

Złożenie pracy online:
2026-05-20 11:21:55
Kod pracy:
54790/53492/CloudA

Krzysztof Freszel
(nr albumu: 35138)

Praca magisterska

Analiza i ocena zarządzania jakością na przykładzie projektu budowy kompleksu Data Center

Analysis and evaluation of quality management on the example of a Data Center complex construction project

Wydział: Wyższa Szkoła Biznesu - National-
Louis University

Kierunek: Zarządzanie

Specjalność: zarządzanie projektami

Promotor: prof. WSB-NLU dr hab. Dariusz Reśko

Pragnę serdecznie podziękować wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania niniejszej pracy oraz wspierały mnie w trakcie całego procesu jej tworzenia. W szczególności chciałbym wyrazić wdzięczność mojemu Promotorowi, Panu Profesorowi doktorowi hab. Dariuszowi Reško, za merytoryczne wsparcie, cenne wskazówki, cierpliwość oraz zaangażowanie na każdym etapie realizacji pracy. Jego profesjonalizm i życzliwość były dla mnie ogromnym wsparciem. Dziękuję również wszystkim wykładowcom i pracownikom naukowym Wyższej Szkoły Biznesu – National Louis University za przekazaną wiedzę, inspirację i stworzenie środowiska sprzyjającego nauce oraz rozwojowi. Szczególne podziękowania kieruję do przedstawicieli firmy TSL Projects, którzy umożliwili mi analizę rzeczywistego projektu i udostępnili niezbędne informacje oraz dokumentację. Ich otwartość i współpraca miały kluczowe znaczenie dla jakości i rzetelności mojej pracy badawczej. Na koniec pragnę podziękować moim bliskim za wsparcie, wyrozumiałość oraz motywację w trakcie całych studiów i pisanie pracy magisterskiej.

Streszczenie

Celem pracy magisterskiej jest analiza i ocena zarządzania jakością w projekcie budowy kompleksu Data Center. Projekt ten, ze względu na swoją złożoność oraz wysokie wymagania dotyczące niezawodności i bezpieczeństwa, stanowi istotny kontekst do badania skuteczności procesów jakościowych w praktyce. W części teoretycznej omówiono podstawy zarządzania jakością, ze szczególnym uwzględnieniem normy ISO 9001 oraz narzędzi takich jak plan jakości, analiza ryzyka, audyty i cykl PDCA. Część badawcza oparta została na studium przypadku rzeczywistego projektu – przeanalizowano dokumentację, raporty audytowe oraz przeprowadzono wywiady z uczestnikami projektu. Wyniki wykazały, że kluczowymi czynnikami wpływającymi na jakość realizacji są: odpowiednie planowanie, bieżący nadzór, kontrola niezgodności oraz skuteczna komunikacja między interesariuszami. Zidentyfikowano także obszary wymagające usprawnień, m.in. zarządzanie zmianą i zaangażowanie podwykonawców. Sformułowano praktyczne rekomendacje, które mogą poprawić efektywność zarządzania jakością w przyszłych projektach infrastrukturalnych o podobnym charakterze.

Słowa kluczowe

zarządzanie jakością, Data Center, ISO 9001, projekt budowlany, kontrola jakości

Abstract

The aim of this master's thesis is to analyze and evaluate quality management practices in the construction project of a Data Center complex. Due to its complexity and high requirements regarding reliability, security, and continuity of operations, the project provided a valuable context for studying the effectiveness of quality processes in practice. The theoretical part of the thesis presents the foundations of quality management, with particular emphasis on the ISO 9001 standard and tools such as quality planning, risk analysis, audits, and the PDCA cycle. The empirical part was based on a case study of a real Data Center construction project. It included an analysis of project documentation, audit reports, and semi-structured interviews with project participants. The findings indicate that key factors influencing quality included proper planning, ongoing supervision, non-conformance control, and effective communication between stakeholders. Areas for improvement were also identified, such as change management and subcontractor involvement in quality assurance processes. The thesis concludes with practical recommendations aimed at improving the effectiveness of quality management in future infrastructure projects of similar scale and complexity.

Keywords

quality management, Data Center, ISO 9001, construction project, quality control



Wyższa Szkoła Biznesu – National Louis University

Praca magisterska

**Analiza i ocena zarządzania jakością na przykładzie projektu
budowy kampusu Data Center**

Autor: Krzysztof Freszel

Promotor: prof. WSB-NLU dr hab. Dariusz Reśko

Nowy Sącz, 2026

Spis treści

Spis treści.....	2
Wstęp	3
Rozdział 1. Podstawy zarządzania jakością.....	12
1.1 Definicje i koncepcje jakości	13
1.2 Systemy zarządzania jakością.....	18
1.3 Normy i standardy jakości	21
1.4 Teoria zarządzania w kontekście budowy Data Center	25
1.5 Dojrzałość organizacyjna systemu zarządzania jakością i miary jego efektywności....	34
Rozdział 2. Charakterystyka projektu budowy kampusu Data Center	35
2.1 Opis projektu.....	38
2.2 Interesariusze projektu	43
2.3 Uwarunkowania techniczne i organizacyjne	48
2.4 Skalowalność i etapowanie inwestycji.....	52
Rozdział 3. Analiza zarządzania jakością w projekcie	56
3.1 Metody oceny jakości	63
3.2 Narzędzia monitorowania jakości.....	71
3.3 Identyfikacja problemów i niezgodności	81
3.4 Benchmarki z porównywalnymi kampusami w Europie i na świecie	88
Rozdział 4. Ocena efektywności zarządzania jakością.....	91
4.1 Analiza wyników... ..	98
4.2 Wnioski z oceny jakości	107
4.3 Wnioski z konferencji branżowych i forów regionalnych.....	118
Zakończenie	120
Bibliografia	126

Wstęp

Uzasadnienie wyboru tematu: Data Center jako cyfrowy fundament nowoczesnej gospodarki.

Współczesna gospodarka światowa znajduje się w fazie czwartej rewolucji przemysłowej, w której dane przestały być jedynie produktem ubocznym procesów biznesowych, a stały się ich najcenniejszym aktywem. Gwałtowna adaptacja technologii sztucznej inteligencji (AI), uczenia maszynowego, Internetu Rzeczy (IoT) oraz rozwój sieci 5G doprowadziły do bezprecedensowego przyrostu generowanych informacji. Według szacunków globalnych ośrodków analitycznych, ilość danych wytwarzanych na świecie rośnie w tempie wykładniczym, co rodzi konieczność budowy infrastruktury zdolnej do ich bezpiecznego przechowywania i błyskawicznego przetwarzania. W tym kontekście kampusy Data Center przestały być postrzegane jako zwykłe obiekty magazynowe dla sprzętu IT – stały się strategicznymi węzłami infrastruktury krytycznej, od których zależy stabilność systemów bankowych, opieki zdrowotnej, administracji państwowej oraz globalnego handlu.

Wybór tematyki zarządzania jakością w procesie budowy takich obiektów wynika z ich unikalnej specyfiki technicznej. W przeciwieństwie do tradycyjnego budownictwa kubaturowego, realizacja Data Center przypomina bardziej montaż skomplikowanej maszyny o ogromnej skali niż wznoszenie budynku biurowego. Jest to środowisko, w którym inżynieria budowlana (CSA – *Civil, Structural, Architectural*) musi zostać perfekcyjnie zintegrowana z zaawansowanymi systemami zasilania gwarantowanego (Electrical) oraz klimatyzacji precyzyjnej (Mechanical). Każdy błąd na etapie wykonawczym – od nieszczelności w systemie chłodzenia po wadliwe połączenie w rozdzielniach średniego napięcia – niesie za sobą ryzyko katastrofalne w skutkach. W literaturze przedmiotu (np. PM Group, 2023) podkreśla się, że koszt godziny przestoju (*downtime*) w nowoczesnym centrum danych może wynosić od kilkuset tysięcy do kilku milionów dolarów, nie licząc trudnych do oszacowania strat wizerunkowych i prawnych.

Kontekst rynkowy: Polska jako hub technologiczny CEE

Analiza zarządzania jakością w tym sektorze jest szczególnie istotna z perspektywy rynku polskiego. Jak wynika z raportu Knight Frank (2024), Warszawa i jej okolice umocniły swoją pozycję jako kluczowy rynek drugiego rzędu (*Secondary Market*) w Europie, wykazując najwyższą dynamikę wzrostu wśród krajów Europy Środkowo-Wschodniej. Wejście globalnych gigantów technologicznych, takich jak Google i Microsoft, którzy zainwestowali miliardy dolarów w polskie regiony chmury, wymusiło na lokalnym rynku budowlanym skokową adaptację do najwyższych światowych standardów.

Zgodnie z danymi PMR (2024), całkowita moc krytyczna dostępna w polskich centrach danych systematycznie rośnie, a prognozy na lata 2024–2029 przewidują dalszą intensyfikację inwestycji typu *hyperscale*. Realizacja tak wielkoskalowych projektów,

często przekraczających 50MW mocy zainstalowanej IT, stawia przed generalnymi wykonawcami i kadrą zarządzającą jakością wyzwania, które nie występują w innych sektorach budownictwa. Zarządzanie jakością musi tutaj obejmować nie tylko zgodność z polskim Prawem Budowlanym, ale przede wszystkim rygorystyczne wytyczne inwestorów oraz międzynarodowe certyfikacje, takie jak standardy Uptime Institute (Uptime Institute, 2018).

Certyfikacja Uptime Institute, choć najbardziej znana ze swojej klasyfikacji od Tier I do Tier IV, obejmuje znacznie więcej niż tylko projekt i obiekt. Uptime Institute udostępnia również certyfikaty dla operatorów (Management & Operations Certification – M&O), które weryfikują dojrzałość procesów zarządzania i operacji w fazie eksploatacji. Dla inwestorów i klientów Data Center, certyfikat M&O stanowi gwarancję, że obiekt nie tylko jest zaprojektowany i zbudowany poprawnie, lecz jest również zarządzany przez kompetentny team operacyjny. W perspektywie projektu DCB, uzyskanie certyfikatu M&O po oddaniu obiektu do eksploatacji będzie naturalnym następstwem wdrożonego systemu zarządzania jakością realizacji – ponieważ wiele procesów dokumentacyjnych i operacyjnych jest tożsamych (Uptime Institute, 2018).

Skalę wymagań commissioningowych dla certyfikacji Tier III ilustruje fakt, że typowy raport commissioningowy dla jednego budynku Data Center zajmuje od 500 do 2000 stron, zawierając protokoły setek lub tysięcy testów. Każdy test musi być udokumentowany z podaniem wymagania, metody testowej, wyników pomiarów, obserwacji i podpisów odpowiedzialnych osób. Raport commissioningowy jest jednym z kluczowych dokumentów przekazywanych Inwestorowi przy odbiorze obiektu i stanowi podwaliny certyfikacji Uptime Institute Constructed Facility. System zarządzania jakością musi zapewniać, że każdy test jest przeprowadzony i udokumentowany we właściwym czasie, przy udziale wymaganych świadków i z użyciem wzorcowanych przyrządów pomiarowych (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021).

Jakość jako gwarant efektywności energetycznej

Należy również zauważyć, że w dobie kryzysu energetycznego i rosnącej presji na raportowanie ESG (Environmental, Social, and Governance), jakość wykonania Data Center stała się bezpośrednio skorelowana z jego ekologicznością. Parametr PUE (*Power Usage Effectiveness*), będący kluczowym wskaźnikiem sprawności obiektu, jest w dużej mierze determinowany przez precyzję montażu instalacji i szczelność komór serwerowych.

$PUE = \text{Całkowita energia dostarczona do obiektu} / \text{Energia zużyta przez urządzenia IT}$

$WUE = \text{Roczne zużycie wody przez obiekt (l)} / \text{Roczne zużycie energii przez sprzęt IT}$

Osiągnięcie wskaźnika PUE na poziomie poniżej 1.2, co jest obecnie pożądanym standardem dla nowoczesnych kampusów, wymaga niemal aptekarskiej dokładności w procesach Quality Control (QC). Każda niedoskonałość w izolacji termicznej czy niewłaściwa kalibracja systemów BMS (Building Management System) prowadzi do marnotrawstwa energii, co w skali kampusu generuje ogromne koszty operacyjne i

zwiększa ślad węglowy. Równoległym wskaźnikiem efektywności środowiskowej jest WUE (Water Usage Effectiveness), określający roczne zużycie wody przez obiekt w przeliczeniu na jednostkę energii zużytej przez sprzęt IT. PUE i WUE pozostają w odwrotnej zależności: systemy ewaporacyjnego chłodzenia wodą obniżają PUE, lecz znacząco podwyższają WUE, podczas gdy chłodzenie powietrzem (free-cooling) może zredukować WUE niemal do zera kosztem wyższego PUE. Zarządzanie jakością musi uwzględniać oba wskaźniki jako równorzędne cele projektowe, balansowane z uwzględnieniem lokalnego klimatu i dostępności zasobów wodnych.

Podsumowując, podjęcie tematu analizy zarządzania jakością w projekcie Data Center jest uzasadnione nie tylko naukową potrzebą systematyzacji procesów QA/QC w budownictwie wysokotechnologicznym, ale przede wszystkim palącą potrzebą rynkową. W dobie "wyścigu zbrojeń" w zakresie mocy obliczeniowej dla AI, to właśnie jakość i niezawodność infrastruktury stają się główną przewagą konkurencyjną na globalnym rynku cyfrowym.

Problem badawczy i cel pracy

Głównym problemem badawczym niniejszej pracy jest analiza skuteczności mechanizmów zarządzania jakością w procesie realizacji tak specyficznego i złożonego obiektu, jakim jest kampus Data Center. Tradycyjne podejście do jakości w budownictwie często okazuje się niewystarczające w obliczu wymagań redundancji, w tym standardów Uptime Institute, oraz konieczności integracji wielu branż technologicznych w bardzo krótkim czasie.

Celem pracy jest analiza i ocena systemu zarządzania jakością na przykładzie konkretnego projektu budowy kampusu Data Center. Praca ma dowieść, że odpowiednio zaprojektowany proces jakościowy – obejmujący nie tylko normy ISO, ale i specyficzne narzędzia monitorowania – jest decydującym czynnikiem ograniczającym ryzyko inwestycyjne oraz zapewniającym wysoką efektywność energetyczną i środowiskową obiektu (PUE – Power Usage Effectiveness oraz WUE – Water Usage Effectiveness).

W toku badań postawiono następujące hipotezy:

1. Wysoka jakość wykonania instalacji krytycznych w projekcie Data Center zależy bezpośrednio od wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania jakością, wykraczającego poza standardowe wymagania ISO 9001.
2. Zastosowanie nowoczesnych narzędzi monitorowania, takich jak systemy raportowania niezgodności NCR oraz koordynacja międzybranżowa, znacząco redukuje liczbę usterek na etapie końcowych testów (Commissioning).
3. Skuteczne zarządzanie jakością na etapie realizacji projektu kampusu Data Center — poprzez rygorystyczny nadzór nad wykonaniem instalacji energetycznych, systemów chłodzenia oraz automatyki budynkowej (BMS/DCIM) — ma bezpośredni wpływ na osiągnięcie projektowanego wskaźnika efektywności energetycznej PUE (Power Usage Effectiveness) w fazie operacyjnej obiektu.

Wysoka jakość wykonania systemów krytycznych ogranicza straty energetyczne wynikające z usterek i odchyień od projektu, tym samym minimalizując ryzyko przekroczenia docelowego poziomu PUE. Uzupełniająco, analogiczna zależność dotyczy wskaźnika WUE (Water Usage Effectiveness), jednak ze względu na dominującą rolę efektywności energetycznej w ocenie Data Center klasy hyperscale, wskaźnik PUE pozostaje podstawowym kryterium weryfikacji tej hipotezy (Uptime Institute, 2018; CENELEC, 2019).

Metodyka badań

Praca została przygotowana w oparciu o metodę studium przypadku (case study) w rozumieniu Yina (2018), który definiuje ją jako empiryczne badanie współczesnego zjawiska osadzonego w jego rzeczywistym kontekście, szczególnie właściwe wtedy, gdy granica między zjawiskiem a kontekstem nie jest wyraźna. Wybór tej metody jest uzasadniony charakterem przedmiotu badania: projekt Hyperscale Data Center Bełchatów (DCB) stanowi unikalny, złożony przypadek, którego nie da się zrozumieć w oderwaniu od kontekstu technicznego, organizacyjnego i rynkowego. Studium przypadku pozwala na uchwycenie tej złożoności w sposób, który metody ilościowe – wymagające dużych prób i standaryzacji zmiennych – nie byłyby w stanie zapewnić (Yin, 2018; Eisenhardt, 1989).

Pytania badawcze i ich operacjonalizacja

Na podstawie celu pracy sformułowano trzy główne pytania badawcze, które organizują strukturę rozdziałów empirycznych i wyznaczają dobór metod:

PB1: W jaki sposób system zarządzania jakością projektu DCB realizuje wymagania wykraczające poza normę ISO 9001, i jakie mechanizmy szczegółowe — commissioning, rejestr NCR, ITP — decydują o jego skuteczności w kontekście instalacji krytycznych? (rozd. 3.1–3.3; metoda: obserwacja uczestnicząca + analiza dokumentacji)

PB2: Jak system zarządzania jakością DCB ocenia się na tle najlepszych praktyk branżowych (best practice), jakie luki procesowe istnieją i jakie rekomendacje z nich wynikają? (rozd. 3.4, 4.1; metoda: benchmarking strategiczny + analiza luk + SWOT/IFE/EFE)

PB3: Jaki jest związek między jakością wykonania instalacji energetycznych i systemów chłodzenia a projektowanymi wskaźnikami efektywności PUE i WUE w fazie operacyjnej obiektu? (rozd. 4.2; metoda: analiza KPI + triangulacja z danymi benchmarkowymi)

Metody i narzędzia badawcze

Dla każdego pytania badawczego dobrano odrębne metody i narzędzia, tworząc wielometodowy projekt badawczy (mixed-methods design). Takie podejście wzmacnia trafność wniosków poprzez triangulację źródeł i metod — zasadę, zgodnie z którą wniosek uznaje się za dobrze ugruntowany wtedy, gdy jest potwierdzony co najmniej dwoma niezależnymi źródłami lub metodami (Denzin, 1978; Yin, 2018).

Metoda 1 — Obserwacja uczestnicząca (participant observation): autor pracy pełni funkcję Kierownika Projektu DCB, co zapewnia bezpośredni i ciągły dostęp do procesów zarządzania jakością. Obserwacja jest ukierunkowana i selektywna: koncentruje się na mechanizmach commissioningu (poziomy L1–L5), obiegu NCR, koordynacji branżowej w systemie CDE oraz przebiegu spotkań jakościowych. Wyniki obserwacji są systematycznie konfrontowane z dokumentacją projektową i danymi branżowymi w celu eliminacji subiektywizmu perspektywy uczestnika (Yin, 2018; PM Group, 2023).

Metoda 2 — Analiza dokumentacji: przedmiotem analizy są publicznie dostępne standardy branżowe (Uptime Institute Tier Standard, ANSI/TIA-942, EN 50600, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015), raporty PM Group (2023), dokumenty konferencyjne (Gateway Poland 2026, VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego) oraz komunikaty inwestycyjne dotyczące projektu DCB. Ze względu na klauzule poufności właściwe dla projektów hyperscale, wewnętrzna dokumentacja projektowa (QMP, ITP, rejestry NCR) jest przywoływana w postaci uogólnionej, bez ujawniania danych wrażliwych. Metoda ta operacjonalizuje PB1 i PB3.

Metoda 3 — Benchmarking strategiczny i procesowy: zdefiniowany przez Campa (1989) jako systematyczny proces porównywania własnych praktyk z najlepszymi w branży w celu identyfikacji luk i kierunków doskonalenia. W pracy zastosowano benchmarking dwupoziomowy: (a) strategiczny — porównanie parametrów siedmiu projektów hyperscale (Tabela 1); (b) procesowy z analizą luk — ocena ośmiu kryteriów QA względem wzorca best practice (Tabela 2). Metoda operacjonalizuje PB2.

Metoda 4 — Analiza SWOT zintegrowana z macierzami IFE/EFE: klasyczna analiza strategiczna uzupełniona o ilościowe rangowanie czynników (David, 2011). Macierz IFE kwantyfikuje pozycję wewnętrzną systemu QA (mocne strony i słabości), macierz EFE — pozycję zewnętrzną (szanse i zagrożenia). Wagi i oceny czynników wynikają z syntezy obserwacji uczestniczącej, analizy dokumentacji i danych benchmarkowych, co stanowi przykład triangulacji metodologicznej. Metoda operacjonalizuje PB2.

Metoda 5 — Analiza wskaźnikowa KPI (Key Performance Indicators): porównanie wartości docelowych wskaźników jakości projektu DCB z benchmarkami branżowymi (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018). Wskaźniki podzielono na dwie grupy: jakości wykonawstwa (FPY, NCR Density, czasy zamknięcia NCR) oraz efektywności energetycznej i środowiskowej (PUE, WUE), bezpośrednio powiązane z hipotezą H3. Metoda operacjonalizuje PB3.

Triangulacja źródeł i ograniczenia metodologiczne

Triangulację danych osiągnięto przez równoległe stosowanie trzech typów źródeł: (1) źródła pierwotne — obserwacja uczestnicząca autora jako Kierownika Projektu; (2) źródła wtórne wewnętrzne — dokumentacja projektowa przywoływana w formie zanonimizowanej; (3) źródła wtórne zewnętrzne — raporty branżowe, standardy,

publikacje konferencyjne i medialne. Wniosek uznaje się za dobrze ugruntowany, gdy wynika z co najmniej dwóch typów źródeł. Każda z zastosowanych metod badawczych jest powiązana *explicite* z pytaniem badawczym i odpowiadającym mu rozdziałem empirycznym, co zapewnia spójność między metodologią a strukturą wyводу (Denzin, 1978; Yin, 2018).

Ograniczenia metodologiczne są trzy. Po pierwsze, projekt DCB jest w fazie wczesnowykonawczej, co uniemożliwia pełną weryfikację hipotezy H3 dotyczącej fazy operacyjnej — ta wymaga danych PUE/WUE dostępnych po ~2029. Po drugie, obserwacja uczestnicząca generuje ryzyko subiektywizmu perspektywy uczestnika, mitygowane przez triangulację z danymi zewnętrznymi. Po trzecie, klauzule poufności ograniczają prezentację szczegółowych danych liczbowych projektu DCB — stąd posługiwanie się wartościami docelowymi i benchmarkami branżowymi zamiast danymi operacyjnymi. Ograniczenia te są zgodne ze standardem metodologicznym studium przypadku w fazie realizacyjnej projektu (Yin, 2018; PMI, 2021).

Struktura pracy

Układ pracy został zaprojektowany tak, aby przeprowadzić czytelnika od ogólnych teorii jakości do szczegółowej oceny konkretnej realizacji.

Rozdział pierwszy koncentruje się na teoretycznych podstawach zarządzania jakością. Przedstawiono w nim definicje i koncepcje jakości, ewolucję systemów zarządzania oraz kluczowe normy (m.in. ISO 9001) i standardy branżowe, które stanowią ramy formalne dla współczesnych procesów inwestycyjnych.

Rozdział drugi stanowi charakterystykę badanego projektu budowy kampusu Data Center. Opisano w nim zakres inwestycji, zidentyfikowano kluczowych interesariuszy (inwestorów, wykonawców, dostawców systemów krytycznych) oraz przeanalizowano specyficzne uwarunkowania techniczne i organizacyjne, które odróżniają ten typ projektu od standardowych realizacji budowlanych.

Rozdział trzeci poświęcono analizie zarządzania jakością w badanym projekcie. Skupiono się tu na praktycznych aspektach: metodach oceny jakości, narzędziach monitorowania (takich jak inspekcje terenowe, testy FAT/SAT) oraz procesie identyfikacji problemów i niezgodności. W rozdziale tym pokazano, jak teoria z rozdziału pierwszego przekłada się na realne działania kontrolne na placu budowy.

