in Algeria. *International Journal of Construction Management*. 2019; <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1435234>.
- [5] Kowalski J, Polonski M, Lendo-Siwicka M, Trach R, Wrzesinski G. Method of assessing the risk of implementing railway investments in terms of the cost of their implementation. *Sustainability (Switzerland)*. 2021; <https://doi.org/10.3390/su132313085>.
- [6] Flyvbjerg B, Skamris Holm MK, Buhl SøL. What causes cost overrun in transport infrastructure projects? *Transp Rev*. 2004; <https://doi.org/10.1080/0144164032000080494a>.
- [7] Cantarelli CC, Molin EJE, Van Wee B, Flyvbjerg B. Characteristics of cost overruns for Dutch transport infrastructure projects and the importance of the decision to build and project phases. *Transp. Policy (Oxf)*. 2012; <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.04.001>.
- [8] Miranda Sarmiento J, Renneboog L. Cost Overruns in Public Sector Investment Projects. *Public Works Management and Policy*. 2017; <https://doi.org/10.1177/1087724X16668357>.
- [9] Senouci A, Ismail A, Eldin N. Time Delay and Cost Overrun in Qatari Public Construction Projects *Procedia Engineering*. 2016; <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.632>.
- [10] Senouci AB, Mubarak SA. Multiobjective optimization model for scheduling of construction projects under extreme weather. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2016; <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.897968>.
- [11] Hoffman GJ, Thal AE, Webb TS, Weir JD. Estimating Performance Time for Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*. 2007; [https://doi.org/10.1061/\(as-ce\)0742-597x\(2007\)23:4\(193\)](https://doi.org/10.1061/(as-ce)0742-597x(2007)23:4(193)).
- [12] Konior J, Szóstak M. Course of planned, actual and earned cost curves of diverse construction investments. *International Journal of Construction Management*. 2023; <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1942769>.
- [13] Szóstak M. Planning the time and cost of implementing construction projects using an example of residential buildings. *Archives of Civil Engineering*. 2021; <https://doi.org/10.24425/ace.2021.138497>.
- [14] Szóstak M. Best fit of cumulative cost curves at the planning and performed stages of construction projects. *Buildings*. 2023; <https://doi.org/10.3390/buildings13010013>.
- [15] Ngwenya L, Aigbavboa C, Thwala W. Critical success factors for improved organizational performance. *International Conference on Construction in the 21st Century*. 2019; https://www.researchgate.net/publication/335831229_Critical_Success_Factors_for_Improved_Organizational_Performance.
- [16] Naji K, Gunduz M, Salat F. Assessment of preconstruction factors in sustainable project management performance. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2021; <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0333>.
- [17] Zhang W, Yuan G, Xue R, Han Y, Taylor JE. Mitigating common method bias in construction engineering and management research. *J Constr Eng Manag*. 2022; [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002364](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002364).
- [18] Zhao T. Correlation and causation in construction claims. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2023; <https://doi.org/10.1061/JLADAH.LADR-979>.
- [19] Lowe DJ, Emsley MW, Harding A. Relationships between total construction cost and project strategic, site related and building definition variables. *Journal of Financial Management of Property and Construction*. 2006; <https://doi.org/10.1108/13664380680001087>.
- [20] Tran D, Bypaneni S. Impact of correlation on cost-risk analysis for construction highway projects. *Construction research congress 2016: Old and new construction technologies converge in historic San Juan – proceedings of the 2016 Construction Research Congress, CRC 2016*. 2016; <https://doi.org/10.1061/9780784479827.068>.
- [21] Koch C, Shayboun M. Sorting things out? Machine learning in complex construction project. *Proceedings of the European Conference on Computing in Construction*. 2019; <https://doi.org/10.35490/EC3.2019.161>.
- [22] Sekar G, Viswanathan K, Sambasivan M. Effects of project-related and organizational-related factors on five dimensions of project performance: a study across the construction sectors in Malaysia. *EMJ – Engineering Management Journal*. 2018; <https://doi.org/10.1080/10429247.2018.1485000>.
- [23] Polonski M, Pruszyński K, Pisarska E, Bogusz W. Managing the construction investment process. 2nd ed. Warsaw: SGGW Publishing House. 2018. available: Dec. 16, 2024; https://katalogi.bn.org.pl/permalink/48OM-NIS_NLO-.P/1aot9i7/alma9910882923005606.
- [24] Kryszicki W, Bartos J, Dyczka W, Królikowska K, Wasilewski M. Probability calculus and mathematical statistics in tasks. Warsaw: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2004.