Rozdział czwarty zawiera ocenę efektywności przyjętego systemu zarządzania jakością. Na podstawie analizy wyników testów i statystyk niezgodności sformułowano wnioski końcowe dotyczące skuteczności procedur oraz wskazano rekomendacje, które mogą zostać wykorzystane przy przyszłych realizacjach podobnych kampusów technologicznych.

Praca stanowi próbę syntezy wiedzy z zakresu zarządzania projektami, inżynierii budowlanej oraz technologii IT, odpowiadając na realne potrzeby rynkowe w dobie intensywnej rozbudowy cyfrowego kręgosłupa gospodarki.

Przedmiot studium przypadku: Hyperscale Data Center Bełchatów

Praca opiera się na analizie konkretnej, planowanej obecnie inwestycji – projektu Hyperscale Data Center Bełchatów (DCB), realizowanego przez spółkę Bełchatów Data Center Sp. z o.o. Inwestycja została publicznie ogłoszona w pierwszym kwartale 2026 roku i stanowi jedno z największych przedsięwzięć infrastruktury cyfrowej w historii regionu Europy Środkowo-Wschodniej. Według publicznie dostępnych informacji, planowany kampus zlokalizowany w Domiechowicach (gmina Bełchatów, powiat bełchatowski, województwo łódzkie) zajmie obszar ponad 50 hektarów, a jego docelowa moc przyłączeniowa wyniesie 500 MW (Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; Investmap, 2026; Data Center Dynamics [DCD], 2026). Pierwszy obiekt kampusu ma być gotowy do uruchomienia ok. 2029 roku (ebelchatow.pl, 2026).

Wybór tej inwestycji jako przedmiotu studium przypadku wynika z kilku przesłanek. Po pierwsze, DCB stanowi reprezentatywny przykład projektu hyperscale w polskich realiach – tego typu inwestycje pojawiają się w naszym kraju dopiero od kilku lat i każdy nowy projekt tej skali wnosi istotne doświadczenia branżowe (Polski Związek Centrów Danych [PLDCA], 2026). Po drugie, projekt znajduje się w fazie planistycznej i wczesnowykonawczej, co pozwala na bezpośrednią obserwację mechanizmów zarządzania jakością w trakcie ich kształtowania. Po trzecie, lokalizacja inwestycji – w sąsiedztwie największego polskiego ośrodka energetycznego oraz nowoczesnego Głównego Punktu Zasilającego (GPZ) Kurnos i stacji Rogowiec – stanowi unikalny przypadek synergii pomiędzy tradycyjnym sektorem energetycznym a nową gospodarką cyfrową (ebelchatow.pl, 2026; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026).

W kwietniu 2026 roku autor niniejszej pracy, jako Kierownik Projektu Bełchatów Data Center Sp. z o.o., wziął udział w VII Forum Gospodarczym Powiatu Bełchatowskiego (21 kwietnia 2026), gdzie jako pierwszy z prelegentów zaprezentował kluczowe założenia projektu w kontekście transformacji gospodarczej regionu (Powiat Bełchatowski, 2026a). Wystąpienie zostało wygłoszone w panelu „Wielkie inwestycje w Polsce – jak firmy z regionu mogą w nich uczestniczyć”, obok przedstawicieli Centralnego Portu Komunikacyjnego oraz innych strategicznych projektów krajowych. Dodatkowym źródłem materiału empirycznego są doświadczenia z konferencji Gateway Poland 2026 (14–15 kwietnia 2026, Warszawa, hotel Crowne Plaza), zorganizowanej przez Polski Związek Centrów Danych (PLDCA, 2026; IT Reseller, 2026).

Aktualny stan rynku data center w Polsce i Europie

Rynek centrów danych w Polsce wykazuje wyjątkową dynamikę. Według danych Polskiego Stowarzyszenia Centrów Danych, sektor rośnie średniorocznie o 19,8 procent od 2020 roku (PMR, 2024; ITwiz, 2026). Wśród zapowiedzianych inwestycji można wymienić, oprócz analizowanego projektu DCB: planowany przez WBS Power kampus Baltic Data Center Campus o docelowej mocy 3,2 GW w Lubiewie pod Gdańskiem (Construction Digital, 2026), inwestycję Cisco w Krakowie o mocy 4 MW, projekt 50 MW realizowany przez DL Invest Group w Bielsku-Białej oraz 130 MW kampus Hillwood na południowy wschód od Warszawy (DCD, 2026). Według zapowiedzi

inwestycyjnych Data4, do 2030 roku inwestycje tej grupy w Polsce mają sięgnąć ponad 2,5 miliarda złotych (CRN, 2026).

Globalnie branża data center przechodzi obecnie transformację o charakterze fundamentalnym. Według analiz Datacenters.com (2026), współczesne kampusy hyperscale przekraczają 500 MW mocy zainstalowanej, a długoterminowe mapy drogowe sięgają jednego gigawata lub więcej. Wśród flagowych projektów europejskich należy wymienić Sines Start Campus w Portugalii (1,2 GW, zasilany w 100 procentach energią odnawialną) (Data Centre Magazine, 2025), Pure DC Westpoort w Amsterdamie (78 MW, największa europejska transakcja standalone hyperscale w 2025 roku) (Data Center Knowledge [DCK], 2026a), oraz Pure DC Dublin z pierwszą w Europie 110 MW mikrosiecią dla data center (DCK, 2026b). W Stanach Zjednoczonych dominują kampusy gigawatowe: 900 MW kampus Crusoe w Abilene (Texas) dla obciążeń Microsoft, 1 GW kampus Meta w El Paso (10 mld USD inwestycji), 1,2 GW kampus T5 w Grayslake pod Chicago (DCK, 2026b; AI CERTs, 2025).

W tak skonstruowanym otoczeniu rynkowym projekt DCB nie tylko stanowi największą tego typu inwestycję w Europie Środkowo-Wschodniej, ale reprezentuje konkretny model rozwoju – kampus dużej skali (rzędu 500 MW), realizowany w sposób etapowany (phased delivery), zlokalizowany w pobliżu istniejącej infrastruktury energetycznej oraz wpisujący się w transformację regionu pogórniczego. Tak ujęty kontekst rynkowy pokazuje, że analiza prowadzona w niniejszej pracy ma znaczenie wykraczające poza pojedyncze studium przypadku – dotyczy bowiem fenomenu, który definiuje obecnie rozwój infrastruktury cyfrowej w skali regionalnej i kontynentalnej (Datacenters.com, 2026; Blackridge Research, 2026).

Polska jako hub data center w Europie Środkowej

Analitycy branżowi zgodnie wskazują, że Polska staje się jednym z kluczowych rynków data center w Europie Środkowej. Według PLDCA (2026), skumulowana moc polskiego rynku data center przekroczyła w 2025 roku 400 MW, a prognozy na 2030 rok zakładają przekroczenie 2 GW – co oznaczałoby pięciokrotny wzrost w ciągu pięciu lat. Czynniki napędzające ten wzrost to: rosnące zapotrzebowanie na moc obliczeniową dla AI, transformacja cyfrowa polskich przedsiębiorstw i administracji publicznej oraz strategiczne zainteresowanie globalnych operatorów hyperscale polskim rynkiem jako centrum dla Europy Środkowej i Wschodniej (PMR, 2024; PLDCA, 2026).

W tym kontekście projekt DCB nie jest jedynie lokalną inwestycją, lecz pionierem nowego etapu polskiego sektora data center. Sukces lub porażka systemu zarządzania jakością DCB będzie obserwowana przez kolejnych inwestorów rozważających podobne projekty w Polsce i regionie. Pozytywne doświadczenia mogą przekonać kolejnych globalnych inwestorów do lokowania projektów hyperscale w Polsce; negatywne – skierować ich do Litwy, Czech czy Rumunii, które aktywnie konkurują o te inwestycje. Ta stawka strategiczna nadaje systemowi zarządzania jakością DCB wymiar, który daleko wykracza poza zarządzanie jednym projektem (PLDCA, 2026; Greenfields, 2026; IT Reseller, 2026).

Perspektywicznie, warto zastanowić się nad scenariuszem, w którym projekt DCB rzeczywiście osiąga swoje cele jakościowe i harmonogramowe. Pierwsza przestrzeń COLO jest uruchamiana w 2029 roku zgodnie z planem; pierwszy klient operatorski przenosi swoje systemy do kampusu w Bełchatowie; kolejne przestrzenie COLO i kolejne budynki są oddawane w rytmie kilku na rok. Do 2035 roku kampus działa w połowie swojej docelowej mocy, z rzetelną dokumentacją powykonawczą, dobrze wyszkolonymi operatorami i zadowolonymi klientami. Taki scenariusz nie jest utopią – jest osiągalny, jeśli system zarządzania jakością zostanie odpowiednio zaprojektowany, wdrożony i konsekwentnie utrzymany. Jest to jednak scenariusz wymagający ciągłej uwagi, ciągłego doskonalenia i ciągłego inwestowania w kompetencje ludzi realizujących projekt. W tym sensie zarządzanie jakością jest nie tyle zestawem procedur, co zobowiązaniem: zobowiązaniem inwestora, wykonawcy i całego łańcucha dostaw do realizacji projektu na najwyższym możliwym poziomie, z pełną świadomością jego znaczenia dla regionu, kraju i sektora. Niniejsza praca jest krokiem na drodze do spełnienia tego zobowiązania – próbą systematycznego ujęcia wiedzy, którą warto przekazać kolejnym uczestnikom polskiej rewolucji infrastruktury cyfrowej (ebelchatow.pl, 2026; PLDCA, 2026; PMR, 2024).

Metodologia pracy i źródła informacji

Praca opiera się na trzech komplementarnych źródłach materiału. Pierwszym są publicznie dostępne informacje o projekcie DCB – komunikaty inwestora, ogłoszenia administracji publicznej (Łódzki Urząd Wojewódzki, gmina Bełchatów, powiat bełchatowski), publikacje branżowe (DCD, ITwiz, Construction Digital, DCK, Data Centre Magazine) oraz materiały konferencyjne (VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego, Gateway Poland 2026). Drugim są dane porównawcze z innych projektów hyperscale w Polsce, Europie i na świecie. Trzecim są klasyczne i współczesne publikacje teoretyczne z zakresu zarządzania jakością (Deming, 1986; Juran, 1992; Crosby, 1979; Ishikawa, 1985; Feigenbaum, 1991; Senge, 1990; Mitchell et al., 1997) oraz dokumenty normatywne i standardy branżowe (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021; AXELOS, 2017; ISO, 2015a, 2015b, 2015c, 2018).

W niniejszej pracy zastosowano styl cytowania APA 7 (American Psychological Association, 7th edition), który stanowi obowiązujący standard w pracach dyplomowych Wyższej Szkoły Biznesu – National Louis University. Cytowania w tekście umieszczone są w nawiasach z uwzględnieniem nazwiska autora oraz roku publikacji, a w przypadku przywołań dosłownych – również numeru strony. Pełna lista wykorzystanych źródeł znajduje się w rozdziale Bibliografia, podzielona na sekcje tematyczne: opracowania zwarte i artykuły naukowe, normy i standardy branżowe, raporty branżowe i analizy rynkowe, akty prawne, oraz źródła internetowe i publikacje branżowe online.

Niniejsza praca powstawała w specyficznych warunkach: jej autor jest jednocześnie praktykiem tj. kierownikiem projektu DCB i badaczem analizującym projekt, którego jest częścią. Ta podwójna rola – będąca zarówno zaletą (bezpośredni dostęp do informacji), jak i wyzwaniem metodologicznym (ryzyko subiektywizmu) – jest

w literaturze naukowej określana jako action research lub badanie w działaniu. W odpowiedzi na to wyzwanie, autor świadomie dąży do obiektywizacji swoich obserwacji poprzez odniesienie do danych publicznych, benchmarków branżowych i klasycznych teorii zarządzania jakością. Jednocześnie przyjmuje, że subiektywny wymiar perspektywy praktyka jest nie słabością, lecz wartością pracy: dostarcza wglądu w realia projektu, który byłby niedostępny dla zewnętrznego badacza. W tym sensie niniejsza praca wpisuje się w tradycję practitioner research – badań prowadzonych przez praktyków dla praktyki, w celu lepszego rozumienia i doskonalenia własnego działania (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Rozdział 1. Podstawy zarządzania jakością

Zarządzanie jakością w nowoczesnym procesie inwestycyjnym przestało być traktowane jedynie jako zestaw procedur kontrolnych, a stało się integralnym elementem strategii zarządzania projektami. W dobie czwartej rewolucji przemysłowej (Industry 4.0), gdzie obiekty budowlane stają się coraz bardziej nasycone zaawansowaną technologią, jakość definiuje się nie tylko przez pryzmat trwałości konstrukcji, ale przede wszystkim przez niezawodność i sprawność systemów, które tę konstrukcję wypełniają.

Współczesne podejście do zarządzania jakością wywodzi się z wieloletniej ewolucji – od prostej inspekcji produktów końcowych, przez statystyczne sterowanie procesami, aż po koncepcję **Total Quality Management (TQM)**, która zakłada odpowiedzialność za jakość na każdym szczeblu organizacji. W budownictwie specjalistycznym, a w szczególności w infrastrukturze krytycznej, jaką są centra danych, paradygmat ten ulega dalszemu zaostreniu. Jakość jest tutaj postrzegana jako wypadkowa trzech głównych wektorów: zgodności z rygorystycznymi normami bezpieczeństwa, efektywności energetycznej oraz odporności na awarie, czyli rezyliencji.

Wdrożenie skutecznego systemu zarządzania jakością w tak złożonym środowisku jak budowa kampusu Data Center wymaga od kadry menedżerskiej i inżynierskiej zrozumienia, że jakość nie jest zdarzeniem jednorazowym, lecz ciągłym procesem, który zaczyna się już w fazie koncepcyjnej, a kończy wraz z wycofaniem obiektu z eksploatacji. W rozdziale tym przybliżono teoretyczne filary tego procesu, które stanowią niezbędny punkt odniesienia dla oceny działań praktycznych podjętych w analizowanym projekcie.

Kluczowe znaczenie dla zrozumienia mechanizmów jakościowych ma rozróżnienie między działaniami zapobiegawczymi (**Quality Assurance**) a weryfikacyjnymi (**Quality Control**). O ile tradycyjne budownictwo często skupiało się na tym drugim aspekcie, o tyle projekty o wysokim stopniu skomplikowania technologicznego wymagają dominacji podejścia zapewniającego jakość już na etapie planowania i koordynacji międzybranżowej. Poniższe podrozdziały szczegółowo opisują definicje, systemy oraz normy, które tworzą spójny język techniczny i organizacyjny dla wszystkich interesariuszy zaangażowanych w proces tworzenia nowoczesnych centrów danych.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że pojęcie „jakości” w budownictwie infrastruktury krytycznej uległo w ciągu ostatnich dwóch dekad zasadniczej ewolucji. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku przez jakość rozumiano przede wszystkim zgodność z dokumentacją projektową oraz obowiązującymi normami krajowymi. Tymczasem współczesna interpretacja tego pojęcia – zwłaszcza w sektorze Data Center – uwzględnia także wymiar funkcjonalny (czy obiekt spełnia zakładane parametry operacyjne), energetyczny (jaka jest jego efektywność wyrażona wskaźnikiem PUE) oraz środowiskowy (jakie jest zużycie wody w procesach chłodzenia, wyrażone wskaźnikiem WUE – Water Usage Effectiveness). Tak szeroka definicja jakości wymaga od zespołów zarządzających projektem nie tylko wiedzy budowlanej, ale także kompetencji z zakresu inżynierii elektrycznej, mechanicznej, telekomunikacyjnej oraz technologii informacyjnych. Ewolucja ta jest odzwierciedlona zarówno w normach serii EN 50600, które explicite włączają wskaźniki efektywności energetycznej do kryteriów jakości obiektów Data Center, jak i w standardach Uptime Institute (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018; PM Group, 2023).

Szczególnie istotnym aspektem jest tak zwana jakość wbudowana built-in quality, która zakłada, że wymagania jakościowe muszą być uwzględniane na każdym etapie łańcucha decyzyjnego: od projektu koncepcyjnego, przez projektowanie szczegółowe i zamówienia materiałowe, aż po wykonawstwo i testy odbiorcze. Taka filozofia stoi w opozycji do tradycyjnego podejścia, w którym jakość była weryfikowana jedynie na końcu procesu, co w przypadku tak zaawansowanej technicznie inwestycji jak kampus Data Center mogłoby prowadzić do kosztownych przebudów lub – w skrajnych przypadkach – do odmówienia certyfikacji przez niezależną jednostkę inspekcyjną. Koncepcja ta wpisuje się w klasyczne podejście do zarządzania jakością, w którym prewencja nad weryfikacją końcową stanowi fundamentalną zasadę projektowania systemów QA/QC (Juran, 1992; Feigenbaum, 1991).

Struktura niniejszego rozdziału odzwierciedla warstwowy charakter zarządzania jakością w projektach Data Center. Kolejne podrozdziały prezentują najpierw fundamentalne definicje i koncepcje jakości wypracowane w XX-wiecznej myśli zarządczej (1.1), następnie systemy zarządzania jakością traktowane jako struktury organizacyjne wdrażające te koncepcje (1.2), dalej – ramy normatywne i certyfikacyjne typowe dla sektora DC (1.3), a wreszcie szersze teorie zarządzania projektami, które stanowią metodologiczny kontekst dla całego systemu jakościowego (1.4). Takie ułożenie materiału pozwala czytelnikowi przejść od pojęć ogólnych do rozwiązań praktycznych, stopniowo zawężając perspektywę aż do specyfiki analizowanego projektu inwestycyjnego.

1.1 Definicje i koncepcje jakości

Ewolucja pojęcia jakości na przestrzeni XX i XXI wieku doprowadziła do powstania wielu szkół myślenia, które dziś stanowią fundament metodologii stosowanych na placach budowy. Tradycyjne postrzeganie jakości jako „braku wad” zostało zastąpione przez podejście wielowymiarowe.

W literaturze przedmiotu kluczowe znaczenie mają cztery klasyczne koncepcje, które znajdują bezpośrednie odzwierciedlenie w budowie infrastruktury krytycznej:

- **Podejście W. Edwardsa Deminga (1986):** Twórca idei ciągłego doskonalenia (*Continuous Improvement*). W kontekście Data Center, jego **Cykl PDCA** (Plan-Do-Check-Act) jest wykorzystywany przy wdrażaniu procedur odbiorowych – od testów poszczególnych komponentów (L1) po zintegrowane testy systemowe (L5). Deming podkreślał, że jakość to proces, który nigdy się nie kończy, co w Data Center przekłada się na kulturę utrzymania ruchu po zakończeniu budowy.

Filozofia Deminga, streszczana często w czternastu zasadach zarządzania, stawia nacisk na eliminację strachu w organizacji, budowanie partnerskich relacji z dostawcami oraz ciągle doskonalenie systemu. Wszystkie te zasady mają bezpośrednie przełożenie na projekt kampusu DCB. Eliminacja strachu – czyli budowanie kultury organizacyjnej, w której pracownicy zgłaszają problemy bez obawy przed represjami – jest warunkiem działania mechanizmu self-reported NCR opisanego w 3.3. Partnerskie relacje z dostawcami przekładają się na model oceny i wsparcia podwykonawców, w którym celem jest ich podniesienie poziomu jakości, a nie karanie za błędy. Ciągłe doskonalenie manifestuje się w mechanizmie krzywej uczenia pomiędzy kolejnymi budynkami kampusu (Deming, 1986; PM Group, 2023).

Eliminacja strachu w organizacji – jeden z postulatów Deminga (1986) – ma szczególne znaczenie w projekcie kampusu DCB. Strach przed zgłoszeniem problemu jest w budownictwie często zakorzeniony kulturowo: brygadziści, który poinformuje o niezgodności, ryzykuje utratą premii lub nawet kontraktu. Projekt DCB aktywnie zwalcza tę kulturę poprzez jasny komunikat kierownictwa, że NCR jest informacją wartościową, a nie dowodem winy – oraz poprzez systemowe nagradzanie self-reported NCR w ramach programu Quality Recognition Cards. Zmiana tej mentalności wymaga czasu i konsekwencji, ale jest kluczowym warunkiem skuteczności całego systemu jakości (Deming, 1986; PM Group, 2023).

- **Podejście Josepha Jurana (1992):** Juran wprowadził pojęcie **Triady Jakości** (planowanie, kontrola i doskonalenie). Jego definicja „przydatności do użytku” (*fitness for use*) jest kluczowa przy projektowaniu redundancji. Obiekt, który jest zbudowany zgodnie z prawem, ale nie zapewnia ciągłości zasilania przy awarii transformatora, jest w myśl tej definicji produktem niskiej jakości.

Triada Jurana – planowanie, kontrola i doskonalenie jakości – ma szczególne zastosowanie w projekcie kampusu Data Center ze względu na jego powtarzalną strukturę dziesięciu identycznych budynków. Faza planowania jakości dla pierwszego budynku obejmuje opracowanie od podstaw systemu ITP, procedur, planów commissioningu i rejestrów NCR. Faza kontroli jakości jest prowadzona intensywnie podczas realizacji i testów. Faza doskonalenia jakości rozpoczyna się wraz z zakończeniem pierwszego budynku i obejmuje systematyczną analizę wszystkich NCR, identyfikację wzorców i aktualizację dokumentacji dla kolejnych budynków. Tak ukształtowany cykl triady Jurana powtarza się dla każdego kolejnego budynku, z każdym razem generując coraz

dojrzały system, który – jeśli mechanizmy uczenia działają sprawnie – powinien wykazywać coraz niższy wskaźnik niezgodności (Juran, 1992; PM Group, 2023).

Wybitnymi uzupełnieniami klasycznych teorii jakości są koncepcje stworzone przez japońskich inżynierów produkcji w latach 50.–80. XX wieku: metoda 5S (Sort, Set in order, Shine, Standardize, Sustain – sortowanie, systematyka, sprzątanie, standaryzacja, samodyscyplina) i koncepcja Kaizen (ciągłe doskonalenie poprzez małe, stopniowe usprawnienia). W kontekście placu budowy kampusu DCB metoda 5S przekłada się na organizację pracy w terenie: każde narzędzie ma swoje oznaczone miejsce, przejścia komunikacyjne są wolne od przeszkód, materiały są przechowywane w wyznaczonych strefach. Tak zorganizowane środowisko pracy redukuje ryzyko wypadków, minimalizuje straty czasu na poszukiwanie narzędzi i materiałów oraz – co istotne z perspektywy jakości – zmniejsza prawdopodobieństwo przypadkowego uszkodzenia już zainstalowanych elementów. Wdrożenie 5S na placu budowy jest jednym z elementów onboardingu podwykonawców w projekcie DCB (Ishikawa, 1985; PM Group, 2023).

Koncepcja Jurana dotycząca kosztów jakości (Cost of Quality – CoQ) ma w projekcie Data Center bezpośrednie przełożenie ekonomiczne. Juran klasyfikował koszty jakości na trzy kategorie: koszty prewencji (szkolenia, planowanie, audyty), koszty oceny (inspekcje, testy, pomiary) i koszty wad (naprawy, ponowne wykonanie, reklamacje). W projekcie kampusu DCB koszty prewencji i oceny są niemal trzykrotnie wyższe niż w typowym budownictwie kubaturowym (3–6% vs poniżej 1% budżetu) – lecz koszty wad są proporcjonalnie niższe, ponieważ wychwytywanie niezgodności na wczesnym etapie jest wielokrotnie tańsze od naprawy po oddaniu do eksploatacji. Przestój jednego serwera o mocy 10 MW przez jedną godzinę może kosztować klienta operatorskiego więcej niż cały miesięczny budżet inspekcji – ta prosta kalkulacja stanowi ekonomiczne uzasadnienie intensywnego systemu QA/QC (Juran, 1992; Feigenbaum, 1991).

- **Podejście Philipa Crosby’ego (1979):** Propagator zasady „Zero Defektów”. Crosby argumentował, że jedynym akceptowalnym standardem wykonania jest brak błędów, a kosztem jakości jest koszt braku zgodności (*Price of Nonconformance*). W instalacjach gazowych systemów gaszenia pożarów w serwerowniach, gdzie jeden nieuszczelny spaw uniemożliwia certyfikację pomieszczenia, koncepcja Crosby’ego znajduje swoje najbardziej radykalne zastosowanie.

Crosby (1979) argumentował, że jakość jest darmowa (Quality is Free) – ponieważ koszt wytworzenia produktu bez błędów jest zawsze niższy od kosztu naprawy produktu wadliwego. Filozofia ta, wyrażana przez program Zero Defects i czternastu kroków doskonalenia jakości, ma bezpośrednie przełożenie na projekt Data Center. Każda usterka wykryta przez system jakości w fazie realizacji jest tańsza do naprawy niż gdyby ujawniła się podczas eksploatacji. Kalkulacja Crosby’ego jest zatem nie tylko filozoficznym postulatem, lecz ekonomicznym faktem weryfikowalnym na przykładzie rzeczywistych

projektów hyperscale: kampusy z dojrzałymi systemami QA/QC rzadziej doświadczają kosztownych awarii w fazie operacyjnej (Crosby, 1979; PM Group, 2023).

- **Podejście Kaoru Ishikawy:** Zwrócił uwagę na rolę ludzi i graficznych metod analizy przyczyn błędów. Jego diagram (rybia kość) jest podstawowym narzędziem w analizie awarii urządzeń krytycznych (np. UPS czy agregatów) na etapie testów SAT (*Site Acceptance Tests*).

W kontekście budowy kampusu Data Center, koncepcje te nabierają szczególnego znaczenia. Jakość postrzegana jest tu jako **niezawodność operacyjna**. Nie chodzi jedynie o to, czy budynek został wzniesiony zgodnie z projektem, ale czy wszystkie systemy krytyczne (zasilanie, chłodzenie) współpracują w sposób zapewniający ciągłość pracy serwerów na poziomie 99,999% czasu w roku.

Uzupełnieniem czterech klasycznych koncepcji jest współczesne podejście oparte na myśleniu systemowym (ang. systems thinking), zapoczątkowane przez Petera Senge'go (Senge, 1990) i rozwijane w kontekście branży budowlanej przez takie organizacje jak Lean Construction Institute. W myśl tej koncepcji, jakość nie może być oceniana w oderwaniu od całości systemu – poszczególne elementy kampusu Data Center (systemy zasilania, chłodzenia, bezpieczeństwa pożarowego, okablowania strukturalnego) tworzą złożoną sieć wzajemnych zależności. Usterka w jednym z podsystemów może w sposób kaskadowy zdestabilizować cały obiekt. Dlatego w projektach DC jakość musi być zarządzana holistycznie, z uwzględnieniem interfejsów międzybranżowych jako punktów szczególnego ryzyka.

Myślenie systemowe Senge'a ma szczególną wartość w kontekście projektu kampusu Data Center, ponieważ kampus jest z definicji systemem systemów. Każdy budynek jest systemem (elektro-mechaniczno-teletechnicznym), a kampus jest systemem tych systemów, połączonym wspólną infrastrukturą energetyczną, wodną i sieciową. Problemy jakościowe, które pojawiają się na poziomie jednego budynku, mogą mieć systemowe przyczyny leżące w infrastrukturze wspólnej. Identyfikacja tych zależności systemowych wymaga myślenia wykraczającego poza granice jednej branży czy jednego budynku – co jest właśnie istotą myślenia systemowego wdrażanego w projekcie DCB poprzez zagregowaną analizę NCR z całego kampusu (Senge, 1990; PM Group, 2023).

Na szczególną uwagę zasługuje także koncepcja jakości w ujęciu normy ISO 9000:2015 (International Organization for Standardization [ISO], 2015a), która definiuje ją jako „stopień, w jakim zbiór właściwych cech obiektu spełnia wymagania”. W kontekście Data Center pojęcie „wymagań” jest wielowarstwowe: obejmuje wymogi prawne (polskie Prawo Budowlane, Dyrektywy Unii Europejskiej), wymogi kontraktowe (określone w umowach z Inwestorem i potwierdzone Dokumentem Wymagań Właściciela, Owner's Project Requirements, OPR), wymogi techniczne (wynikające ze standardów Uptime Institute lub ANSI/TIA-942) oraz wymagania rynkowe, związane z oczekiwaniami przyszłych najemców co do dostępności i efektywności energetycznej. Spełnienie wszystkich tych warstw wymagań jednocześnie stanowi istotę jakości w projekcie budowy kampusu Data Center.

Ewolucja koncepcji jakości w świetle rewolucji cyfrowej

Przedstawione koncepcje jakości, sformułowane w drugiej połowie XX wieku, były tworzone z myślą o przemyśle wytwórczym – samochodowym, elektronicznym, lotniczym. Ich adaptacja do realiów budownictwa, a następnie do specyfiki infrastruktury krytycznej, nie jest procesem mechanicznym, lecz wymaga twórczego przemyslenia. W szczególności zasługuje na uwagę różnica pomiędzy wyrobem seryjnym – produkowanym milionami identycznych egzemplarzy – a projektem budowlanym, który z zasady jest jednorazowy i niepowtarzalny. Każdy obiekt Data Center jest inny, budowany w innej lokalizacji, przez inny zespół, z innym kontekstem legislacyjnym i infrastrukturalnym. Niemniej zasady jakości wyekstrahowane przez Deminga, Juran czy Ishikawę nie tracą na aktualności – zmieniają jedynie swój wyraz operacyjny.

Rewolucja cyfrowa ostatnich dekad stworzyła nowy typ obiektów – centra danych – które paradoksalnie wymagają jakości zarówno w tradycyjnym budowniczym sensie (zgodność z normami konstrukcyjnymi, trwałość, bezpieczeństwo pożarowe), jak i w sensie charakterystycznym dla przemysłu elektronicznego (nieprzerwalność zasilania, odporność na błędy, redundancja systemów krytycznych). To nakładanie się dwóch tradycji jakościowych sprawia, że zarządzanie jakością w projektach Data Center jest wymagające w sposób wyjątkowy – wymaga kompetencji zarówno budowlanych, jak i teleinformatycznych, i nie ma możliwości ograniczenia się do jednej dziedziny (PM Group, 2023). W tym sensie projekt DCB stanowi laboratorium syntezy dwóch tradycji jakościowych, a wnioski z tej syntezy mają potencjalnie szersze zastosowanie dla całego segmentu infrastruktury krytycznej przyszłości.

Szczególne znaczenie ma w tym kontekście dynamika tempa zmian technologicznych. W klasycznych branżach przemysłowych standardy jakości są względnie stabilne przez dekady. W branży Data Center cykl życia technologii serwera wynosi zaledwie 3–5 lat, infrastruktura chłodzenia jest wymieniana w rytmie 10–15 lat, a software sterujący systemami BMS ewoluuje niemal w trybie ciągłym. Zarządzanie jakością musi zatem uwzględniać nie tylko jakość obiektu „tu i teraz”, ale również jego zdolność adaptacji do przyszłych wymagań technologicznych – tzw. future-readiness. W kontekście projektu DCB o planowanym 20–30-letnim cyklu życia oznacza to konieczność projektowania z myślą o technologiach, których dzisiaj nie znamy w pełni, lecz których zarysy już widać w trendach branżowych (rosnąca gęstość mocy, płynne chłodzenie, AI-driven automation). Juran (1992) pisał o jakości jako „fitness for use” – w środowisku Data Center ta przydatność do użycia musi być rozumiana nie tylko w momencie oddania obiektu, ale w całym jego cyklu życia.

Doktryna Total Quality Management (TQM), wywodząca się z doświadczeń japońskiego przemysłu lat 60. XX wieku, przeniosła zarządzanie jakością z poziomu działu kontroli jakości na poziom całej organizacji. Koncepcja ta, szerzej spopularyzowana przez Feigenbauma (1991) i Deminga (1986), zakłada, że każdy pracownik – niezależnie od stanowiska – jest odpowiedzialny za jakość swojej pracy i powinien aktywnie dążyć do jej doskonalenia. W projekcie Data Center TQM jest

realizowany poprzez obowiązkowe szkolenia jakościowe dla wszystkich pracowników na placu budowy, nie tylko dla inspektorów QC, oraz poprzez budowanie kultury organizacyjnej, w której zgłoszenie problemu jest postrzegane jako akt odpowiedzialności, a nie jako obciążenie dla przełożonego. Praktycznym wymiarem TQM w projekcie kampusu DCB jest program jakościowych kart pochwały (Quality Recognition Cards), w którym pracownicy są publicznie nagradzani za wychwycenie i zgłoszenie niezgodności we własnej pracy lub pracy sąsiadujących brygad (Feigenbaum, 1991; Deming, 1986).

Ewolucja myślenia o jakości od kontroli inspekcyjnej do zarządzania systemowego jest jednym z fundamentalnych przesunięć paradygmatycznych w historii inżynierii. W modelu inspekcyjnym – dominującym do połowy XX wieku – zakładano, że jakość można „sprawdzić w” produkty poprzez intensywne inspekcje końcowe, odrzucające wyroby wadliwe. W modelu systemowym – dominującym od lat 60. XX wieku do dziś – jakość jest „wbudowywana” w produkt poprzez właściwie zaprojektowany i nadzorowany proces wytwarzania, a inspekcje pełnią rolę pętli informacji zwrotnej, nie głównego mechanizmu jakości. W projekcie kampusu DCB ta ewolucja jest widoczna w architekturze systemu QA/QC: inspekcje punktowe (ITP) nie są głównym „filtrem” jakości, lecz uzupełnieniem właściwie opracowanych metod wykonawczych, kompetentnych zespołów i dobrej kultury jakościowej. Zrozumienie tej różnicy jest kluczem do prawidłowego zaprojektowania systemu jakości w projekcie (Deming, 1986; Feigenbaum, 1991; PM Group, 2023).

Podsumowując niniejszy przegląd definicji i koncepcji jakości, należy stwierdzić, że żadna z omówionych teorii nie wyczerpuje w pełni złożoności jakości w projekcie Data Center. W praktyce stosuje się podejście eklektyczne: cykl PDCA Deminga jako nadrzędna rama zarządzania, Triada Jurana jako struktura planowania i oceny, zasada „Zero Defektów” Crosby’ego jako standard dla prac krytycznych (np. spawy w instalacjach gazów technicznych) oraz narzędzia Ishikawy w analizie przyczyn korygowania usterek. Podejście, łączące koncepcje kilku szkół jakości w jednym systemie zarządzania, jest zgodne z rekomendacjami PMI dla projektów o wysokim stopniu złożoności technicznej (PMI, 2021; Crosby, 1979). Tak zintegrowane podejście do jakości staje się warunkiem koniecznym skutecznego zarządzania projektem budowy kampusu Data Center o najwyższej klasie dostępności.

1.2 Systemy zarządzania jakością

System Zarządzania Jakością (SZJ) w dużej inwestycji budowlanej to kompleksowa struktura organizacyjna, która musi integrować procesy Generalnego Wykonawcy, Inwestora oraz dziesiątek podwykonawców branżowych. Skuteczny SZJ w sektorze Data Center opiera się na dwóch filarach, które – choć często mylone – pełnią odmienne role.

Quality Assurance (QA) – Zapewnienie Jakości

QA to podejście proaktywne, zorientowane na proces. Jego celem jest zapobieganie powstawaniu wad. W budowie kampusu DC do działań QA zaliczamy:

- Opracowanie Planu Zarządzania Jakością (QMP).
- Weryfikację uprawnień i certyfikatów personelu technicznego (np. certyfikaty spawaczy światłowodów czy monterów wysokiego napięcia).
- Audyty u dostawców kluczowych urządzeń (agregaty prądotwórcze, chillery) przed ich wysyłką na plac budowy.

Quality Control (QC) – Kontrola Jakości

QC to podejście reaktywne, zorientowane na produkt (rezultat). Polega na fizycznej weryfikacji wykonanych prac. Do kluczowych działań QC należą:

- Inspekcje terenowe i sporządzanie protokołów odbioru prac zanikowych.
- Prowadzenie rejestru niezgodności (NCR – Non-Conformance Reports).
- Pomiar parametry technicznych (np. rezystancja uziemień, szczelność rurociągów chłodniczych).

Relacja między QA a QC w projekcie DC musi być ściśle sformalizowana. Podczas gdy QC wykrywa, że dany element jest wadliwy, QA analizuje, dlaczego system dopuścił do powstania tej wady i jak zmienić procedurę, by błąd się nie powtórzył.

Plan Zarządzania Jakością (Quality Management Plan)

Fundamentalnym dokumentem każdego systemu zarządzania jakością w projekcie DC jest Plan Zarządzania Jakością (ang. Quality Management Plan – QMP). Jest to formalny dokument, który określa: cele jakościowe projektu, role i odpowiedzialności w zakresie jakości, zakres i harmonogram inspekcji oraz audytów, procedury postępowania z niezgodnościami (NCR), a także powiązania z harmonogramem komisjonowania. W analizowanym typie projektu QMP musi być opracowany nie tylko na poziomie Generalnego Wykonawcy, ale również na poziomie każdego głównego podwykonawcy branżowego (elektrycznego, mechanicznego, CSA). Brak spójności między tymi planami jest jednym z najczęstszych źródeł niezgodności w projektach infrastruktury krytycznej.

Ważnym elementem systemu zarządzania jakością są tak zwane Inspekcje Punktów Kluczowych (ang. Inspection and Test Plan – ITP). Plan ITP definiuje dla każdego elementu prac trzy kategorie punktów kontrolnych. Punkt obserwacyjny (ang. Witness Point – W) oznacza, że inspektor jakości powinien być powiadomiony o planowanej czynności i ma prawo uczestnictwa, chociaż jego obecność nie jest obowiązkowa. Punkt weryfikacyjny (ang. Hold Point – H) to działanie, które nie może zostać wykonane bez fizycznej obecności i zatwierdzenia przez inspektora jakości lub przedstawiciela Inwestora. Punkt przeglądowy (ang. Review Point – R) oznacza, że dokumentacja potwierdzająca wykonanie pracy musi być przedłożona do przeglądu, zanim prace będą mogły postępować dalej. Stosowanie planów ITP, z wyraźnym

podziałem na punkty W, H i R, jest powszechną praktyką na budowach Data Center klasy Tier III i Tier IV i stanowi jeden z podstawowych wymogów dokumentacyjnych procesu certyfikacji Uptime Institute (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021).

Zarządzanie Niezgodnościami (Non-Conformance Report – NCR)

Sercem każdego systemu zarządzania jakością na budowie kampusu Data Center jest formalny rejestr niezgodności, oparty o raportowanie NCR. NCR jest dokumentem formalizującym każde odstępstwo od wymagań jakościowych – zarysowanie kabla, usterka w montażu szyny zbiorczej, nieszczelność w układzie chłodzenia cieczowego. Dla każdego NCR określa się Przyczynę Główną, Działanie Korygujące oraz termin i osobę odpowiedzialną za weryfikację skuteczności korekty. Co kluczowe, rejestry NCR są danymi wejściowymi do systemu QA: analiza statystyczna NCR pozwala zidentyfikować powtarzające się wzorce problemów i wdrażać systemowe działania zapobiegawcze. Tym samym NCR jest mostem łączącym reaktywny QC z proaktywnym QA, zamykając pętlę doskonalenia zgodnie z cyklem PDCA Deminga.

Skuteczność systemu zarządzania jakością zależy w dużej mierze od kultury organizacyjnej wewnątrz zespołu projektowego. Badania przeprowadzone przez PM Group (2023) wskazują, że projekty, w których jakość była postrzegana przez kierowników jako cel strategiczny, a nie tylko formalność, osiągały o 35% niższy współczynnik usterek na etapie testów komisjonowania niż projekty, w których system QA/QC był traktowany jedynie jako wymiana dokumentów. Kluczową rolę odgrywają tutaj regularne spotkania jakościowe (Quality Meetings), szkolenia zespołów wykonawczych i przejrzyste procedury eskalacji problemów. W konsekwencji system zarządzania jakością staje się także narzędziem zarządzania ludźmi i komunikacji w projekcie. Jest to zgodne z filozofią ciągłego doskonalenia Deminga, który podkreślał, że jakość jest wynikiem działania systemu zarządzania, a nie wysiłku indywidualnych inspektorów (Deming, 1986).

Wielowymiarowy charakter wymagań jakościowych w projekcie Data Center

System zarządzania jakością w projekcie Data Center różni się od standardowych wdrożeń ISO 9001 kilkoma cechami strukturalnymi. Po pierwsze, jest zorientowany na produkt – konkretny obiekt i jego parametry techniczne – a nie na cykl świadczenia usługi. Po drugie, jest strukturalnie zależny od hierarchii kontraktowej projektu: zamawiający, generalny wykonawca, podwykonawcy i dostawcy urządzeń tworzą wielopoziomą sieć zależności, w której system jakości musi zapewnić spójność wymagań na każdym poziomie. Po trzecie, ma określony horyzont czasowy – system jakości projektu budowlanego kończy się formalnie w momencie osiągnięcia RFS, a wnioski z jego funkcjonowania powinny być transferowane do kolejnych projektów (PMI, 2021; Ballard & Howell, 2003).

W projektach kampusowych takich jak DCB system zarządzania jakością musi obsługiwać równoczesne realizacje na wielu frontach, co komplikuje zarówno planowanie zasobów QC, jak i zarządzanie dokumentacją. W szczycie realizacji kampusu

inspekcje prowadzone są jednocześnie w kilku budynkach na różnych etapach zaawansowania. Skoordynowanie pracy kilkudziesięciu inspektorów, zapewnienie im dostępu do właściwych dokumentów ITP, aktualizacja rejestrów NCR w czasie rzeczywistym i prowadzenie cotygodniowych spotkań jakościowych – to wyzwanie organizacyjne, które bez zaawansowanego wsparcia cyfrowego byłoby logistycznie niemożliwe. Jednocześnie ta złożoność stwarza warunki dla efektów synergii i krzywej uczenia, nieosiągalnych w projekcie jednobudynkowym (ISO, 2015b; PM Group, 2023).

Istotnym aspektem jest też wymiar finansowy systemu jakości. Koszty QA/QC w projekcie kampusu hyperscale stanowią – według danych PM Group (2023) – od 3 do 6 procent całkowitego budżetu inwestycyjnego, co dla kampusu o wartości kilku miliardów złotych oznacza dziesiątki do setek milionów złotych przeznaczonych wyłącznie na funkcję jakości. Uzasadnieniem tych nakładów jest wspomniana zasada CoQ: wydatki na prewencję i ocenę są wielokrotnie niższe od kosztów naprawy wad wykrytych w fazie operacyjnej. W przypadku Data Center dodatkowym czynnikiem jest fakt, że jedna godzina przestoju w działaniu obiektu może kosztować klientów operatorskich więcej niż cały roczny budżet na QA/QC – co czyni system jakości inwestycją o wymiernym zwrocie finansowym (Feigenbaum, 1991; Juran, 1992).

1.3 Normy i standardy jakości

Specyfika budowy kampusu Data Center wymusza stosowanie hierarchicznego systemu norm, który wykracza poza standardowe polskie normy budowlane (PN-EN).

Międzynarodowe standardy zarządzania (ISO)

Fundamentem jest **ISO 9001:2015**, która narzuca podejście procesowe i oparte na ryzyku. Dla projektów DC kluczowe są także normy wspierające:

- **ISO 14001 (ISO, 2015c):** Zarządzanie środowiskowe (kluczowe przy gospodarce odpadami budowlanymi i emisji hałasu przez agregaty).
- **ISO 45001 (ISO, 2018):** Bezpieczeństwo i higiena pracy (standardy BHP na budowach DC są często znacznie bardziej rygorystyczne niż te wynikające z przepisów krajowych).

Standardy branżowe (Uptime Institute i TIA)

To one definiują „jakość techniczną” obiektu. Inwestorzy najczęściej wymagają zgodności z jedną z dwóch ścieżek:

- **Uptime Institute (Tier Standard):** Skupia się na topologii i niezawodności. Standard ten definiuje wymagania dla poziomów Tier I-IV, gdzie każdy kolejny stopień oznacza wyższą odporność na awarie (np. Tier III wymaga „możliwości konserwacji bez przerywania pracy” – *Concurrently Maintainable*).
- **ANSI/TIA-942 (Telecommunications Industry Association [TIA], 2024):** Kompleksowy standard obejmujący architekturę, mechanikę i elektrykę. Jest

bardziej precyzyjny w kwestiach fizycznej separacji dróg kablowych czy wymagań pożarowych.

Norma ANSI/TIA-942 klasyfikuje obiekty Data Center w czterech kategoriach (Rating 1–4), analogicznych do Tiers Uptime Institute. Rating 3 (concurrently maintainable) oznacza możliwość prowadzenia konserwacji bez przerwy w pracy (dostępność 99,982%), a Rating 4 (fault tolerant) zapewnia tolerancję na awarie dowolnego komponentu (dostępność 99,995%). Projekt kampusu DCB jest projektowany na wymagania klientów kolokacyjnych o wysokiej dostępności. Certyfikacja Uptime Institute ma dwie ścieżki: certyfikację projektu (Design Documents) i certyfikację wykonanego obiektu (Constructed Facility) – ta ostatnia jest bezpośrednio powiązana z systemem zarządzania jakością realizacji i wymaga udziału niezależnych ekspertów weryfikujących jakość fizycznej realizacji (TIA, 2024; Uptime Institute, 2018).

Standardy certyfikacji środowiskowej LEED i BREEAM, wymagane przez wielu Inwestorów hyperscale, wnoszą do systemu zarządzania jakością dodatkową warstwę wymagań. Certyfikacja LEED Gold lub Platinum dla obiektu Data Center wymaga spełnienia kryteriów w zakresie efektywności energetycznej, zarządzania zasobami wody, doboru materiałów i jakości środowiska wewnętrznego. Wymogi te muszą być integrowane z systemem QA/QC od samego początku realizacji: dobór materiałów z certyfikatami EPD, śledzenie procentu odpadów przekierowanych do recyklingu, dokumentowanie poboru energii. W projekcie DCB integracja wymagań środowiskowych z systemem jakości stanowi dodatkowe wyzwanie, lecz jest możliwa dzięki systemom CDE i BIM zarządzającym dokumentacją w sposób zintegrowany (U.S. Green Building Council, 2019; BRE Global, 2018).

Europejskie normy jakościowe EN 50600 (CENELEC, 2019)

Seria EN 50600 składa się z kilkunastu dokumentów normalizacyjnych, z których najważniejsze dla zarządzania jakością realizacji to: EN 50600-2-1 (Wymagania dla obiektów budowlanych), EN 50600-2-2 (Wymagania dla systemów zasilania elektrycznego), EN 50600-2-3 (Wymagania dla systemów środowiskowych – chłodzenie) i EN 50600-2-4 (Wymagania dla systemów telekomunikacyjnych). Każdy z tych dokumentów definiuje wymagania techniczne dla poszczególnych klas obiektów (Availability Classes 1–4) oraz zalecane metody weryfikacji. System zarządzania jakością musi zapewniać, że wymagania każdej stosowanej normy serii EN 50600 są identyfikowane na etapie planowania, przekładane na konkretne procedury i ITP, a ich spełnienie jest weryfikowane podczas inspekcji i testów commissioningowych (CENELEC, 2019; TIA, 2024).

Interesującym aspektem normy EN 50600 jest jej wyraźna orientacja na efektywność energetyczną, wyrażona poprzez pojęcie Energy Efficiency Indicators (EEI). Norma definiuje mierzalne wskaźniki efektywności energetycznej dla obiektów Data Center: PUE (Power Usage Effectiveness), ERE (Energy Reuse Effectiveness) i CUE (Carbon Usage Effectiveness). Wymaga ona, by klasy wyższe (Availability Class 4) osiągały określone minimalne wartości tych wskaźników – co łączy wymagania

dostępnościowe z wymaganiami efektywności energetycznej. System zarządzania jakością musi zatem przewidywać zarówno weryfikację parametrów redundancji (kluczowej dla dostępności), jak i weryfikację parametrów efektywności energetycznej (kluczowej dla zrównoważonego rozwoju) – oba wymiary mają równorzędne znaczenie z perspektywy pełnej jakości obiektu Data Center (CENELEC, 2019; Datacenters.com, 2026).

W Unii Europejskiej coraz większe znaczenie zyskuje norma **EN 50600**, która jako pierwsza tak szeroko traktuje kwestię efektywności zarządzania (KPI) oraz jakości operacyjnej. Wprowadza ona klasy dostępności oraz stopnie zabezpieczeń, będąc bardziej nowoczesną alternatywą dla amerykańskich standardów Tier.

Metodologia Commissioning (Cx)

W projektach typu Data Center najwyższym standardem jakościowym jest proces **Commissioningu**. Jest to proces weryfikacji i dokumentowania, że wszystkie systemy i komponenty budynku są zaprojektowane, zainstalowane i przetestowane tak, aby spełniały wymagania operacyjne Inwestora (OPR). Proces ten dzieli się na 5 poziomów (L1-L5), kończąc się testami **IST (Integrated Systems Test)**, które są ostatecznym sprawdzianem jakości całej infrastruktury kampusu.

Szczegółowa hierarchia norm stosowanych w projektach Data Center zasługuje na bliższe omówienie, gdyż od jej właściwego zrozumienia zależy sposób definiowania wymagań jakościowych. Na szczycie tej hierarchii stoi certyfikacja Uptime Institute, która jest od lat uznawanym na całym świecie standardem referencyjnym. Standard Tier definiuje cztery poziomy niezawodności infrastruktury. Tier I (Basic Capacity) zapewnia niezbyt wysoką dostępność (99,671% rocznie), dopuszczając do 28,8 godziny przestoju. Tier II (Redundant Capacity Components) ogranicza przestoje do 22 godzin rocznie dzięki komponenty redundantnym. Tier III (Concurrently Maintainable) gwarantuje już tylko 1,6 godziny przestoju rocznie, wymagając pełnej redundancji systemów i możliwości serwisowania bez wyłączania. Tier IV (Fault Tolerant) z kolei przewiduje najwyższy poziom ochrony – do 26 minut przestoju rocznie – dzięki pełnej odporności na awarię dowolnego pojedynczego elementu infrastruktury.

Z perspektywy zarządzania jakością, implikacje poszczególnych poziomów Tier są ogromne. Uzyskanie certyfikatu Tier III lub IV przez Uptime Institute wymaga nie tylko zaprojektowania odpowiedniej topologii systemów, ale także rygorystycznego udokumentowania procesu budowy i testów. Uptime Institute prowadzi inspekcje na miejscu budowy Constructed Facility Rating, podczas których weryfikuje zgodność wykonania z projektem. Każda niezgodność wykryta podczas takiej inspekcji może skutkować przyznaniem niższego poziomu certyfikacji lub wstrzymaniem certyfikacji do czasu usunięcia usterek. W tym kontekście rejestr NCR, prowadzony przez zespół jakości GW, jest również dowodem dla audytorów Uptime Institute, że stwierdzone niezgodności były odpowiednio identyfikowane i zarządzane w trakcie realizacji.

Normy związane z efektywnością energetyczną i środowiskową

Coraz większe znaczenie w hierarchii norm jakościowych dla Data Center zyskują standardy związane z efektywnością energetyczną i środowiskową. W Unii Europejskiej istotna jest Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej (Energy Efficiency Directive – EED), która nakłada na duże centra danych obowiązek raportowania kluczowych wskaźników efektywności. Ponadto, branża Data Center coraz częściej odwołuje się do standardów certyfikacji budynków zielonych, takich jak LEED – Leadership in Energy and Environmental Design (U.S. Green Building Council, 2019) lub BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BRE Global, 2018). Choć standardy te powstały z myślą o budownictwie ogólnym, są coraz szerzej adaptowane do specyfiki centrów danych, zwłaszcza w obszarach efektywności chłodzenia, jakości materiałów izolacyjnych oraz zarządzania odpadami budowlanymi. Spełnienie wymogów tych certyfikacji stanowi dodatkowy poziom wymagań jakościowych, który musi być uwzględniony w Planie Zarządzania Jakością.

Oddzielnego omówienia wymaga kwestia norm bezpieczeństwa pożarowego w kontekście Data Center. W Polsce obowiązujące przepisy techniczno-budowlane (Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych) określają podstawowe wymagania w zakresie odporności ogniowej elementów budowlanych. Jednak w projektach DC wymagania Inwestora są z reguły znacznie bardziej restrykcyjne i wychodzą ponad minimum prawne. Typowe wymagania obejmują: instalację gazowych systemów gaszenia pożaru (np. Novec 1230, FM-200, CO₂) w pomieszczeniach serwerowych i rozdzielni elektrycznych, zastosowanie specjalnych kabli o ograniczonej propagacji płomieni (ang. Low Smoke Zero Halogen – LSZH) dla całego okablowania wewnątrz hal serwerowych, a także wykonanie odpowiednich przepustów ogniowych i uszczelnień dla każdego przejścia instalacyjnego przez stropy. Weryfikacja jakości wykonania tych elementów jest przedmiotem szczegółowej kontroli QC i jest dokumentowana w oddzielnych protokołach odbioru. Niedopełnienie tych wymogów może bezpośrednio uniemożliwić uzyskanie pozwolenia na użytkowanie obiektu.

Reasumując rozważania nt. norm i standardów jakości, należy podkreślić, że w praktyce projektów Data Center mamy do czynienia z co najmniej czterema ramami normatywnymi jednocześnie: polskim prawem budowlanym, wymaganiami norm ISO (9001, 14001, 45001), standardami branżowymi (Uptime Institute lub ANSI/TIA-942 oraz EN 50600) i specyficznymi wymaganiami Inwestora wynikającymi z OPR. Zadaniem systemu zarządzania jakością jest zapewnienie, że każda z tych warstw jest adresowana i że nie występują pomiędzy nimi sprzeczności. W przypadku konfliktu pomiędzy wymaganiami normatywnymi, obowiązuje generalnie zasada stosowania bardziej rygorystycznego wymagania, co w połączeniu z rozbudowanym systemem NCR i ITP tworzy podstawę dla skutecznego i kompleksowego zarządzania jakością w analizowanym projekcie budowy kampusu Data Center.

1.4 Teoria zarządzania w kontekście budowy Data Center

Omówione w poprzednich podrozdziałach koncepcje jakości, systemy QA/QC oraz ramy normatywne nie funkcjonują w próżni organizacyjnej. Stanowią one elementy szerszego aparatu zarządzania projektem, którego zadaniem jest przełożenie wymagań jakościowych na harmonogram, budżet, strukturę zespołu i procedury decyzyjne. W projekcie budowy kampusu Data Center – ze względu na jego skalę, wielobranżowość oraz bardzo krótkie okna czasowe wynikające z rynkowej presji typu time-to-market – sposób, w jaki organizowana jest praca zespołów, ma bezpośredni wpływ na osiągnięte parametry jakościowe. Niniejszy podrozdział przedstawia teoretyczne nurty zarządzania projektami, które znajdują praktyczne zastosowanie w realizacji inwestycji typu Data Center, oraz wskazuje, w jaki sposób integrują się one z opisanym wcześniej systemem zarządzania jakością.

Metodyka PMBOK (Project Management Institute)

Najszerzej rozpoznawaną na rynku amerykańskim i – coraz częściej – europejskim metodyką zarządzania projektami jest PMBOK (Project Management Body of Knowledge), opracowywany cyklicznie przez Project Management Institute (Project Management Institute [PMI], 2021). W swoim siódmym wydaniu (PMBOK Guide, 7th edition) dokument ten odszedł od wcześniej dominującego ujęcia procesowego na rzecz podejścia opartego na zasadach (principles) i domenach wydajności (performance domains). Z perspektywy zarządzania budową kampusu Data Center szczególnie istotne są trzy domeny: planowanie (Planning), pracę z dostawcami (Delivery) oraz pomiar i niepewność (Measurement and Uncertainty). W każdej z tych domen jakość jest traktowana jako atrybut zintegrowany z innymi ograniczeniami projektu – czasem, kosztem i zakresem – a nie jako oddzielna, równoległa funkcja administracyjna.

Standardy zarządzania projektami a specyfika realizacji kampusu

W kontekście projektu kampusu Data Center metodyki zarządzania projektami muszą być adaptowane do specyfiki wielobranżowej realizacji o długim cyklu życia. Zarządzanie ryzykiem jakościowym według PMBOK obejmuje identyfikację ryzyk poprzez warsztaty z ekspertami Risk Identification Workshops, ocenę jakościową i ilościową ryzyk oraz planowanie odpowiedzi. W projekcie hyperscale szczególnymi kategoriami ryzyka jakościowego są: ryzyko kompetencji (niedostateczne kwalifikacje podwykonawców), ryzyko dostaw (opóźnienie lub zamiana materiałów o niższej jakości), ryzyko interfejsów (błędy wynikające ze złej koordynacji między branżami) oraz ryzyko dokumentacyjne (niekompletna dokumentacja powykonawcza). Każde z tych ryzyk wymaga dedykowanych środków zapobiegawczych, które są wbudowane w strukturę systemu zarządzania jakością (PMI, 2021; Ballard & Howell, 2003).

Metodyka PRINCE2 (AXELOS, 2017), stosowana coraz szerzej w europejskich projektach infrastrukturalnych, wnosi do zarządzania jakością projektu koncepcję Product-Based Planning – planowania projektu z perspektywy produktów (deliverables), które ma wytworzyć, a nie czynności, które ma wykonać. W kontekście projektu Data

Center oznacza to planowanie systemu jakości wokół konkretnych produktów jakościowych: zatwierdzonych ITP, kompletnych raportów inspekcji, zamkniętych NCR, certyfikatów commissioningu – a nie wokół czynności takich jak „przeprowadzanie inspekcji”. Takie podejście ułatwia zarządzanie kompletności systemu jakości i jego przegląd na bramkach decyzyjnych (AXELOS, 2017; PMI, 2021).

Kluczowym wkładem PMBOK w zarządzanie jakością jest koncepcja zintegrowanego zarządzania ryzykiem i jakością. Metodyka ta zakłada, że każde zidentyfikowane ryzyko projektowe powinno zostać sparowane z odpowiednią odpowiedzią jakościową: punktem kontrolnym w planie ITP, dodatkowym testem w procesie commissioningu lub wymaganiem weryfikacji dokumentacji dostawcy. W praktyce projektów Data Center oznacza to, że rejestr ryzyk (Risk Register) prowadzony przez kierownika projektu jest dokumentem komplementarnym do Planu Zarządzania Jakością. Przykładowo, jeśli w rejestrze ryzyk zidentyfikowano ryzyko opóźnienia dostawy transformatorów średniego napięcia, w planie jakości pojawia się odpowiednio wcześniejsze zlecenie Factory Acceptance Test (FAT) u producenta oraz dodatkowy audyt produkcyjny. Taka synchronizacja obu rejestrów minimalizuje prawdopodobieństwo, że problem jakościowy zostanie wykryty dopiero na placu budowy, gdy jego usunięcie jest wielokrotnie kosztowniejsze.

Metodyka PRINCE2 i jej adaptacja w projektach infrastruktury krytycznej

Metodyka PRINCE2 (PRojects IN Controlled Environments), rozwijana pierwotnie przez brytyjską administrację publiczną, obecnie wydawana przez AXELOS (AXELOS, 2017), oferuje odmienne spojrzenie na zarządzanie projektem. W przeciwieństwie do PMBOK, który ma charakter opisowy i stanowi zbiór dobrych praktyk, PRINCE2 jest metodyką nakazową – definiuje siedem zasad, siedem tematów oraz siedem procesów, które muszą zostać zastosowane w każdym projekcie. Spośród tematów PRINCE2 dla projektów Data Center fundamentalne znaczenie ma temat „Jakość” (Quality), który wprowadza cztery pojęcia: Kryteria Akceptacji Produktu, Opis Produktu, Rejestr Jakości oraz Ścieżkę Audytu Jakości.

Metodyka PRINCE2 wnosi do zarządzania jakością projektu koncepcję product-based planning – planowania projektu z perspektywy produktów, które ma wytworzyć. W kontekście Data Center oznacza to planowanie systemu jakości wokół konkretnych produktów jakościowych: zatwierdzonych ITP, kompletnych raportów inspekcji, zamkniętych NCR, certyfikatów commissioningu. Każdy produkt jakościowy ma swoje Quality Criteria (kryteria jakości), Quality Tolerances (dopuszczalne odchylenia) i Quality Method (metodę weryfikacji). Takie podejście ułatwia zarządzanie kompletnością systemu jakości i jego przegląd na bramkach decyzyjnych – zamiast pytać „czy inspekcje były prowadzone?”, można precyzyjnie pytać „czy wszystkie 217 wymaganych ITP dla fazy L3 budynku nr 1 zostało zatwierdzonych z wynikiem pozytywnym?” (AXELOS, 2017).

Komplementarnym podejściem jest metodyka PMBOK 7th edition (PMI, 2021), która w najnowszym wydaniu przeorientowała się z procesocentrycznego podejścia na

zorientowanie na wyniki i zasady. Osiem zasad zarządzania projektami według PMBOK 7 obejmuje m.in. staranną opiekę (stewardship), skupienie na wartości, angażowanie interesariuszy, myślenie systemowe, adaptację i odporność. Każda z tych zasad ma bezpośrednie przełożenie na zarządzanie jakością w projekcie Data Center: staranność nakłada obowiązek systematyczności w procesach QC, skupienie na wartości wymaga myślenia o jakości przez pryzmat wartości dla Inwestora i klientów operatorskich, myślenie systemowe odpowiada koncepcji wzajemnych zależności między branżami i budynkami kampusu (PMI, 2021).

Szczególnie użyteczna w budowie kampusu Data Center jest koncepcja „zarządzania przez wyjątki”, będąca jedną z zasad PRINCE2. Polega ona na delegowaniu odpowiedzialności za jakość na najniższy możliwy poziom kompetencji – inspektor jakości, kierownik robót branżowych lub koordynator commissioningu mogą samodzielnie zatwierdzać inspekcje w ramach ustalonych tolerancji. Dopiero przekroczenie progów tolerancji (np. liczby otwartych NCR, odchyłów pomiarowych, czasu realizacji testów) wywołuje eskalację do wyższego poziomu zarządzania. Dzięki takiemu podejściu kierownictwo projektu nie jest angażowane w rutynowe decyzje jakościowe, co uwalnia jego zasoby do rozwiązywania problemów rzeczywiście krytycznych. Zasada ta szczególnie sprawdza się w projektach typu hyperscale, gdzie liczba codziennych zdarzeń jakościowych liczona jest w setkach.

Lean Construction – redukcja marnotrawstwa jako narzędzie jakości

Lean Construction to adaptacja filozofii Toyota Production System do realiów placu budowy, rozwijana od lat dziewięćdziesiątych XX wieku przez Lean Construction Institute oraz takich teoretyków jak Glenn Ballard i Gregory Howell (Ballard & Howell, 2003). W przeciwieństwie do klasycznych metodyk zarządzania, które koncentrują się na planowaniu i kontroli, Lean Construction stawia w centrum uwagi eliminację marnotrawstwa (muda) w procesie realizacji. Siedem klasycznych kategorii marnotrawstwa – nadprodukcja, oczekiwanie, transport, nadmierne przetwarzanie, zapasy, zbędne ruchy oraz defekty – przekłada się bezpośrednio na konkretne patologie placu budowy Data Center: nadmierne gromadzenie materiałów w strefach montażowych, przestoje brygad oczekujących na dostęp do frontu robót, błędy wykonawcze wynikające z niedostatecznej koordynacji międzybranżowej.

Lean Construction wnosi do projektów Data Center kilka kluczowych narzędzi praktycznych. Metoda Last Planner System (LPS) – cotygodniowe spotkania planistyczne, podczas których brygadziści zgłaszają gotowość do wykonania planowanych prac i identyfikują przeszkody (brak materiałów, brak zatwierdzeń, konflikty przestrzenne) – redukuje marnotrawstwo czasu wynikające z prac przerywanych lub cofniętych z powodu niezidentyfikowanych w porę barier. W projekcie kampusu DCB LPS jest stosowany jako komplementarne narzędzie do harmonogramu projektowego: harmonogram projekt określa daty kamieni milowych, LPS zarządza codziennym przepływem pracy. Badania branżowe wskazują, że projekty stosujące LPS konsekwentnie osiągają o kilka do kilkunastu procent wyższy wskaźnik Percent Plan

Complete, co przekłada się na lepszą terminowość i niższy strumień NCR wynikających z błędów powstałych z pośpiechu (Ballard & Howell, 2003; PM Group, 2023).

Innym narzędziem Lean Construction mającym bezpośrednie zastosowanie w projekcie Data Center jest Value Stream Mapping (VSM) – mapowanie strumienia wartości. VSM polega na wizualnej analizie wszystkich kroków procesu (w tym przypadku: procesu inspekcji i zatwierdzania robót), identyfikując etapy tworzące wartość (fizyczna inspekcja, merytoryczna weryfikacja wyników) i etapy będące marnotrawstwem (oczekiwanie na zatwierdzenie dokumentu, poszukiwanie zaginionego formularza). W projekcie kampusu DCB VSM przeprowadzony dla procesu NCR może ujawnić, że znaczna część czasu od zgłoszenia NCR do jego zamknięcia jest pochłaniana przez oczekiwanie (na odpowiedź podwykonawcy, na zatwierdzenie przez Inwestora, na rewizję rysunku przez projektanta) – a nie przez faktyczną naprawę. Identyfikacja i eliminacja tych przestojów jest jedną z głównych szans na skrócenie średniego czasu zamknięcia NCR (Ballard & Howell, 2003).

Kluczowym narzędziem Lean Construction jest metoda Last Planner System (LPS), rozwinięta przez Ballarda i Howella (2003), która przenosi odpowiedzialność za planowanie wykonania na poziom brygadzystów bezpośrednio wykonujących prace, zamiast narzucania harmonogramów z góry. W projekcie kampusu Data Center, gdzie dziesiątki brygad różnych branż pracuje jednocześnie, LPS umożliwia identyfikację i eliminację przeszkód (constraints) przed ich wystąpieniem – co bezpośrednio przekłada się na jakość: prace wykonywane bez przeszkód są bardziej starannie wykonane. System LPS wymaga cotygodniowych spotkań planistycznych (Weekly Work Plans), codziennych stand-upów i systematycznego śledzenia wskaźnika PPC (Percent Plan Complete) – który mierzy, jaki procent zaplanowanych na dany tydzień zadań został faktycznie zrealizowany (Ballard & Howell, 2003).

Uzupełnieniem LPS jest narzędzie A3 Thinking, wywodzące się z systemu produkcyjnego Toyoty, które stosuje się do rozwiązywania złożonych problemów jakościowych i organizacyjnych. Metoda A3 polega na strukturyzowaniu problemu na jednej kartce papieru (formatu A3) w ośmiu krokach: opis tła, identyfikacja problemu, analiza przyczyn, cel, środki zaradcze, plan wdrożenia, potwierdzenie efektów, standaryzacja i powielenie. Ta prosta, lecz skuteczna struktura eliminuje tendencję do zbyt szybkiego przechodzenia do rozwiązań bez właściwego zrozumienia przyczyn. W projekcie kampusu DCB podejście A3 Thinking jest stosowane do analizy systemowych przyczyn Major NCR i jest dokumentowane jako element lessons learned (Ballard & Howell, 2003; Senge, 1990).

Praktycznym narzędziem Lean Construction, szeroko stosowanym w projektach Data Center, jest Last Planner System (LPS) – zintegrowany system planowania, w którym zobowiązania terminowe są negocjowane bezpośrednio z brygadzystami wykonującymi pracę, a nie narzucane odgórnie przez biuro planowania. System ten opiera się na czterech poziomach planowania: harmonogramie głównym (Master Schedule), planowaniu fazy (Phase Planning), planowaniu sześciotygodniowym (Look-

Ahead Planning) oraz cotygodniowym zobowiązaniu (Weekly Work Plan). Na każdym z tych poziomów identyfikuje się tak zwane „constraints” – ograniczenia uniemożliwiające realizację prac (brak materiału, niekompletna dokumentacja, niezamknięte NCR na froncie poprzedzającym). Ich systematyczne usuwanie przed rozpoczęciem prac jest jednym z głównych źródeł poprawy jakości: brygada wchodząca na front z rozwiązanymi ograniczeniami popełnia znacząco mniej błędów niż brygada pracująca w warunkach chaotycznych.

Agile i Scrum w środowisku budowlanym – granice stosowalności

Metodyki zwinne (Agile), a w szczególności framework Scrum, wywodzą się ze środowiska wytwarzania oprogramowania i początkowo były postrzegane jako niemożliwe do zastosowania w budownictwie. Infrastruktura fizyczna – betonowe fundamenty, okablowanie strukturalne, instalacje gazowe – nie pozwala na iteracyjne dostarczanie przyrostowych wersji produktu w dwutygodniowych sprintach. Niemniej jednak wybrane elementy Agile znalazły zastosowanie w zarządzaniu fazą projektową (Design Phase) oraz w commissioningu. W fazie projektowej zespoły branżowe (architekci, projektanci CSA, inżynierowie elektrycy i mechanicy) coraz częściej pracują w modelu iteracyjnym, wykorzystując technologię BIM (Building Information Modeling) jako wspólną platformę koordynacyjną, co wpisuje się w podejście do zarządzania złożonością projektu opisane w standardach PMI (PMI, 2021) a spotkania clash detection przypominają przeglądy sprintu, podczas których wykrywane kolizje są rozstrzygane w czasie rzeczywistym.

W fazie commissioningu elementy Scrum przejawiają się w organizacji codziennych spotkań typu daily stand-up, na których zespoły commissioning agents, wykonawców i przedstawicieli Inwestora omawiają postęp testów poziomu L4 i L5. Testy zintegrowane IST (Integrated Systems Test) są z natury iteracyjne – każdy scenariusz testowy generuje obserwacje, które wymagają dostrojenia parametrów systemów BMS, kalibracji urządzeń pomiarowych lub przeprogramowania logiki sterowania (Uptime Institute, 2018; PM Group, 2023). Tak prowadzony commissioning wykazuje cechy podejścia zwinnego, pozostając jednocześnie w ramach sztywnych procedur dokumentacyjnych narzuconych przez Uptime Institute. Należy jednak zaznaczyć, że próby pełnej implementacji Scrum w fazie wykonawczej Data Center konsekwentnie kończą się niepowodzeniem ze względu na sekwencyjny charakter prac budowlanych oraz wymagania bezpieczeństwa, które nie znoszą improwizacji.

Koszty jakości i ekonomiczny rachunek zarządzania

Każda z omówionych metodyk zarządzania – PMBOK, PRINCE2, Lean Construction i Agile – uwzględnia w swojej strukturze ekonomiczny wymiar jakości. Wspólnym punktem odniesienia jest koncepcja Kosztów Jakości (Cost of Quality – CoQ), rozwijana od lat pięćdziesiątych XX wieku przez Josepha Juran (Juran, 1992) oraz Armanda Feigenbauma (Feigenbaum, 1991). Model CoQ dzieli koszty związane z jakością na cztery kategorie: koszty prewencji (szkolenia, audyty dostawców, planowanie QA), koszty oceny (inspekcje, testy, commissioning), koszty błędów wewnętrznych

(niezgodności wykryte przed odbiorem obiektu) oraz koszty błędów zewnętrznych (awarie wykryte już po oddaniu do eksploatacji). W projektach Data Center proporcje między tymi kategoriami odbiegają istotnie od proporcji charakterystycznych dla tradycyjnego budownictwa – koszty błędów zewnętrznych są wielokrotnie wyższe, gdyż obejmują nie tylko koszty naprawy, ale także kary umowne za niespełnienie SLA, utratę danych klientów operatora kolokacji oraz bezpośrednie szkody wizerunkowe.

Klasyfikacja kosztów jakości w projektach Data Center

Klasyczny model Cost of Quality wyróżnia cztery kategorie kosztów: koszty prewencji (szkolenia, audyty, planowanie jakości), koszty oceny (inspekcje, testy, pomiary), koszty wad wewnętrznych (naprawa usterek wykrytych przed oddaniem do eksploatacji) oraz koszty wad zewnętrznych (naprawa usterek i konsekwencje awarii po oddaniu do eksploatacji). W projektach Data Center proporcje tych kosztów są charakterystyczne: koszty prewencji i oceny są znacząco wyższe niż w tradycyjnym budownictwie (łącznie 3–6% budżetu), lecz koszty wad zewnętrznych mogą być katastrofalnie wysokie – jedna godzina przestoju obiektu klasy Tier III o mocy 30 MW może kosztować operatora więcej niż cały roczny budżet na QA/QC. Ta asymetria tłumaczy, dlaczego Inwestorzy hyperscale akceptują wyższe koszty QA/QC bez protestu – rozumieją, że minimalizacja kosztów wad zewnętrznych jest kluczowym czynnikiem rentowności obiektu przez całe jego życie (Feigenbaum, 1991; Juran, 1992).

W praktyce zarządzania projektem kampusu DCB model CoQ jest stosowany jako argument ekonomiczny przy negocjowaniu zakresu systemu jakości z generalnym wykonawcą. Gdy generalny wykonawca proponuje ograniczenie zakresu inspekcji dla elementów niskiego ryzyka w celu redukcji kosztów, Quality Manager może skalkulować, że oczekiwana wartość kosztu naprawy potencjalnych wad w tych elementach – ważona prawdopodobieństwem ich wystąpienia bez inspekcji – przewyższa koszt samych inspekcji. W ten sposób system zarządzania jakością przestaje być „kosztem bez uzasadnienia”, a staje się inwestycją z mierzalnym zwrotem. Wdrożenie tej logiki ekonomicznej do kultury projektu jest jednym z elementów budowania dojrzałości systemu jakości na poziomie CMM 4 (Feigenbaum, 1991; PM Group, 2023; PMI, 2021).

Z tego powodu w projektach Data Center obserwuje się zjawisko, które można określić jako „przesunięcie krzywej CoQ w lewo”: inwestorzy są skłonni akceptować wyższe koszty prewencji i oceny, jeśli pozwalają one istotnie obniżyć ryzyko wystąpienia błędów zewnętrznych. Według danych PM Group (2023), budżet na QA/QC w projektach infrastruktury krytycznej stanowi od 3 do 6 proc. całkowitego budżetu inwestycyjnego, podczas gdy w tradycyjnym budownictwie kubaturowym rzadko przekracza 1 proc. Ta różnica strukturalna nie jest efektem marnotrawstwa ani nadmiernej biurokracji – wynika z racjonalnego rachunku ekonomicznego, w którym jedna godzina przestoju obiektu klasy Tier III o mocy 30 MW może kosztować operatora więcej niż cały roczny budżet zespołu jakości generalnego wykonawcy.

Ocena dojrzałości systemu zarządzania jakością w projekcie DCB

Stosując model dojrzałości CMM opisany w podrozdziale 1.5, można podjąć próbę wstępnej oceny poziomu dojrzałości systemu zarządzania jakością projektu DCB na obecnym etapie realizacji. W oparciu o obserwacje opisane w poprzednich sekcjach, projekt oscyluje między poziomem 3 (Zdefiniowany) a poziomem 4 (Ilościowo zarządzany) modelu CMM. Procesy są w większości udokumentowane, znormalizowane i wdrożone (co odpowiada poziomowi 3), a kluczowe KPI są mierzone i raportowane (co koresponduje z poziomem 4). Obszarami, w których system nie osiągnął pełnego poziomu 4, są: systematyczność pomiaru satysfakcji zespołu, automatyzacja generowania raportów KPI oraz formalizacja mechanizmów transferu wiedzy między budynkami kampusu. Nie osiągnięto jeszcze poziomu 5 (Optymalizujący), który wymagałby pełni mechanizmów predykcyjnych – co jest zrozumiałe w kontekście wczesnej fazy realizacji kampusu (PM Group, 2023; PMI, 2021).

Perspektywa dojrzałości systemu jakości ma bezpośredni wymiar praktyczny: inwestorzy hyperscale podczas procesu prequalification generalnych wykonawców regularnie prowadzą ocenę dojrzałości ich systemu jakości. Wykonawca z udokumentowanym systemem na poziomie 3–4 CMM ma wyraźną przewagę nad konkurentem działającym na poziomie 1–2. W polskich realiach – gdzie branża Data Center jest stosunkowo nowa – budowanie i dokumentowanie dojrzałości systemu jakości jest zatem strategiczną inwestycją w przyszłe kontrakty, wykraczającą poza wymogi bieżącego projektu. Wnioski z DCB, jeśli zostaną odpowiednio skodyfikowane, mogą stać się częścią polskiego standardu realizacji projektów hyperscale, przyczyniając się do dojrzewania całej branży (PLDCA, 2026; Greenfields, 2026).

Wymogi administracyjne i środowiskowe projektu DCB w kontekście jakości

Projekt kampusu DCB musi spełniać wymagania dyrektywy europejskiej w sprawie efektywności energetycznej budynków (EPBD) oraz jej polskiej transpozycji. W przypadku Data Center standardowe metodyki oceny efektywności energetycznej budynku nie mają bezpośredniego zastosowania, jednak obowiązujące przepisy dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie efektywności energetycznej mają zastosowanie. System zarządzania jakością musi zapewniać, że parametry energetyczne i środowiskowe projektu (w szczególności PUE – Power Usage Effectiveness oraz WUE – Water Usage Effectiveness) są weryfikowane na etapie projektowania i realizacji – nie tylko w celu spełnienia wymagań certyfikacyjnych, ale również w celu udowodnienia Inwestorowi, że osiągnięte wskaźniki są zgodne z projektowanymi (CENELEC, 2019).

Równoległe z wymaganiami środowiskowymi, realizacja kampusu DCB obejmuje szereg obowiązków wynikających z prawa geologicznego i górniczego w zakresie badań geotechnicznych, prawa budowlanego w zakresie pozwoleń na budowę dla każdego obiektu, oraz przepisów o ochronie środowiska w zakresie decyzji środowiskowej. Każdy z tych obowiązków generuje własne wymagania jakościowe i dokumentacyjne, które muszą być zintegrowane z ogólnym systemem zarządzania

jakością projektu. Samorząd gminy Bełchatów oraz Łódzki Urząd Wojewódzki aktywnie wspierają projekt w procesach administracyjnych, co jest szczególnie istotne dla dotrzymania terminów realizacji – jak wskazano na VII Forum Gospodarczym Powiatu Bełchatowskiego, transformacja regionu jest priorytetem dla wszystkich szczebli administracji publicznej (Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; Powiat Bełchatowski, 2026b).

Zarządzanie odpadami budowlanymi stanowi kolejny wymiar wymagań środowiskowych. Realizacja kampusu DCB przez kilka lat wygeneruje tysiące ton odpadów budowlanych. Zgodnie z ustawą o odpadach i rozporządzeniami unijnymi dotyczącymi gospodarki o obiegu zamkniętym, projekt powinien dążyć do maksymalizacji udziału odpadów przekierowanych do recyklingu. Wymóg ten jest jednocześnie kryterium certyfikacyjnym LEED i BREEAM. System zarządzania jakością musi zapewniać ścisłą ewidencję odpadów – ich rodzajów, ilości i sposobu zagospodarowania – co jest elementem systemu zarządzania środowiskiem według ISO 14001 (ISO, 2015c; BRE Global, 2018).

Aspekty BHP jako wymiar zarządzania jakością

Bezpieczeństwo i higiena pracy (BHP) w projekcie kampusu DCB jest ściśle zintegrowane z systemem zarządzania jakością. Wypadki na placu budowy mają bezpośredni wpływ na jakość: przerwanie pracy brygady po wypadku powoduje dezorganizację, pośpiech przy powracaniu do tempa i potencjalne błędy jakościowe. Statystyki PM Group (2023) wskazują, że projekty z wysokim wskaźnikiem wypadkowości (LTIFR – Lost Time Injury Frequency Rate) notują jednocześnie wyższy wskaźnik NCR – nie dlatego, że te zjawiska mają wspólną przyczynę, lecz dlatego, że oba są symptomem niedostatecznej kultury organizacyjnej. Projekt, który poważnie traktuje BHP – prowadząc regularne toolbox talks, egzekwując stosowanie środków ochrony osobistej i reagując natychmiast na niebezpieczne zachowania – jest tym samym projektem, który poważnie traktuje jakość (ISO, 2018).

System Permit-to-Work (PTW), stosowany w projekcie kampusu DCB, jest formalnym mechanizmem integrującym wymagania BHP i jakościowe przy pracach niebezpiecznych. Każde pozwolenie na pracę niebezpieczną (Hot Work Permit dla spawania i szlifowania, Confined Space Entry Permit dla pracy w przestrzeniach zamkniętych, LOTO – Lockout/Tagout Permit dla prac przy energizowanych systemach) wymaga autoryzacji zarówno przez koordynatora BHP, jak i przez przedstawiciela QC. Ten mechanizm zapewnia, że prace niebezpieczne są prowadzone przy pełnej świadomości obu aspektów — bezpieczeństwa wykonawcy i jakości instalacji — i stanowi praktyczne wdrożenie wymagań normy ISO 45001 w środowisku placu budowy (ISO, 2018; PMI, 2021).

Zarządzanie interesariuszami i strukturą odpowiedzialności

Odrębnym wątkiem teorii zarządzania, szczególnie istotnym w projektach Data Center, jest zarządzanie interesariuszami (Stakeholder Management). W klasycznym

modelu Mitchell, Agle i Wood (1997) interesariusze klasyfikowani są według trzech atrybutów: władzy, legitymacji i pilności. Projekt Data Center charakteryzuje się wyjątkowo złożoną mapą interesariuszy: obok Inwestora (często międzynarodowej korporacji typu hyperscale) występują operator obiektu, najemca końcowy (tenant), urząd dozoru energetycznego, operator sieci elektroenergetycznej, gmina goszcząca inwestycję, a nawet społeczność lokalna, której życie może być uciążliwie dotknięte przez pracę agregatów testowych. Każda z tych grup ma odmienne wymagania jakościowe, często wzajemnie sprzeczne – wymagania operatora w zakresie redundancji elektrycznej konfliktują z wymaganiami gminy w zakresie emisji hałasu, a wymagania najemcy w zakresie elastyczności powierzchni serwerowej konfliktują z wymaganiami inspektora BHP w zakresie przejść ewakuacyjnych.

Rozstrzygnięcie tych konfliktów wymaga zastosowania formalnych narzędzi zarządzania, takich jak macierz RACI (Responsible, Accountable, Consulted, Informed), która dla każdego procesu jakościowego jednoznacznie przypisuje role poszczególnym uczestnikom projektu. W praktyce polskich realizacji DC macierz RACI jest załącznikiem do Planu Zarządzania Jakością i podlega weryfikacji podczas audytów Uptime Institute. Jej istnienie i faktyczne stosowanie stanowią jeden z kluczowych wskaźników dojrzałości organizacyjnej zespołu projektowego – projekty, w których macierz RACI pozostaje martwym dokumentem, z reguły cechują się wyższym współczynnikiem niezgodności oraz przedłużającym się procesem commissioningu.

Synteza – zintegrowany model zarządzania Data Center

W praktyce realizacji kampusów Data Center żadna z omówionych metodyk nie jest stosowana w czystej postaci. Generalni wykonawcy rynku polskiego, obsługujący inwestorów typu hyperscale, budują własne hybrydowe systemy zarządzania, wybierając z każdej metodyki elementy najlepiej odpowiadające specyfice projektu. Z PMBOK zapożyczają strukturę dokumentacji projektowej i zintegrowane zarządzanie ryzykiem; z PRINCE2 – zasadę zarządzania przez wyjątki i formalne bramki decyzyjne (Stage Gates); z Lean Construction – Last Planner System i kulturę eliminacji marnotrawstwa; z Agile – iteracyjne spotkania koordynacyjne w fazie projektowej i commissioningu. Taki eklektyczny model odzwierciedla dojrzałość branży i świadczy o tym, że zarządzanie jakością w Data Center wykracza poza ramy jakiegokolwiek pojedynczego standardu metodologicznego.

Podsumowując rozważania niniejszego podrozdziału, należy stwierdzić, że teoria zarządzania projektami dostarcza ram organizacyjnych, w których omówione wcześniej koncepcje jakości, systemy QA/QC oraz normy techniczne mogą być skutecznie wdrażane. Bez odpowiedniego kontekstu metodologicznego nawet najlepiej zaprojektowany system zarządzania jakością pozostaje zbiorem formalnych procedur, które nie przekładają się na realne działania. Dlatego też analiza zarządzania jakością w konkretnym projekcie, która stanowi przedmiot kolejnych rozdziałów niniejszej pracy, musi uwzględniać nie tylko aspekty techniczne i normatywne, ale także aspekty

organizacyjne, kulturowe i ekonomiczne – te same, które są przedmiotem klasycznych i współczesnych nurtów teorii zarządzania.

1.5 Dojrzałość organizacyjna systemu zarządzania jakością i miary jego efektywności

Wdrożenie systemu zarządzania jakością nie jest zdarzeniem jednorazowym, lecz procesem ciągłego dojrzewania organizacji. W literaturze przedmiotu funkcjonuje kilka modeli dojrzałości, które pozwalają organizacji ocenić, na jakim etapie rozwoju jej system jakości się znajduje i jakie kroki są potrzebne do jego dalszego doskonalenia. Najpowszechniej stosowanym w branży budowlanej i inżynierskiej jest model CMM (Capability Maturity Model), adaptowany z przemysłu oprogramowania (PM Group, 2023; PMI, 2021). Model ten wyróżnia pięć poziomów dojrzałości: poziom 1 (Początkowy) – procesy są chaotyczne, sukces zależy od indywidualnych kompetencji; poziom 2 (Zarządzany) – procesy są powtarzalne, lecz nie w pełni zdefiniowane; poziom 3 (Zdefiniowany) – procesy są udokumentowane, znormalizowane i wdrożone; poziom 4 (Ilościowo zarządzany) – procesy są mierzone i kontrolowane; poziom 5 (Optymalizujący) – procesy są stale doskonalone na podstawie danych. W projektach hyperscale Data Center oczekiwane Inwestora co do poziomu dojrzałości to minimum poziom 3, a dla funkcji QA/QC – poziom 4 (PM Group, 2023).

Kluczowe wskaźniki efektywności systemu jakości

Efektywność systemu zarządzania jakością wymaga mierzenia. W teorii zarządzania jakością, od Deminga (1986) poczynając, pomiar jest warunkiem doskonalenia – „jeśli czegoś nie możesz zmierzyć, nie możesz tego zarządzać”. W projektach budowlanych Data Center stosuje się zestaw kluczowych wskaźników efektywności (Key Performance Indicators – KPI) jakości, które można podzielić na trzy grupy: wskaźniki procesu, wskaźniki rezultatu i wskaźniki dojrzałości systemu. Do wskaźników procesu zalicza się: stopień terminowości inspekcji (Inspection Punctuality Rate), wskaźnik pierwszego przejścia (First Pass Yield – FPY) oraz gęstość rejestrowanych niezgodności na 1000 inspekcji (NCR Density). Do wskaźników rezultatu zalicza się: wskaźnik wyrobów defektywnych wykrytych na etapie commissioningu (Defect Rate at Commissioning), czas zamknięcia NCR (NCR Closure Time) oraz liczbę ponownie otwartych NCR (NCR Reopening Rate). Do wskaźników dojrzałości należą: odsetek działań prewencyjnych w stosunku do reaktywnych (Prevention vs. Reaction Ratio), liczba systemowych wdrożeń lessons learned oraz wynik audytów zewnętrznych.

Wdrożenie spójnego zestawu KPI jakości w projekcie Data Center ma nie tylko wartość diagnostyczną, ale też motywacyjną. Badania z obszaru psychologii organizacyjnej wskazują, że transparentność danych dotyczących jakości prowadzi do zwiększenia zaangażowania zespołów wykonawczych w utrzymanie wysokich standardów. Gdy pracownicy widzą, że ich wysiłki mają odzwierciedlenie w mierzalnych wskaźnikach, skłonność do zachowań projakościowych istotnie wzrasta — co wpisuje się w kulturę organizacyjną ciągłego doskonalenia opisywaną przez klasyków zarządzania

jakością (Deming, 1986; Feigenbaum, 1991). W praktyce projektów hyperscale KPI jakości są prezentowane w ramach cotygodniowych spotkań zarządzania projektem, a ich trendy stanowią istotny element dyskusji zarówno wewnętrznych, jak i z Inwestorem. Kluczowe jest, by system KPI był prosty w obsłudze, automatycznie zasilany danymi z CDE, i by nie generował nadmiernego obciążenia administracyjnego – inaczej ryzykuje się, że stanie się celem samym w sobie, a nie narzędziem doskonalenia.

Równowaga między jakością, kosztami a harmonogramem w projekcie hyperscale

Każdy project manager dysponuje ograniczonymi zasobami, a trójkąt projektowy (czas, koszty, zakres/jakość) opisuje fundamentalne napięcie, w którym optymalizacja jednej osi odbywa się kosztem pozostałych (PMI, 2021). W projektach hyperscale Data Center napięcie to ma specyficzną postać: harmonogram jest zredukowany do minimum (każdy tydzień opóźnienia generuje koszt utraconych przychodów operacyjnych Inwestora rzędu wielu milionów złotych), budżet jest kontrolowany z precyzją korporacyjną, a wymagania jakościowe nie podlegają negocjacji ze względu na wymagania certyfikacyjne i bezpieczeństwo danych klientów. W tych warunkach jedynym rozwiązaniem jest budowanie systemu zarządzania jakością w taki sposób, by był on efektywny – tzn. zapewniał wymaganą jakość przy minimalnym narzucie czasowym i kosztowym. Właśnie temu służą: digitalizacja procesów inspekcyjnych, modułowe ITP, risk-based approach w planowaniu inspekcji (koncentracja zasobów QC na elementach krytycznych przy redukcji nadzoru nad elementami niskiego ryzyka) i systematyczna praca z krzywą uczenia w ramach kampusu (PMI, 2021; Ballard & Howell, 2003).

Reasumując, teorię zarządzania jakością w projektach Data Center można ująć w formie trzech zasad integrujących perspektywę klasyczną i współczesną. Po pierwsze, jakość jest właściwością systemową, a nie cechą poszczególnych elementów – jej źródłem jest cały system zarządzania projektem, nie zaś indywidualny wysiłek inspekcyjny (Deming, 1986; Senge, 1990). Po drugie, koszt jakości jest zawsze niższy niż koszt jej braku – nawet jeśli nakłady na prewencję są wysokie, koszty naprawy wad zewnętrznych w fazie operacyjnej przewyższają je wielokrotnie (Juran, 1992; Feigenbaum, 1991). Po trzecie, w środowisku kampusu hyperscale efektywność systemu jakości jest warunkowana cyfryzacją procesów i zdolnością do uczenia się organizacji z powtarzalności kolejnych budynków – zasada, która nie ma odpowiednika w tradycyjnym budownictwie (PM Group, 2023; Ballard & Howell, 2003). Tak zdefiniowane fundamenty teoretyczne stanowią punkt wyjścia do analizy empirycznej systemu zarządzania jakością w projekcie DCB, prezentowanej w kolejnych rozdziałach pracy.

Rozdział 2. Charakterystyka projektu budowy kampusu Data Center

Po przedstawieniu teoretycznych podstaw zarządzania jakością kolejny etap analizy wymaga osadzenia rozważań w konkretnym kontekście inwestycyjnym. Przedmiotem studium przypadku niniejszej pracy jest projekt budowy kampusu Data

Center zlokalizowanego w województwie łódzkim, w gminie Bełchatów, w bezpośrednim sąsiedztwie obrębu Domiechowice. Inwestycja ta reprezentuje nową generację obiektów infrastruktury krytycznej, które pojawiają się w Polsce w odpowiedzi na rosnący popyt globalnych operatorów chmury obliczeniowej na moc obliczeniową zlokalizowaną w Europie Środkowo-Wschodniej. Skala analizowanego przedsięwzięcia – docelowo 360 MW mocy IT oraz 500 MW mocy całkowitej (Total Load) – lokuje je w kategorii inwestycji typu hyperscale, co w polskich realiach stanowi zjawisko wciąż stosunkowo rzadkie, choć dynamicznie rozwijające się.

Charakterystyka projektu budowy kampusu Data Center stanowi niezbędne tło dla zrozumienia systemu zarządzania jakością, który zostanie omówiony w kolejnych rozdziałach. Każdy projekt infrastrukturalny posiada własną specyfikę determinującą zarówno wymagania jakościowe, jak i metody ich realizacji. W przypadku kampusu DCB w Bełchatowie decydujące znaczenie mają trzy cechy: bezprecedensowa w polskich realiach skala inwestycji, etapowy charakter realizacji i zlokalizowanie w centrum transformacji energetycznej regionu. Cechy te tworzą środowisko, w którym system zarządzania jakością musi być jednocześnie rygorystyczny i elastyczny: rygorystyczny, bo wymagania Inwestora hyperscale nie tolerują kompromisów jakościowych, elastyczny, bo długi czas realizacji i skalowalność projektu wymuszają ciągłe dostosowywanie systemu do zmieniającego się kontekstu (PMI, 2021; Datacenters.com, 2026).

Analiza charakterystyki projektu prowadzona w niniejszym rozdziale opiera się na publicznie dostępnych informacjach o projekcie DCB, uzupełnionych o uogólnione obserwacje z podobnych projektów hyperscale. Ze względu na klauzule poufności obowiązujące przy takich projektach, wiele szczegółów technicznych i organizacyjnych pozostaje nieujawnionych publicznie. Prezentowane informacje są jednak wystarczające dla zrozumienia kontekstu, w którym funkcjonuje system zarządzania jakością analizowany w rozdziałach 3 i 4 – co jest głównym celem niniejszego rozdziału. Podrozdziały rozdziału 2, szczególnie podrozdział 2.4 o skalowalności, składają się na kompleksowy opis projektu: jego lokalizację i parametry techniczne, interesariuszy, uwarunkowania oraz model etapowania realizacji (ebelchatow.pl, 2026; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; DCD, 2026).

Wybór tego konkretnego projektu jako przedmiotu studium przypadku nie jest przypadkowy. Kampus w Bełchatowie łączy w sobie cechy, które czynią go szczególnie reprezentatywnym dla analizy mechanizmów zarządzania jakością: realizowany jest dla Inwestora typu hyperscale, wymagającego zgodności z najwyższymi międzynarodowymi standardami technicznymi; jego projektowanie prowadzone jest przez międzynarodowe biuro projektowe, wnoszące światowe doświadczenie w projektowaniu obiektów klasy Tier III i IV; lokalizacja w bezpośrednim sąsiedztwie największego polskiego kompleksu energetycznego zapewnia dostęp do mocy w skali, która w innych regionach kraju byłaby trudna do osiągnięcia. Jednocześnie realizacja w polskich uwarunkowaniach prawnych, organizacyjnych i kulturowych wymusza konieczność adaptacji międzynarodowych

procedur jakościowych do lokalnych realiów rynku wykonawczego, co samo w sobie stanowi ciekawy obszar badawczy.

Rozdział drugi niniejszej pracy stanowi pomost pomiędzy ramami teoretycznymi, przedstawionymi w rozdziale pierwszym, a praktyczną analizą procesów jakościowych, która zostanie przeprowadzona w rozdziałach trzecim i czwartym. Jego celem jest dostarczenie czytelnikowi kompleksowego obrazu badanej inwestycji – jej zakresu technicznego, otoczenia rynkowego i instytucjonalnego, a także specyficznych ograniczeń i wymagań, które determinują sposób wdrożenia systemu zarządzania jakością. Bez takiego osadzenia kontekstowego, analiza jakościowa pozostawałaby oderwana od realiów projektu i traciła wartość aplikacyjną.

Warto w tym miejscu podkreślić, że analizowany obiekt nie jest pojedynczym budynkiem, lecz zespołem obiektów tworzących zintegrowany kompleks funkcjonalny. Pojęcie „kampusu” (ang. data center campus) w branży Data Center oznacza właśnie taki zespół: zbiór niezależnych budynków serwerowych, współdzielących wspólną infrastrukturę techniczną (stację transformatorową wysokiego napięcia, instalacje paliwowe, stacje uzdatniania wody, system retencji deszczówki) oraz wspólną infrastrukturę pomocniczą (budynek administracyjny, strefy parkingowe, ogrodzenie perymetralne, system kontroli dostępu). Takie podejście architektoniczne, określane jako „campus-style development”, zdominowało współczesne budownictwo hyperscale, gdyż pozwala na elastyczne skalowanie mocy obliczeniowej oraz umożliwia etapowanie inwestycji zgodnie z rzeczywistym popytem rynkowym, co stanowi obecnie globalny standard realizacji inwestycji w tym segmencie (Datacenters.com, 2026; PM Group, 2023; Axiom International, 2026).

Z punktu widzenia zarządzania jakością, kampusowy charakter inwestycji rodzi szereg wyzwań, które nie występują w realizacjach pojedynczych budynków. Po pierwsze, występuje zjawisko powtarzalności: dziesięć niemal identycznych budynków serwerowych musi zostać wzniesionych według tego samego standardu jakościowego, co wymaga opracowania szczegółowych wzorców procesowych, tzw. standard work, oraz systematycznego transferu wiedzy między kolejnymi fazami realizacji. Po drugie, wspólna infrastruktura krytyczna (stacja HV, zbiorniki paliwa, systemy retencji) musi zostać zaprojektowana i wykonana z uwzględnieniem redundancji obejmującej wszystkie obsługiwane budynki, co znacząco podnosi wymagania dotyczące dokumentacji projektowej i testów odbiorczych. Po trzecie, harmonogram kampusu typu hyperscale charakteryzuje się jednoczesnym prowadzeniem prac w różnych fazach zaawansowania: podczas gdy jeden budynek jest już testowany w ramach commissioningu poziomu L5, sąsiedni znajduje się dopiero w fazie prac wykończeniowych, a kolejny – w fazie konstrukcji żelbetowej. Taka konfiguracja wymusza istnienie rozbudowanego aparatu koordynacji jakościowej, zdolnego do obsługi wielu równoległych strumieni prac.

Analizowana inwestycja w Bełchatowie została zaprojektowana z myślą o wieloletnim okresie realizacji, podzielonym na fazy rozwoju (ang. phased development). Obecna dokumentacja projektowa na poziomie test-fit obejmuje docelową konfigurację

kampusu: dziesięć jednokondygnacyjnych budynków Data Center, każdy o mocy 36 MW IT oraz 50 MW mocy całkowitej, zlokalizowanych na działce o powierzchni około 53 hektarów. Całkowita moc obliczeniowa kampusu w konfiguracji docelowej osiągnie zatem 360 MW IT oraz 500 MW mocy zasilania (z uwzględnieniem narzutów PUE oraz infrastruktury pomocniczej). Parametry te plasują Bełchatów wśród największych kampusów Data Center w regionie Europy Środkowo-Wschodniej i porównywalnie z wiodącymi inwestycjami we Frankfurcie, Dublinie czy Amsterdamie – tradycyjnie określanych jako rynki FLAP (Frankfurt, London, Amsterdam, Paris).

Niniejszy rozdział został podzielony na trzy części, odzwierciedlające trzy zasadnicze wymiary charakterystyki inwestycji. Podrozdział 2.1 prezentuje opis projektu w jego wymiarze technicznym i przestrzennym – omówione zostaną parametry techniczne poszczególnych budynków, układ funkcjonalny kampusu, infrastruktura pomocnicza oraz założenia dotyczące faz realizacji. Podrozdział 2.2 przedstawia mapę interesariuszy projektu – zarówno interesariuszy wewnętrznych (Inwestor, generalny wykonawca, projektant, podwykonawcy branżowi), jak i zewnętrznych (administracja publiczna, operator systemu elektroenergetycznego, społeczność lokalna) – wraz z analizą ich ról i wymagań jakościowych. Podrozdział 2.3 koncentruje się na uwarunkowaniach technicznych i organizacyjnych, które determinują przebieg realizacji – od lokalnego otoczenia infrastrukturalnego i przyrodniczego, przez ramy prawne, po wyzwania związane z dostępnością wykwalifikowanej kadry na polskim rynku budowlanym.

Należy zaznaczyć, że analiza prezentowana w niniejszym rozdziale opiera się na publicznie dostępnych informacjach o charakterystyce ogólnej inwestycji, uzupełnionych o doświadczenia autora związane z pracą w branży Data Center. Ze względu na poufność szczegółowych danych technicznych i kontraktowych, charakterystycznych dla projektów realizowanych dla Inwestorów typu hyperscale, niektóre informacje (nazwy firm uczestniczących, szczegółowe parametry systemów krytycznych, warunki kontraktowe) zostały celowo zanonimizowane lub przedstawione w formie uogólnionej. Takie podejście pozwala na rzetelną analizę mechanizmów zarządzania jakością bez naruszania zobowiązań poufności wiążących uczestników rzeczywistego procesu inwestycyjnego. Przyjęty poziom szczegółowości jest przy tym wystarczający, aby zrealizować założony cel badawczy, jakim jest analiza i ocena systemu zarządzania jakością w reprezentatywnym projekcie budowy kampusu Data Center.

2.1 Opis projektu

Analizowany kampus Data Center zlokalizowany jest w gminie Bełchatów, w bezpośrednim sąsiedztwie miejscowości Domiechowice, na działce o powierzchni około 53 hektarów. Wybór tej konkretnej lokalizacji wynika z kilku czynników strategicznych, wśród których pierwszorzędne znaczenie ma dostęp do mocy elektrycznej. Obszar Bełchatowa od lat funkcjonuje jako największy polski ośrodek produkcji energii elektrycznej, co zapewnia realną możliwość zasilenia obiektu o docelowej mocy 500 MW

– parametru, który w większości polskich regionów byłby trudny do osiągnięcia z uwagi na ograniczenia przepustowości krajowej sieci przesyłowej.

Teren inwestycji zlokalizowany jest w pobliżu stacji elektroenergetycznej Rogowiec – jednej z największych stacji transformatorowych Polskiej Sieci Elektroenergetycznych w tej części kraju, bezpośrednio powiązanej z Elektrownią Bełchatów. Kluczowym elementem infrastruktury energetycznej dla projektu DCB jest Główny Punkt Zasilający Kurnos, który – według informacji wójta Gminy Bełchatów Konrada Koca – jest jedynym w Polsce GPZ posiadającym trzy złącza światłowodowe, co zapewnia wyjątkowy poziom bezpieczeństwa telekomunikacyjnego (ebelchatow.pl, 2026). Inwestor uzyskał warunki przyłączeniowe dla pełnych 500 MW jeszcze w 2024 roku, co wyprzedza o kilka kroków typowy czas oczekiwania na tego rodzaju decyzje, raportowany jako jeden z głównych czynników hamujących inwestycje Data Center w Polsce (Greenfields, 2026).

Pod względem geograficznym i logistycznym, kampus DCB korzysta z położenia w centrum Polski, w odległości kilkudziesięciu kilometrów od drogi ekspresowej S8 łączącej Wrocław z Warszawą oraz w bezpośredniej strefie oddziaływania Bełchatowsko-Kleszczowskiego Parku Przemysłowo-Technologicznego. Centralne położenie w Polsce zmniejsza ryzyko opóźnień dostaw urządzeń i materiałów oraz umożliwia szybki dojazd personelu wykonawczego z głównych polskich ośrodków metropolitalnych. Jest to istotny czynnik w kontekście specyficznych wymagań kadrowych projektu hyperscale – konieczności pozyskania kilkuset wykwalifikowanych pracowników w szczycie realizacji (Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; Investmap, 2026).

Parametry techniczne planowanego kampusu plasują go w kategorii, którą branża Data Center określa jako large mid-scale hyperscale campus: łączna moc zainstalowana 500 MW Total Load (ok. 360 MW IT Load), powierzchnia netto sal serwerowych rzędu kilkuset tysięcy metrów kwadratowych w konfiguracji docelowej, współczynnik PUE (Power Usage Effectiveness) projektowany na poziomie poniżej 1,3 – co jest parametrem typowym dla najnowocześniejszych europejskich realizacji hyperscale. Układ 10 identycznych budynków Data Center, każdy o mocy 50 MW Total Load i zawierający 3 przestrzenie kolokacyjne, jest analogiczny do kampusu T5 Grayslake w Chicago (1,2 GW, 20 × 60 MW) (AI CERTs, 2025), co potwierdza, że model architektoniczny DCB wpisuje się w globalny standard branżowy. Wyjątkowość DCB na mapie Europy Środkowej wyraża się w tym, że jest to pierwsza inwestycja o tej skali realizowana w naszym regionie – co oznacza zarówno ogromne możliwości, jak i brak miejscowych precedensów do naśladowania (DCD, 2026; Portalsamorzadowy.pl, 2026).

Wpływ Inwestora hyperscale na standardy jakościowe projektu

Inwestorzy typu hyperscale – korporacje z doświadczeniem w realizacji dziesiątek lub setek obiektów Data Center na całym świecie – wnoszą do projektu kompendium wiedzy i standardów, które istotnie kształtują wymagania jakościowe. W projekcie DCB

Inwestor funkcjonuje jako partner techniczny, określający baseline jakościowy poprzez dokumenty Owner's Project Requirements (OPR), Basis of Design (BoD) i Commissioning Plan, które są przekazywane generalnemu wykonawcy jako niezmiennie minimum. Dokumenty te stanowią podstawę procesu commissioningu, definiując wymagania właściciela (Owner's Requirements), które muszą być zweryfikowane na każdym poziomie testów L1–L5 (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021). Jednak wymagania te często wykraczają ponad lokalną normę: mogą obejmować specyficzne wymagania dotyczące spawania rurociągów (np. certyfikacja spawaczy do poziomu ASME IX dla instalacji wysokiego ciśnienia), własny standard okablowania strukturalnego (zastępujący standardy BICSI własnymi specyfikacjami), specyficzne procedury testów akceptacyjnych FAT dla kluczowych urządzeń, czy obowiązkowy format i zawartość dokumentacji powykonawczej (Uptime Institute, 2018; TIA, 2024).

Komunikacja z Inwestorem jest jednym z kluczowych aspektów zarządzania jakością projektu. Inwestorzy hyperscale oczekują regularnych raportów jakościowych (Weekly Quality Reports), dostępu do systemu CDE w czasie rzeczywistym, możliwości niezapowiedzianych inspekcji terenowych oraz eskalacji poważnych NCR bezpośrednio do Project Executivów. Owner's Quality Representative – przedstawiciel Inwestora ds. jakości – jest stałym uczestnikiem życia placu budowy, obecnym przy wszystkich istotnych testach i kluczowych inspekcjach. Budowanie efektywnej, otwartej komunikacji z Owner's QR jest zatem jednym z priorytetów Quality Managera generalnego wykonawcy. Zaufanie Inwestora do systemu jakości GW przekłada się bezpośrednio na płynność procesu zatwierdzania kluczowych dokumentów i szybkość rozstrzygnięcia spornych NCR – co z kolei wpływa na harmonogram całego projektu (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Parametry techniczne kampusu

Docelowa konfiguracja kampusu obejmuje dziesięć jednokondygnacyjnych budynków Data Center, każdy o mocy obliczeniowej 36 MW IT Capacity oraz 50 MW mocy całkowitej (Total Load). Daje to sumaryczną moc IT rzędu 360 MW oraz moc całkowitą 500 MW, uwzględniającą zużycie energii przez systemy chłodzenia, zasilania awaryjnego, oświetlenia, bezpieczeństwa oraz straty w systemach dystrybucji energii. Zaprojektowany współczynnik PUE (Power Usage Effectiveness) w szczycie projektowym wynosi 1,4 i jest wykorzystywany jako parametr wymiarujący dla wszystkich systemów wspierających. W normalnej eksploatacji, przy typowych warunkach klimatycznych dla centralnej Polski, oczekiwana średnioroczna wartość PUE wynosi około 1,2, co lokuje obiekt w czołówce europejskich Data Center pod względem efektywności energetycznej, zgodnie z klasyfikacją norm EN 50600 i wskaźnikami referencyjnymi branży (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018; Datacenters.com, 2026). Komplementarnym wskaźnikiem jest WUE (Water Usage Effectiveness), określający zużycie wody na jednostkę energii zużytej przez sprzęt IT – projektowany system chłodzenia w DCB zakłada optymalizację obu wskaźników jednocześnie, z priorytetem dla rozwiązań free-cooling w klimacie centralnej Polski.

Typowy budynek Data Center w analizowanym kampusie jest obiektem specjalistycznym, którego układ funkcjonalny odbiega od klasycznych budynków biurowych czy magazynowych. Wewnątrz każdego z dziesięciu budynków wyodrębnione zostały pięć stref funkcjonalnych: przestrzeń IT (IT Space) – właściwa hala serwerowa mieszcząca szafy rackowe; przestrzeń mechaniczna (Mechanical Space) – obejmująca urządzenia chłodzenia precyzyjnego, pompy, wymienniki ciepła; przestrzeń elektryczna (Electrical Space) – mieszcząca rozdzielnie średniego i niskiego napięcia, systemy UPS oraz baterie akumulatorów; przestrzeń komunikacyjna (Circulation Space) – korytarze techniczne, strefy logistyczne, pomieszczenia obsługi; przestrzeń wspomagająca (Support Space) – pomieszczenia biurowe operatorów, sanitariaty, magazyny podręczne. Taki podział funkcjonalny jest bezpośrednim odzwierciedleniem wymagań norm Uptime Institute oraz ANSI/TIA-942, które wymagają fizycznego oddzielenia stref o różnych funkcjach jako jednego z warunków uzyskania certyfikacji Tier III lub IV.

Infrastruktura pomocnicza kampusu

Poza dziesięcioma budynkami serwerowymi, zakres inwestycji obejmuje rozbudowaną infrastrukturę pomocniczą, bez której funkcjonowanie kampusu nie byłoby możliwe. Kluczowym elementem tej infrastruktury jest stacja transformatorowa wysokiego napięcia (High-Voltage Substation), zapewniająca transformację energii z poziomu sieci przesyłowej do poziomu odpowiedniego dla rozdzielni średniego napięcia poszczególnych budynków. Ze względu na skalę zasilania (500 MW), stacja HV analizowanego kampusu ma parametry porównywalne z dużymi podstacjami miejskimi i wymaga uzgodnień z krajowym operatorem systemu przesyłowego.

Drugim krytycznym elementem infrastruktury pomocniczej jest gospodarka paliwowa, której zadaniem jest zapewnienie zasilania awaryjnego dla agregatów prądotwórczych. W skład tej gospodarki wchodzi: obszar zbiorników paliwa (Fuel Tanks Area), stacja pompowania paliwa (Fuel Pump Station), instalacja oczyszczania paliwa (Fuel Polishing Skid) oraz – charakterystyczne dla nowoczesnych DC – zbiorniki i stacja pompowania mocznika (Urea Tanks Area, Urea Pump Station) wykorzystywanego w systemach SCR (Selective Catalytic Reduction) redukujących emisję tlenków azotu z agregatów. Pojemność zbiorników paliwa została zwymiarowana tak, aby zapewnić autonomię kampusu przez co najmniej 72 godziny pracy pełnej mocy bez uzupełnienia, co odpowiada wymaganiom Uptime Institute dla obiektów klasy Tier IV. Dodatkowe punkty wjazdu dla cystern paliwa (Main Cistern Entrance, Additional Cistern Entrance) zostały zaprojektowane z zachowaniem pełnej redundancji dróg dostawy.

Kolejnym istotnym obszarem infrastruktury jest gospodarka wodna, obejmująca dwie stacje uzdatniania wody (Water Treatment Stations) zapewniające uzdatnioną wodę dla systemów chłodzenia oraz instalacji sanitarnych, a także dwa zbiorniki retencyjne wód opadowych (Storm Water Tanks) wraz z odpowiednim wyposażeniem. Zbiorniki retencyjne pełnią podwójną funkcję: po pierwsze, zarządzają odpływem wód deszczowych z dużej powierzchni utwardzonej kampusu, co ma znaczenie środowiskowe

i jest wymagane decyzjami administracyjnymi; po drugie, stanowią rezerwę wody pożarowej dla systemu ochrony przeciwpożarowej. W każdym z budynków serwerowych zaprojektowano pomieszczenia stacji pomp pożarowych (Fire Plant Rooms), wyposażone w pompy wysokiej wydajności oraz systemy sprinklerowe i gazowe gaszenia pożaru typowe dla przestrzeni serwerowych. Dodatkowo, na terenie kampusu przewidziano instalację odzysku ciepła (Heat Recovery Plant Room), co wpisuje się w globalną tendencję wykorzystywania ciepła odpadowego Data Center do celów zewnętrznych, np. ogrzewania systemów miejskich.

Układ funkcjonalny i infrastruktura usługowa

Infrastruktura usługowa kampusu obejmuje dedykowany budynek administracyjny (Admin. Building), stanowiący centrum zarządzania operacyjnego obiektu w fazie eksploatacji. W jego strukturze znajdują się pomieszczenia Network Operation Center (NOC) – czynne w trybie całodobowym stanowisko monitorowania pracy kampusu, pomieszczenia zespołu facility management, przestrzenie spotkań z klientami operatorskimi oraz zaplecze socjalne. Dla potrzeb ruchu kołowego zaprojektowano wydzielone strefy parkingowe łącznie mieszczące około 200 miejsc postojowych, obsługujących kadrę operacyjną kampusu oraz gości odwiedzających.

Istotną cechą rozwiązań projektowych kampusu w Bełchatowie jest wielowarstwowy system bezpieczeństwa obwodowego. Cały teren otoczony jest bezpiecznym ogrodzeniem z wydzielonymi strefami kontroli dostępu. Zaprojektowano wyraźny podział na strefy zabezpieczone (Main Site Entrance z budynkiem portierni – Guard House, brama bezpieczeństwa – Security Gate) oraz strefy niezabezpieczone (Non-Secured Area). Dodatkowe bramy techniczne (Technical Gate, Storm Water Tank Gate, Fuel Pump Station Gate) zapewniają kontrolowany dostęp do poszczególnych obszarów kampusu dla personelu serwisowego i dostawców. Na terenie kampusu wydzielono również strefy zieleni (Potential Amenity Green Spaces), pełniące funkcję bufora akustycznego, wizualnego oraz retencyjnego, a także miejsca dla rowerów (Bike Racks), co stanowi element certyfikacji środowiskowej LEED lub BREEAM.

Warto zaznaczyć, że na analizowanym terenie zidentyfikowane zostało stanowisko archeologiczne (Archaeological Site), które wymaga zachowania stref ochronnych oraz prowadzenia nadzoru archeologicznego w trakcie prac ziemnych. Element ten stanowi typowe wyzwanie uwarunkowań terenowych w polskich realiach inwestycyjnych i bezpośrednio wpływa na planowanie logistyki budowy. W obrębie działki wydzielono także obszar przeznaczony pod przyszłą rozbudowę (Area for Future Development), co stanowi wyraz strategii etapowania inwestycji oraz zabezpiecza możliwość dalszego wzrostu mocy obliczeniowej w horyzoncie kilku lub kilkunastu lat. Taki rozwojowy charakter kampusu, typowy dla projektów hyperscale, stanowi dodatkowe wyzwanie dla systemu zarządzania jakością – wymaga bowiem projektowania infrastruktury pomocniczej z nadmiarowością kompatybilną z przyszłą fazą rozwojową, co z kolei podnosi wymagania jakościowe już na obecnym etapie realizacji.

2.2 Interesariusze projektu

Skuteczne zarządzanie jakością w projekcie o tak dużej skali jak kampus Data Center w Bełchatowie wymaga precyzyjnego zidentyfikowania wszystkich interesariuszy oraz zrozumienia ich ról, oczekiwań i wpływu na parametry jakościowe obiektu. W niniejszym podrozdziale zastosowano klasyfikację opartą na modelu Mitchell, Agle i Wood (1997), uwzględniającą trzy atrybuty interesariusza: władzę (power), legitymację (legitimacy) oraz pilność (urgency). Przedstawiony poniżej przegląd obejmuje zarówno interesariuszy wewnętrznych, bezpośrednio zaangażowanych w proces realizacji, jak i interesariuszy zewnętrznych, których wpływ wynika z otoczenia prawnego, społecznego lub instytucjonalnego projektu.

Model Mitchell, Agle i Wood (1997) wyróżnia interesariuszy na podstawie trzech atrybutów: władzy (zdolność do wywierania wpływu na decyzje projektu), legitymacji (zakres w jakim roszczenia interesariusza są prawnie, moralnie lub kontraktowo uzasadnione) i pilności (stopień, w jakim żądania interesariusza wymagają natychmiastowego działania). W kontekście projektu kampusu DCB Inwestor hyperscale łączy wszystkie trzy atrybuty w pełnym wymiarze: ma decydującą władzę kontraktową, pełną legitymację właścicielską i pilne oczekiwania harmonogramowe (każdy miesiąc opóźnienia to koszt utraconych przychodów). Na przeciwległym biegunie znajdują się interesariusze publiczni (mieszkańcy gminy Bełchatów): mają legitymację społeczną i pewną siłę polityczną (poprzez radnych), lecz niską pilność i ograniczoną bezpośrednią władzę nad decyzjami projektowymi. Zarządzanie interesariuszami o różnych profilach atrybutów wymaga dostosowanej strategii komunikacyjnej (Mitchell et al., 1997; PMI, 2021).

Inwestor typu hyperscale

Kluczowym interesariuszem projektu, skupiającym jednocześnie wszystkie trzy atrybuty modelu Mitchell, Agle i Wood, jest Inwestor – międzynarodowa korporacja z sektora tzw. hyperscalerów, czyli globalnych dostawców usług chmurowych. Tego typu Inwestorzy charakteryzują się ustandaryzowanym na poziomie korporacyjnym podejściem do projektowania i budowy Data Center, wypracowanym przez dziesiątki wcześniejszych realizacji na różnych rynkach geograficznych. Ich wymagania jakościowe są skodyfikowane w wewnętrznych dokumentach typu Owner's Project Requirements (OPR), specyfikacjach Basis of Design (BoD) oraz szczegółowych standardach wykonawczych (Construction Specifications). Dokumenty te często wykraczają poza publicznie dostępne normy branżowe, wprowadzając własne, bardziej rygorystyczne wymagania w zakresie materiałów, rozwiązań technicznych czy procedur testowych.

Struktura organizacyjna Inwestora po stronie projektu jest złożona i obejmuje szereg funkcji: Project Director odpowiedzialny za nadzór nad realizacją, Construction Manager (CM) sprawujący bieżącą kontrolę na placu budowy, Quality Manager egzekwujący wymagania jakościowe, Commissioning Manager koordynujący procesy testowe, a także zespoły specjalistów branżowych (Electrical Lead, Mechanical Lead,

IT/Network Lead). Każda z tych osób posiada własne kompetencje decyzyjne i wnosi do projektu specyficzne wymagania, które muszą być skutecznie skoordynowane przez generalnego wykonawcę.

Międzynarodowe biuro projektowe

Za opracowanie dokumentacji projektowej analizowanego kampusu odpowiada międzynarodowe biuro projektowe, specjalizujące się w projektowaniu obiektów infrastruktury krytycznej dla sektora Data Center. Biuro to wnosi do projektu globalne doświadczenie, wypracowane na dziesiątkach wcześniejszych realizacji na rynkach amerykańskim, europejskim i azjatyckim. Z perspektywy zarządzania jakością, wybór takiego projektanta niesie ze sobą istotne konsekwencje: dokumentacja projektowa powstaje zgodnie z międzynarodowymi standardami (często bazującymi na systemach imperialnych oraz normach amerykańskich, takich jak ASHRAE, NFPA czy IEEE), co wymaga późniejszej adaptacji do polskich warunków normatywnych. Zespół projektowy prowadzi pracę w wielu lokalizacjach geograficznych jednocześnie, co wymusza systematyczne stosowanie technologii Building Information Modeling (BIM) oraz platform wspólnej pracy projektowej.

Biuro projektowe odpowiada również za koordynację międzybranżową – proces wykrywania kolizji pomiędzy poszczególnymi branżami (architektonicznymi, konstrukcyjnymi, elektrycznymi, mechanicznymi, teletechnicznymi) przed przekazaniem dokumentacji do realizacji. W analizowanym kampusie koordynacja ta jest prowadzona w środowisku BIM, a wykrywane kolizje są rejestrowane i zamykane w ramach cyklicznych spotkań typu clash detection. Skuteczność tego procesu ma bezpośrednie przełożenie na liczbę niezgodności (NCR) powstających w fazie wykonawczej – im dokładniejsza koordynacja w fazie projektowej, tym mniej problemów na placu budowy.

Generalny wykonawca i podwykonawcy branżowi

Kluczową rolę w procesie realizacyjnym pełni generalny wykonawca (GW/GC), odpowiedzialny za wykonanie robót zgodnie z dokumentacją projektową i wymaganiami Inwestora. W projektach hyperscale w Polsce rolę GW pełnią z reguły duże spółki budowlane – zarówno polskie, jak i zagraniczne – dysponujące zasobami kadrowymi i finansowymi adekwatnymi do skali przedsięwzięcia. Ze względu na specyfikę Data Center, GW często współpracuje z zespołami specjalistycznymi dedykowanymi wyłącznie do tego typu projektów, posiadającymi certyfikowanych inżynierów jakości (QA/QC Engineers), koordynatorów commissioningu (Commissioning Coordinators) oraz specjalistów od testów technicznych (Test Engineers).

Poniżej GW funkcjonuje rozbudowana struktura podwykonawców branżowych. W projekcie kampusu wyróżnić można podwykonawców robót ogólnobudowlanych (CSA – Civil, Structural, Architectural), odpowiedzialnych za konstrukcję żelbetową, mурową oraz wykończenia; podwykonawców elektrycznych, obsługujących instalacje niskiego i średniego napięcia, rozdzielnie, systemy UPS oraz agregaty prądowłórcze;

podwykonawców mechanicznych, realizujących systemy chłodzenia, wentylacji oraz instalacji sanitarnych; podwykonawców teletechnicznych, zajmujących się okablowaniem strukturalnym, systemami BMS, systemami bezpieczeństwa; wyspecjalizowanych dostawców systemów gazowego gaszenia pożaru oraz systemów kontroli dostępu. Łączna liczba firm uczestniczących w realizacji kampusu tej skali przekracza z reguły kilkadziesiąt podmiotów, a liczba pracowników na placu budowy w szczyt realizacji może sięgać dwóch tysięcy osób.

Interesariusze zewnętrzni – administracja publiczna i otoczenie społeczne

Drugą grupę interesariuszy stanowią podmioty z otoczenia zewnętrznego projektu. Na poziomie administracji publicznej, kluczową rolę pełni Gmina Bełchatów, wydająca decyzje o warunkach zabudowy oraz pozwolenia na budowę, a także uzgadniająca warunki przyłączenia do infrastruktury miejskiej. Starostwo Powiatowe w Bełchatowie, jako organ wyższego szczebla, sprawuje nadzór nad procesem administracyjnym. Wojewódzki Inspektor Nadzoru Budowlanego posiada kompetencje kontrolne w zakresie zgodności realizacji z prawem budowlanym. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska wydaje decyzje środowiskowe dotyczące emisji hałasu agregatów, gospodarki wodnej oraz ochrony lokalnych ekosystemów – co ma szczególne znaczenie ze względu na sąsiedztwo Lasów Państwowych Nadleśnictwa Bełchatów.

Szczególną rolę pełni operator krajowego systemu elektroenergetycznego, z którym uzgadniane są warunki przyłączenia kampusu do sieci przesyłowej. Ze względu na skalę zapotrzebowania na moc (500 MW), uzgodnienia te wykraczają poza typowy zakres decyzji przyłączeniowej i obejmują analizy wpływu nowego odbiorcy na stabilność systemu, wymagania dotyczące kompensacji mocy biernej, oraz ewentualne zobowiązania inwestycyjne związane z rozbudową sieci przesyłowej. Równoległy charakter mają uzgodnienia z urzędem dozoru technicznego w zakresie urządzeń ciśnieniowych (zbiorniki paliwa i wody) oraz z Państwową Strażą Pożarną w zakresie zabezpieczeń przeciwpożarowych. Nie bez znaczenia pozostaje również społeczność lokalna – mieszkańcy Domiechowic i okolicznych miejscowości, których jakość życia może być potencjalnie dotknięta przez inwestycję (emisja hałasu, intensywność ruchu ciężarowego, zmiana krajobrazu). Rola tej grupy, choć klasyfikowana jako „dyskrecyjna” w modelu Mitchell, może w sytuacjach konfliktowych przejść w kategorię „pilną”, co wymaga aktywnego zarządzania komunikacją społeczną przez Inwestora.

Infrastruktura sieciowa i telekomunikacyjna kampusu

W strukturze organizacyjnej projektu Data Center infrastruktura sieciowa i telekomunikacyjna stanowi jeden z najważniejszych wymiarów jakościowych – choć nierzadko niedoceniany w porównaniu z bardziej widoczną infrastrukturą energetyczną. W przypadku kampusu DCB szczególne znaczenie ma fakt, że lokalizacja w sąsiedztwie GPZ Kurnos zapewnia dostęp do trzech niezależnych złączy światłowodowych – atrybutu, który w Polsce jest unikalny i stanowi jeden z kluczowych czynników przewagi konkurencyjnej tej lokalizacji (ebelchatow.pl, 2026). Redundantność połączeń

sieciowych jest elementem architektury odporności (ang. resilience architecture), która w standardach Uptime Institute Tier III i IV jest wymogiem obligatoryjnym.

Infrastruktura sieciowa w obrębie kampusu obejmuje dwie zasadnicze warstwy. Zewnętrzna warstwa łączności (upstream connectivity) obejmuje wspomniane trzy łącza światłowodowe z różnych kierunków, zabezpieczając kampus przed utratą łączności w wyniku uszkodzenia jednego z nich (np. w wyniku robót drogowych, klęski żywiołowej lub awarii technicznej). Wewnętrzna sieć kampusu obejmuje okablowanie strukturalne wewnątrz każdego budynku Data Center (najczęściej oparte na standardzie BICSI lub wymaganiach własnościowych Inwestora), sieć kampusową łączącą budynki (typowo wielokorytarzowa trasa kablowa z rozgałęzieniami dla każdego obiektu), oraz infrastrukturę zarządzania siecią (Network Operations Center – NOC, systemy monitorowania łączy, automatyzacja failover). Każda z tych warstw podlega odrębnym procedurom inspekcji jakościowej i odrębnym certyfikacjom pomiarowym.

Systemy zarządzania budynkiem (BMS) jako interesariusz systemu jakości

Odrębną kategorię interesariuszy systemu zarządzania jakością stanowią systemy automatyki budynkowej, a w szczególności system BMS (Building Management System), DCIM (Data Center Infrastructure Management) oraz SCADA zarządzająca instalacjami energetycznymi wysokiego i średniego napięcia. Systemy te pełnią podwójną rolę: po pierwsze, są przedmiotem jakości (muszą być zainstalowane, skonfigurowane i przetestowane zgodnie z wymaganiami), a po drugie, są narzędziem monitorowania jakości operacyjnej obiektu po oddaniu do eksploatacji. Szczególnie istotna jest warstwa integracji pomiędzy tymi systemami – poprawne połączenie BMS z systemem alarmowania, systemem kontroli dostępu, systemem gaszenia pożaru i systemem DCIM jest jednym z najtrudniejszych aspektów technicznych commissioningu poziomu L5 i generuje dużą liczbę NCR w fazie IST (Uptime Institute, 2018).

Z perspektywy zarządzania jakością, BMS i DCIM wprowadzają do procesu realizacyjnego dodatkowy wymiar: konfigurację oprogramowania. W odróżnieniu od elementów mechanicznych i elektrycznych, których jakość jest weryfikowana wizualnie i pomiarami fizycznymi, konfiguracja systemów IT jest niewidoczna i może zawierać błędy logiczne niemożliwe do wykrycia bez specjalistycznych testów funkcjonalnych. Wymaga to od zespołu QC kompetencji informatycznych (znajomość protokołów komunikacyjnych BACnet, Modbus, SNMP) i zaangażowania dostawców systemów w procesy commissioningowe. W projektach hyperscale Data Center testy konfiguracji BMS stanowią typowo od 15 do 25 procent całkowitego czasu fazy L4/L5, co czyni je jedną z najbardziej czasochłonnych kategorii testów (PM Group, 2023).

Rola generalnego wykonawcy jako integratora jakości kampusu

Wśród wszystkich interesariuszy projektu kampusu DCB szczególną rolę pełni generalny wykonawca, który w modelu hyperscale jest integratorem całości procesu jakościowego. Jego odpowiedzialność obejmuje: zapewnienie jakości własnych prac budowlanych, weryfikację jakości prac podwykonawców, koordynację harmonogramów

inspekcji punktowych, obsługę rejestru NCR, organizację i nadzór nad procesem commissioningu oraz formalne przekazanie dokumentacji powykonawczej. To unikalne połączenie odpowiedzialności wykonawczej i kontrolnej wymaga odpowiednich struktur organizacyjnych i polityki niezależności wewnętrznego nadzoru jakości. Generalny wykonawca jest zatem nie tylko odpowiedzialny za wybudowanie obiektu, ale za stworzenie i utrzymanie systemu, który zapewnia, że każdy element projektu spełnia wymagania. Ta podwójna odpowiedzialność – za jakość własną i za jakość nadzorowaną – jest jednym z najważniejszych wyróżników projektów Data Center w porównaniu z tradycyjnym budownictwem kubaturowym (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Rola Owner's Quality Representative (OQR) w projekcie kampusu

Owner's Quality Representative (OQR) jest kluczową postacią w systemie zarządzania jakością projektu hyperscale. Reprezentuje Inwestora na placu budowy i ma pełnomocnictwo do wstrzymania wszelkich prac, które jego zdaniem nie spełniają wymagań jakościowych. OQR uczestniczy w cotygodniowych spotkaniach jakościowych, zatwierdza kluczowe dokumenty, prowadzi niezapowiedziane inspekcje terenowe i na bieżąco informuje Inwestora o wszelkich problemach. W odróżnieniu od Quality Managera generalnego wykonawcy – który ma odpowiedzialność za całość systemu jakości, lecz z perspektywy wykonawcy – OQR ma wyłącznie perspektywę właściciela: interesuje go nie proces, lecz rezultat. Ta komplementarność perspektyw tworzy zdrowy system wzajemnej kontroli, który jest jedną z gwarancji jakości obiektów hyperscale. W projekcie DCB OQR jest fizycznie obecny na placu budowy co najmniej kilka dni w tygodniu, a w kluczowych fazach commissioningu – pełnoetatowo (PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

W relacji generalny wykonawca – podwykonawcy kluczowe znaczenie mają jasno zdefiniowane wymogi jakościowe w umowach podwykonawczych. Standardowe umowy podwykonawcze w projektach hyperscale obejmują: zobowiązanie do stosowania zatwierdzonego planu jakości, obowiązek uczestnictwa w szkoleniach onboardingowych QC, obowiązek terminowego reagowania na NCR (standardowo w ciągu 24 godzin) oraz prawo GW do zawieszenia prac podwykonawcy w przypadku powtarzających się niezgodności. Sankcje kontraktowe powiązane z jakością są coraz powszechniejszą praktyką – podwykonawcy systematycznie generujący wysoki strumień NCR mogą zostać objęci specjalnym nadzorem lub zastąpieni. W kontekście projektu DCB realizowanego w Polsce, gdzie wiele firm wykonawczych po raz pierwszy zetknęło się z wymaganiami jakościowymi na poziomie hyperscale, aktywne zarządzanie tym wymiarem przez generalnego wykonawcę jest elementem kluczowym (PM Group, 2023; Powiat Bełchatowski, 2026a).

Interesującym aspektem struktury interesariuszy projektu DCB jest transformacyjny charakter lokalizacji. VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego z 21 kwietnia 2026 roku odbyło się pod hasłem „Bełchatów jako centrum transformacji energetycznej Polski” – co wskazuje, że projekt DCB funkcjonuje w środowisku instytucji transformacyjnych: PGE GiEK jako partner energetyczny

(Waldemar Lutkowski wskazywał potencjał ok. 100 firm z łańcucha dostaw PGE do wejścia w nowe projekty), Agencja Rozwoju Przemysłu jako podmiot wspierający kwalifikacje lokalne, a w perspektywie długoterminowej – podmioty realizujące energetykę jądrową, takie jak Westinghouse Electric Poland i Candu/AtkinsRéalisis (Powiat Bełchatowski, 2026a). Każdy z tych podmiotów może stać się dostawcą lub pośrednio wykonawcą dla DCB, nadając interesariuszom projektu wyjątkową przewagę strategiczną.

2.3 Uwarunkowania techniczne i organizacyjne

Realizacja kampusu Data Center w Bełchatowie odbywa się w specyficznym środowisku uwarunkowań, które w istotny sposób kształtują zarówno rozwiązania projektowe, jak i sposób organizacji procesu budowlanego. Uwarunkowania te można podzielić na trzy grupy: lokalne uwarunkowania terenowe i infrastrukturalne, ramy prawno-regulacyjne oraz uwarunkowania organizacyjne wynikające z realiów polskiego rynku budowlanego. Każda z tych grup bezpośrednio wpływa na sposób wdrożenia systemu zarządzania jakością i musi zostać uwzględniona w Planie Zarządzania Jakością kampusu.

Uwarunkowania lokalizacyjne i terenowe

Teren inwestycji w Bełchatowie charakteryzuje się łagodnym ukształtowaniem, z niewielkimi różnicami wysokości rzędu kilku metrów (rzędne terenu w zakresie 213–219 m n.p.m.), co sprzyja racjonalnej organizacji prac ziemnych. Grunty należą w większości do kategorii gruntów rolnych klas IV–VI oraz gruntów leśnych przeznaczonych do odlesienia – ich przekwalifikowanie wymaga wcześniejszych uzgodnień i decyzji administracyjnych, wpływających na harmonogram inwestycji. Bliskie sąsiedztwo terenów leśnych zarządzanych przez Nadleśnictwo Bełchatów obręb Domiechowice nakłada dodatkowe wymagania związane z ochroną środowiska leśnego – zarówno w fazie realizacji (ograniczenie emisji pyłu i hałasu, ochrona drzewostanu pobliskiego), jak i eksploatacji (kompensaty środowiskowe, strefy buforowe).

Kluczowym atutem lokalizacyjnym jest dostępność mocy elektrycznej. Bełchatów od dziesięcioleci funkcjonuje jako największy polski ośrodek energetyczny, z rozbudowanymi stacjami transformatorowymi wysokiego napięcia zdolnymi do obsługi odbiorców o znaczącym zapotrzebowaniu na moc. Przyłączenie kampusu Data Center o mocy 500 MW do krajowego systemu elektroenergetycznego wymaga jednak specjalistycznych uzgodnień, obejmujących analizę wpływu na lokalną stabilność sieci, wymagania kompensacji mocy biernej oraz ewentualną rozbudowę infrastruktury przesyłowej. Dostęp do dwóch niezależnych linii zasilających jest warunkiem sine qua non dla uzyskania certyfikacji Uptime Institute na poziomie Tier III lub IV, co determinuje projekt stacji HV na terenie kampusu.

Istotnym uwarunkowaniem lokalizacyjnym jest obecność stanowiska archeologicznego na terenie inwestycji. Jego wykrycie – typowe dla wielu inwestycji realizowanych na gruntach historycznie użytkowanych rolniczo w Polsce centralnej –

wymaga zachowania stref ochronnych, przeprowadzenia badań archeologicznych oraz prowadzenia nadzoru archeologicznego w trakcie prac ziemnych. Element ten wpływa zarówno na harmonogram prac (dodatkowy czas na badania), jak i na planowanie logistyki budowy (konieczność omijania strefy chronionej). Dostęp do kampusu zapewniają istniejące drogi powiatowe oraz planowana obwodnica (droga 477/07), przy czym inwestycja może wymagać własnych uzupełnień infrastruktury drogowej, takich jak proponowane rondo obsługujące wjazd na teren.

Ramy prawne i regulacyjne

Proces realizacji kampusu odbywa się w ramach polskiego systemu prawno-administracyjnego, w którego centrum znajduje się Ustawa Prawo Budowlane oraz wydawane na jej podstawie rozporządzenia wykonawcze, w tym Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Podstawowy cykl administracyjny obejmuje decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji (wydawaną przez Regionalną Dyрекcję Ochrony Środowiska), decyzję o warunkach zabudowy (lub zgodność z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego), pozwolenie na budowę, nadzór budowlany w trakcie realizacji oraz pozwolenie na użytkowanie. Dla obiektu klasyfikowanego jako inwestycja strategiczna możliwe jest skorzystanie ze specjalnych ścieżek administracyjnych przewidzianych w ustawach pomocowych dla inwestorów strategicznych.

Na uwarunkowania prawne nakładają się ramy europejskie, w szczególności Dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej (Energy Efficiency Directive – EED) w wersji znowelizowanej, która wprowadza obowiązek raportowania wskaźników efektywności energetycznej przez duże centra danych (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791), a także przepisy dotyczące ochrony środowiska, w tym wymagania związane z emisją tlenków azotu z agregatów prądowórczych. Równolegle funkcjonują zobowiązania umowne wobec Inwestora, które z reguły wymagają zgodności z międzynarodowymi standardami branżowymi – Uptime Institute Tier Standard, ANSI/TIA-942, EN 50600 – oraz standardami ISO 9001, ISO 14001 i ISO 45001. W analizowanym projekcie wymagania kontraktowe Inwestora w wielu obszarach przewyższają minimum wynikające z polskich przepisów, co stawia przed generalnym wykonawcą zadanie równoczesnego spełnienia dwóch systemów wymagań – krajowego i kontraktowego. Zgodnie z zasadą stosowania bardziej rygorystycznego wymagania (omówioną w podrozdziale 1.3), w każdym przypadku konfliktu obowiązuje wymóg wyższy.

Uwarunkowania rynku wykonawczego

Istotnym uwarunkowaniem organizacyjnym projektu jest specyfika polskiego rynku wykonawczego. Polski sektor budowlany dysponuje wysokimi kompetencjami w zakresie tradycyjnego budownictwa kubaturowego, jednak doświadczenia w realizacji obiektów Data Center klasy hyperscale są w polskich realiach stosunkowo świeże i ograniczone do grona kilku generalnych wykonawców oraz kilkunastu

wyspecjalizowanych podwykonawców. Dotyczy to w szczególności branż krytycznych, takich jak systemy UPS dużej mocy, chłodzenie precyzyjne, okablowanie światłowodowe oraz systemy automatyki BMS. Dla części zaawansowanych prac konieczne jest pozyskiwanie specjalistów zagranicznych – z Niemiec, Irlandii czy Wielkiej Brytanii – co wprowadza dodatkowe wyzwania komunikacyjne, organizacyjne i formalno-prawne (delegowanie pracowników, barierę językową, różnice w kulturach pracy).

Drugim wyzwaniem rynkowym jest presja czasowa charakterystyczna dla projektów hyperscale. Inwestorzy globalni, konkurując o udział w rynku usług chmurowych, narzucają harmonogramy znacząco krótsze niż wynikałoby to z typowej praktyki polskiego budownictwa. Oczekiwany czas realizacji pojedynczego budynku Data Center wynosi zwykle od 18 do 24 miesięcy od rozpoczęcia prac ziemnych do oddania do komercyjnej eksploatacji, co w przypadku całego kampusu przekłada się na bardzo ściśle zarządzanie harmonogramem i ryzyko nakładania się faz prac. Tak kompresujące harmonogramy wymuszają równoczesne prowadzenie prac budowlanych, instalacyjnych i testowych – co samo w sobie jest źródłem istotnych ryzyk jakościowych, wymagających zastosowania zaawansowanych narzędzi koordynacji (BIM, Last Planner System, codzienne odprawy koordynacyjne).

Trzecim obszarem uwarunkowań organizacyjnych jest łańcuch dostaw. Wiele urządzeń krytycznych dla Data Center – takich jak agregaty prądotwórcze o mocy kilku megawatów, systemy UPS, chillery dużej mocy – pochodzi od ograniczonej liczby globalnych producentów i charakteryzuje się długimi czasami produkcji (lead time) sięgającymi od 40 do ponad 100 tygodni, a w niektórych kategoriach nawet dłuższymi (PM Group, 2023; Greenfields, 2026), co sprawia, że planowanie zamówień i kontrola jakości na etapie produkcji (Factory Acceptance Tests – FAT) stają się elementem kluczowym zarządzania projektem. W projekcie kampusu w Bełchatowie, gdzie w konfiguracji docelowej wymaganych jest kilkadziesiąt takich urządzeń, planowanie zamówień i kontrola jakości na etapie produkcji (Factory Acceptance Tests – FAT) stają się elementem kluczowym zarządzania projektem. Opóźnienie dostawy pojedynczego transformatora lub agregatu o kilka tygodni może zdestabilizować cały harmonogram commissioningu, dlatego procesy QA/QC muszą objąć również dostawców zewnętrznych – poprzez audyty fabryczne, weryfikację certyfikatów oraz obecność inspektorów jakości podczas testów FAT.

Reasumując uwarunkowania techniczne i organizacyjne analizowanego projektu, należy stwierdzić, że kampus w Bełchatowie stanowi przedsięwzięcie osadzone w złożonym środowisku wymagań. Powodzenie realizacji zależy nie tylko od doskonałości poszczególnych elementów technicznych, ale również od zdolności zespołu projektowego do efektywnego poruszania się w przestrzeni uwarunkowań prawnych, administracyjnych i rynkowych. Tak zdefiniowany kontekst inwestycji stanowi punkt wyjścia do analizy konkretnych rozwiązań z zakresu zarządzania jakością, która zostanie przedstawiona w kolejnym rozdziale pracy.

Specyfika polskiego rynku budowlanego dla projektów hyperscale

Realizacja projektu kampusu DCB w Polsce wiąże się ze specyficznymi wyzwaniami charakterystycznymi dla polskiego rynku budowlanego. Pierwszym z nich jest relatywna niedojrzałość lokalnej kadry w zakresie realizacji projektów Data Center – polskie firmy budowlane mają długą tradycję w budownictwie przemysłowym i logistycznym, lecz doświadczenie w projektach infrastruktury krytycznej klasy hyperscale jest wciąż ograniczone. Przekłada się to na konieczność intensywniejszego szkolenia podwykonawców i bardziej aktywnego nadzoru QC, szczególnie na wczesnym etapie realizacji (Greenfields, 2026; PM Group, 2023; PLDCA, 2026).

Drugim wyzwaniem jest dostępność specjalistycznych materiałów i urządzeń. Polska nie posiada własnych producentów urządzeń krytycznych dla Data Center klasy hyperscale: transformatorów mocy, agregatów prądowórczych powyżej 2 MW, systemów UPS klasy enterprise czy central chłodniczych o dużej mocy. Wszystkie te elementy muszą być sprowadzane od producentów europejskich lub globalnych z lead times wynoszącymi od 52 do ponad 100 tygodni. Zarządzanie tym ryzykiem – poprzez wczesne zamówienia z Factory Acceptance Tests (FAT) u producenta i szczegółowe śledzenie postępu produkcji – jest integralną częścią systemu zarządzania jakością. Konferencja Gateway Poland 2026 wyraźnie wskazała, że supply chain management jest jednym z krytycznych czynników sukcesu dla polskich projektów hyperscale (ebelchatow.pl, 2026; Axiom International, 2026; Greenfields, 2026).

Aspekt administracyjny i środowiskowy realizacji kampusu

Projekt kampusu DCB prowadzony jest równolegle w kilku płaszczyznach administracyjnych. Gmina Bełchatów finalizuje plan ogólny oraz opracowuje miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego dla obszaru Domiechowic, a Samorząd Województwa Łódzkiego koordynuje kwestie związane z planowaną specjalną strefą przemysłową. Równolegle w trakcie procedowania jest decyzja środowiskowa dla inwestycji, obejmująca m.in. raport oceny oddziaływania na środowisko (OOŚ) uwzględniający wpływ kampusu na lokalne zasoby wodne, klimat akustyczny i krajobraz. Kompleksowe procedowanie decyzji środowiskowej jest jednym z czynników wydłużających czas realizacji inwestycji Data Center w Polsce – jak wskazano podczas konferencji Gateway Poland 2026, średni czas procedowania decyzji środowiskowej wynosi kilkanaście miesięcy, a zbyt obszerne lub nieprecyzyjne raporty OOŚ są jednym z najczęstszych powodów wezwań do uzupełnień (Greenfields, 2026; ddbelchatow.pl, 2026).

Wymogi środowiskowe przekładają się bezpośrednio na wymagania jakościowe projektu: certyfikacje LEED lub BREEAM wymagane przez Inwestora obejmują materiałowe ślady węglowe, efektywność energetyczną, zarządzanie zasobami wody i gospodarkę odpadami w trakcie budowy. Każdy z tych obszarów wymaga dokumentowania i raportowania, co stanowi dodatkową warstwę dokumentacji ponad standardowe wymagania jakościowe. System zarządzania jakością musi zatem przewidywać mechanizmy gromadzenia i raportowania danych środowiskowych

(zużycie energii na placu budowy, ilość odpadów poddanych recyklingowi, poziom emisji z maszyn budowlanych) w sposób spójny z wymaganiami certyfikacyjnymi (BRE Global, 2018; U.S. Green Building Council, 2019).

Równoległe z przygotowaniem terenu pod inwestycję, gmina Bełchatów prowadzi prace planistyczne mające na celu zapewnienie odpowiedniej infrastruktury komunalnej w rejonie Domiechowic. Obejmuje to m.in. kwestie drogowe (przebudowa skrzyżowań i dojazdów do terenu inwestycji), wodociągowe (zdolność sieci do obsługi obiektów o dużym zapotrzebowaniu na wodę chłodzącą i technologiczną) oraz sieciowe (dostępność instalacji kanalizacyjnych). Współpraca z gminą i powiatem jest jednym z kluczowych elementów zarządzania interesariuszami projektu, opisanego w 2.2, i bezpośrednio wpływa na możliwość dotrzymania planowanych harmonogramów realizacji kolejnych faz kampusu (Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; Portalsamorzadowy.pl, 2026).

2.4 Skalowalność i etapowanie inwestycji

Cechą wyróżniającą współczesne projekty hyperscale, w tym analizowany kampus DCB, jest ich skalowalny i etapowany charakter. W przeciwieństwie do klasycznego budownictwa kubaturowego, w którym obiekt jest projektowany i realizowany jako pojedyncza, zwarta jednostka, kampus data center stanowi zespół wzajemnie powiązanych obiektów, których budowa rozciąga się na okres kilku lat, a oddanie do eksploatacji następuje sekwencyjnie. Tak zorganizowany model realizacji – określany jako *phased delivery* lub *phased development* – stał się w ostatniej dekadzie standardem rynkowym w segmencie hyperscale (Datacenters.com, 2026; Axiom International, 2026).

Skalowalność przyłącza energetycznego (power ramp-up)

Pierwszym wymiarem skalowalności kampusu DCB jest etapowe podnoszenie mocy przyłączeniowej. W projektach hyperscale o docelowej mocy 500 MW przyłączenie pełnej mocy jednorazowo nie jest ani technicznie konieczne, ani ekonomicznie uzasadnione – ani z perspektywy inwestora, ani operatora systemu elektroenergetycznego. Z tego powodu rozmowy z Polskimi Sieciami Elektroenergetycznymi (PSE) oraz PGE Dystrybucja prowadzone są w kontekście dostarczenia mocy zarówno przejściowej, jak i właściwej (ebelchatow.pl, 2026). Pierwszy etap obejmuje typowo udostępnienie mocy odpowiadającej pierwszym dwóm budynkom kampusu (rzędu 50–100 MW), co pozwala na rozpoczęcie operacji komercyjnych przy jednoczesnej rozbudowie pozostałej infrastruktury energetycznej.

Lokalizacja DCB w sąsiedztwie Głównego Punktu Zasilającego (GPZ) Kurnos, charakteryzującego się stabilnością, dużymi możliwościami wyjścia mocy oraz unikalną cechą trzech złączy światłowodowych, stanowi istotny czynnik umożliwiający etapowy ramp-up. Jak podkreślał wójt Gminy Bełchatów Pan Konrad Koc, GPZ Kurnos jest obiektem nowoczesnym i jako jedyny w Polsce ma trzy złącza światłowodowe (ebelchatow.pl, 2026). Inwestor uzyskał warunki przyłączeniowe dla docelowych 500 MW jeszcze w 2024 roku, a obecnie przygotowuje się do uzbrojenia terenu, budowy dróg

i zjazdów (ddbelchatow.pl, 2026; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026). W trakcie procedowania pozostaje również decyzja środowiskowa.

Kontekst infrastrukturalny kampusu DCB w perspektywie regionalnej

Wybór lokalizacji Domiechowice dla kampusu DCB nie jest przypadkowy z perspektywy regionalnej infrastruktury technicznej. Region bełchatowski charakteryzuje się wyjątkową gęstością infrastruktury przemysłowej: obok kopalni węgla brunatnego i elektrowni zlokalizowanych w Rogowcu i Kleszczowie, w bezpośrednim sąsiedztwie planowanego kampusu funkcjonuje rozwinięta sieć dróg przemysłowych, rurociągów wodnych i kanalizacji przeznaczonych do obsługi przemysłu wydobywczego. Choć infrastruktura ta jest w większości dostosowana do potrzeb przemysłu górniczego, a nie cyfrowego, to jej sama obecność oznacza, że teren jest w znacznie lepszym stopniu przygotowany pod inwestycję przemysłową niż alternatywne lokalizacje na otwartym terenie rolnym. Adaptacja istniejącej infrastruktury do potrzeb Data Center – tam gdzie to możliwe – jest znacznie tańsza i szybsza niż budowanie jej od podstaw (ebelchatow.pl, 2026; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026).

W kontekście wodnym, kampus DCB będzie generował znaczące zapotrzebowanie na wodę technologiczną – do chłodzenia systemów i uzupełniania zbiorników wody ppoż. W polskich warunkach klimatycznych, system chłodzenia Data Center oparty na free-cooling (powietrzny, bezpośredni) może być efektywny przez 60–70 procent czasu w roku, podczas gdy systemy mokrego chłodzenia (evaporative cooling) wymagają znacznie większych ilości wody, lecz pozwalają na niższe PUE – kosztem wyższego WUE (Water Usage Effectiveness, roczne zużycie wody w litrach na kWh energii IT). Ta odwrotna zależność PUE i WUE jest kluczowym dylematem projektowym: wyboru między efektywnością energetyczną a oszczędnością wody. Zrównoważone zarządzanie zasobami wody, zarówno w fazie realizacji (woda zarobowa do betonu, woda używana w testach hydrostatycznych), jak i w fazie operacyjnej, jest jednym z wymogów certyfikacji LEED i BREEAM oraz jednym z kryteriów oceny środowiskowej inwestycji (BRE Global, 2018; U.S. Green Building Council, 2019; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026).

Etapowanie ramp-upu energetycznego niesie istotne konsekwencje jakościowe. Po pierwsze, wymaga projektowania stacji transformatorowej oraz rozdzielnic średniego napięcia w taki sposób, aby możliwe było ich późniejsze rozszerzenie bez wstrzymywania pracy istniejącej infrastruktury – tzw. design for expandability. Po drugie, wymusza zastosowanie modułowych rozwiązań w infrastrukturze paliwowej (zbiorniki paliwa, system mocznika) oraz wodnej (zbiorniki retencyjne, stacja uzdatniania wody). Po trzecie, generuje konieczność prowadzenia testów odbiorczych przy każdej nowej fazie ramp-upu, weryfikując czy nowo dołączane elementy nie wpływają negatywnie na pracę elementów już operacyjnych.

Jeden z najtrudniejszych aspektów zarządzania jakością podczas ramp-upu energetycznego dotyczy zarządzania pracami pod napięciem (live electrical works) w sąsiedztwie elementów już operacyjnych. Gdy pierwsza przestrzeń COLO budynku jest

zasilana i obsługuje klientów, a jednocześnie trwają prace instalacyjne dla drugiej przestrzeni COLO, istnieje ryzyko ingerencji w już działające systemy. System Permit-to-Work musi zapewniać, że każda praca wykonywana w sąsiedztwie systemu live jest poprzedzona analizą ryzyka (Risk Assessment), uzyskaniem odpowiednich zezwoleń i implementacją barier izolacyjnych (LOTO). Tylko takie podejście gwarantuje, że faza budowy i faza operacyjna mogą współzysztować bez incydentów (ISO, 2018; PMI, 2021).

Model etapowania inwestycji DCB ma swój odpowiednik w dojrzałych rynkach europejskich i amerykańskich. W kampusie T5 Grayslake (Chicago, 1,2 GW, 20 budynków po 60 MW), gdzie analogicznie do DCB poszczególne budynki są oddawane do eksploatacji sekwencyjnie, operator T5 Data Centers raportuje, że kluczem do utrzymania jakości w fazie pełnego kampusu jest jasne strefowanie terenu: budynki operacyjne są oddzielone od budynków w budowie fizyczną barierą (ogrodzenie strefowe) i proceduralną (odrębne harmonogramy dostaw, odrębna baza dla pracowników budowlanych). Model ten minimalizuje ryzyko ingerencji w aktywne systemy przez personel budowlany i redukuje ryzyko wypadków wynikających z niezrozumienia zagrożeń środowiska live (AI CERTs, 2025; Datacenters.com, 2026).

Etapowanie budowy obiektów kampusu

Drugim wymiarem skalowalności jest etapowa budowa obiektów kampusu. W konfiguracji docelowej kampus DCB obejmie 13 obiektów: 10 budynków serwerowych Data Center (każdy o mocy ok. 36 MW IT i 50 MW Total Load), budynek administracyjno-biurowy z Network Operation Center (NOC), budynek ochrony (Guard House) oraz budynki techniczne – stację uzdatniania wody i stację energetyczną wysokiego napięcia. Realizacja całego kompleksu jednorazowo byłaby ekonomicznie nieuzasadniona oraz logistycznie niemożliwa – wymagałaby równoczesnego pozyskania kilku tysięcy pracowników, jednoczesnej dostawy setek wielotonowych urządzeń krytycznych oraz oddania pełnej mocy 500 MW do sieci, na co nie pozwala obecna przepustowość krajowego systemu elektroenergetycznego (Construction Digital, 2026; Axiom International, 2026).

Z tego powodu projekt DCB zakłada budowę kampusu w sekwencyjnych fazach, rozłożonych na okres kilku lat. Pierwszy budynek Data Center ma być gotowy do uruchomienia ok. 2029 roku, a kolejne będą oddawane sukcesywnie w odstępach kilkumiesięcznych do kilkuletnich (ebelchatow.pl, 2026). Obiekty pomocnicze są budowane w sposób umożliwiający obsługę pierwszych funkcjonujących budynków od momentu ich uruchomienia, ale są również przewidziane do późniejszej rozbudowy zgodnie z dokumentacją master plan inwestycji. Dla budynku administracyjnego i ochrony oznacza to wystarczające wymiarowanie od początku, dla stacji energetycznej i uzdatniania wody – modułowe rozszerzanie wraz z kolejnymi etapami.

Przykładem analogicznego podejścia jest kampus Baltic Data Center Campus w Lubiewie pod Gdańskiem, planowany przez WBS Power, który ma zostać zrealizowany w czterech fazach po 800 MW każda. Pierwszy budynek ma być operacyjny pomiędzy

2028 a 2029 rokiem, a prace przygotowawcze dla wszystkich faz zakończą się do końca 2027 roku (Construction Digital, 2026). Podobny model przyjęły Sines Start Campus w Portugalii (1,2 GW, etapy realizowane do 2030 roku) (Data Centre Magazine, 2025) oraz Naver Cloud Ring w Korei Południowej, który pomimo unikalnej architektury okrągłej, również opiera się na modułowych fazach budowy (Data Centre Magazine, 2025). Tak skonstruowany model fazowania stanowi obecnie standard branżowy dla projektów o skali przekraczającej 300 MW, potwierdzony przez doświadczenia wiodących kampusów europejskich i globalnych (Datacenters.com, 2026; Construction Digital, 2026; Axiom International, 2026).

Skalowalność infrastruktury drogowej i technicznej

Trzecim wymiarem skalowalności kampusu jest infrastruktura drogowa i techniczna. Drogi wewnętrzne kampusu, parkingi, ogrodzenie typu security, system kontroli dostępu, sieci wodno-kanalizacyjne oraz sieci telekomunikacyjne muszą być projektowane od początku z uwzględnieniem docelowej, pełnej obsady kampusu, ale ich realizacja może następować etapami – co najmniej w zakresie obszarów obsługujących późniejsze fazy kampusu (Datacenters.com, 2026). Ten balans pomiędzy projektowaniem dla przyszłości a budową dla teraźniejszości stanowi jedno z najtrudniejszych wyzwań planowania master plan kampusu.

W przypadku DCB infrastruktura drogowa zewnętrzna wymaga uzgodnień z gminą Bełchatów oraz powiatem bełchatowskim. Inwestycja będzie wymagała własnych uzupełnień infrastruktury drogowej, w tym proponowanego ronda obsługującego wjazd na teren oraz potencjalnej obwodnicy łączącej kampus z drogą krajową (ddbhelchatow.pl, 2026). Kluczowe znaczenie ma również lokalizacja w odległości około kilkunastu kilometrów od GPZ Rogowiec, który stanowi jeden z najlepiej skomunikowanych Głównych Punktów Zasilających w Polsce (Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; Investmap, 2026). Z perspektywy zarządzania jakością, etapowanie infrastruktury drogowej i technicznej generuje istotne ryzyka koordynacyjne – w fazach przejściowych ruch budowlany związany z budową kolejnych obiektów odbywa się równolegle z ruchem operacyjnym obiektów już oddanych do eksploatacji.

Etapowanie wewnątrzbudynkowe – przestrzenie kolokacyjne (COLO)

Czwarty wymiar skalowalności kampusu DCB ma charakter wewnątrzbudynkowy. Każdy z 10 budynków Data Center został zaprojektowany w taki sposób, aby pomieścić trzy odrębne przestrzenie kolokacyjne (COLO), każda obsługująca konkretnego klienta lub konkretny segment usług. Tak zorganizowane budynki nie są wyposażane w pełną konfigurację rackową od momentu oddania do eksploatacji – każda z trzech przestrzeni COLO w obrębie pojedynczego budynku może być oddawana do eksploatacji niezależnie, w zależności od popytu rynkowego oraz tempa zawierania umów najmu z klientami operatorskimi. Łącznie kampus DCB w konfiguracji docelowej obejmie 30 niezależnych przestrzeni kolokacyjnych (10 budynków × 3 COLO), co stanowi unikalny atut elastyczności komercyjnej.

Z perspektywy zarządzania jakością wewnątrzbudynkowe etapowanie wprowadza dodatkową warstwę złożoności. Każda z trzech przestrzeni COLO w obrębie tego samego budynku musi przejść niezależny cykl commissioningu poziomu L4–L5, włącznie z testami integracyjnymi z systemami wspólnymi budynku (rozdzielnice elektryczne, system chłodzenia, system bezpieczeństwa pożarowego). Jednocześnie, kiedy jedna z przestrzeni jest już operacyjna i obsługuje klientów, prace związane z wyposażaniem kolejnej przestrzeni COLO w tym samym budynku muszą być prowadzone w sposób nieingerujący w pracę istniejących systemów, zgodnie z zasadami zarządzania pracami w środowisku live opisanymi w standardach Uptime Institute i procedurach PTW/LOTO (Uptime Institute, 2018; ISO, 2018; Vertiv, 2026). To wymaga zaawansowanych procedur bezpieczeństwa pracy w środowisku live oraz dokładnej koordynacji z klientami operatorskimi, których SLA muszą być nieprzerwanie spełniane (Vertiv, 2026).

Konsekwencje skalowalności dla zarządzania jakością

Czterowarstwowa skalowalność kampusu DCB – energetyczna, budynkowa, infrastrukturalna i wewnątrzbudynkowa COLO – generuje specyficzne implikacje dla systemu zarządzania jakością. Po pierwsze, system jakości musi być zdolny do funkcjonowania w warunkach permanentnej koegzystencji prac wykonawczych i operacji komercyjnych przez wiele lat. Po drugie, każda nowa faza ramp-upu wymaga niezależnego procesu commissioningu ze szczególną uwagą skierowaną na ryzyko zafałszowania wyników testów przez interakcje z elementami już operacyjnymi. Po trzecie, dokumentacja powykonawcza musi być projektowana jako żywa, ewoluująca w czasie, a nie zamknięta po pojedynczym oddaniu obiektu. Po czwarte, struktura organizacyjna zespołu jakości musi przewidywać długi cykl życia projektu, z odpowiednim zarządzaniem zasobami kadrowymi i zapobieganiem zjawiskom rotacji oraz wypalenia, co jest szczególnym wyzwaniem w wieloletnich projektach kampusowych (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Skalowalność stanowi zatem jedną z najważniejszych charakterystyk projektu DCB, odróżniającą go od tradycyjnego budownictwa kubaturowego. Jednocześnie skalowalność nie jest unikalnym atrybutem DCB – stanowi cechę wszystkich współczesnych kampusów hyperscale na świecie. Z tego powodu doświadczenia gromadzone w projekcie DCB mają walor szerszy, branżowy, mogący stanowić punkt odniesienia dla innych projektów hyperscale planowanych obecnie w Polsce, w tym Baltic Data Center Campus oraz mniejszych projektów Hillwood, DL Invest Group czy Cisco (DCD, 2026; Construction Digital, 2026).

Rozdział 3. Analiza zarządzania jakością w projekcie

Rozdział drugi pracy zarysował charakterystykę kampusu Data Center w Bełchatowie pod względem technicznym, instytucjonalnym i organizacyjnym, ukazując złożoność środowiska, w którym funkcjonuje system zarządzania jakością. W rozdziale niniejszym podejście autora przesuwają się z opisu uwarunkowań na analizę faktycznie wdrożonych mechanizmów jakościowych. Punktem ciężkości staje się pytanie nie o to,

jakie wymagania stawiane są przed projektem, lecz o to, w jaki sposób zespoły projektowe i wykonawcze tym wymaganiom sprostają – jakie metody, narzędzia i procedury wykorzystują na co dzień, aby zapewnić zgodność realizacji ze standardem oczekiwanym przez Inwestora typu hyperscale.

Analiza prezentowana w rozdziale opiera się na trzech źródłach materiału: po pierwsze, na obserwacji uczestniczącej autora w środowisku projektów Data Center realizowanych w Polsce, po drugie, na publicznie dostępnej dokumentacji branżowej (standardy Uptime Institute, normy serii EN 50600, wytyczne producentów urządzeń krytycznych), po trzecie, na uogólnionych doświadczeniach z analogicznych projektów hyperscale, opisywanych w literaturze i raportach branżowych. Takie potrójne źródłowanie pozwala uniknąć ograniczeń pojedynczego studium przypadku i dostarczyć obrazu mechanizmów zarządzania jakością, który – choć osadzony w konkretnym projekcie – ma walor uogólnienia dla szerszej kategorii inwestycji infrastruktury krytycznej w polskich realiach.

Protokół badawczy rozdziału 3

Niniejszy podrozdział odpowiada na pytanie badawcze PB1 oraz stanowi empiryczną podstawę dla PB2. Materiał empiryczny pozyskano trzema metodami. Po pierwsze, obserwacją uczestniczącą prowadzoną w trakcie posiedzeń jakościowych, przeglądów dokumentacji ITP i inspekcji terenowych projektu DCB — autor pracy był bezpośrednim uczestnikiem opisywanych procesów jako Kierownik Projektu. Po drugie, analizą dokumentacji branżowej: standardów Uptime Institute Tier Standard (2018), normy ANSI/TIA-942 (TIA, 2024), serii EN 50600 (CENELEC, 2019) oraz raportu PM Group (2023) dotyczącego projektów hyperscale. Po trzecie, analizą porównawczą praktyk stosowanych w analogicznych projektach europejskich, opisywanych w publicznie dostępnych źródłach branżowych.

Wyniki obserwacji są prezentowane w formie ustrukturyzowanej analizy trzech wymiarów systemu QA: metod oceny jakości (3.1), narzędzi cyfrowych i procesów dokumentacyjnych (3.2) oraz systemu identyfikacji i zarządzania niezgodnościami (3.3). Każdy wymiar jest analizowany według schematu: opis mechanizmu → podstawa dokumentacyjna → weryfikacja przez triangulację z danymi branżowymi → wniosek cząstkowy. Taka struktura zapewnia, że obserwacje nie pozostają na poziomie opisu, lecz są interpretowane w świetle teorii (rozdz. 1) i standardów branżowych — spełniając wymóg metodologiczny studium przypadku wg Yina (2018, s. 35): „theoretical propositions guide the collection and analysis of data”.

Ważnym aspektem metodologicznym jest ograniczenie stronniczości obserwatora uczestniczącego (observer bias). W niniejszej pracy stosuje się dwa mechanizmy mitygacji: (a) każde twierdzenie dotyczące projektu DCB jest konfrontowane z danymi zewnętrznymi (benchmarki, standardy, raporty branżowe), a rozbieżności są explicite odnotowane; (b) wnioski negatywne i słabości systemu (identyfikowane w 3.3 i 4.1) są przedstawiane z taką samą szczegółowością jak mocne strony — co jest dowodem na to,

że analiza nie ma charakteru autopromocyjnego, tylko charakter badawczy (Yin, 2018; Eisenhardt, 1989).

Architektura systemu zarządzania jakością w projekcie kampusu

System zarządzania jakością wdrożony w projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie ma strukturę warstwową, odzwierciedlającą złożoność interesariuszy oraz wielobranżowy charakter realizacji. Na poziomie najwyższym funkcjonuje Plan Zarządzania Jakością (Quality Management Plan – QMP) opracowany przez generalnego wykonawcę i zatwierdzony przez Inwestora. Dokument ten – o objętości typowo przekraczającej dwieście stron – określa politykę jakości projektu, strukturę organizacyjną zespołu QA/QC, role i odpowiedzialności (zgodnie z macierzą RACI omówioną w 1.4), procedury kontroli, kryteria akceptacji oraz protokoły eskalacji.

Pod QMP funkcjonuje warstwa planów branżowych, opracowywanych przez kierowników poszczególnych branż – oddzielnie dla robót ogólnobudowlanych (CSA), elektrycznych, mechanicznych, teletechnicznych oraz dla prac związanych z bezpieczeństwem przeciwpożarowym. Każdy z planów branżowych zawiera szczegółowe procedury wykonania (Method Statements), plany inspekcji i testów (Inspection and Test Plans – ITP), kryteria akceptacji oraz wymagania dotyczące dokumentacji powykonawczej. Łączna liczba ITP w projekcie kampusu sięga kilkuset dokumentów, z których każdy odnosi się do konkretnego elementu robót lub instalacji. Warstwa najniższa to operacyjne dokumenty pojedynczych inspekcji – raporty z pomiarów, protokoły testów, listy kontrolne – wypełniane bezpośrednio przez inspektorów jakości w trakcie codziennej pracy.

Struktura dokumentacji jakościowej w kontekście projektu DCB jest szczególnie rozbudowana ze względu na liczbę branż i skomplikowane interfejsy między nimi. Interfejs między branżą elektryczną a mechaniczną jest szczególnie delikatny w pomieszczeniach serwerowych, gdzie trasy kablowe i kanały wentylacyjne konkurują o ograniczoną przestrzeń podstropową. Wykrywanie kolizji w modelu BIM (clash detection) jest tu narzędziem pierwszej linii, jednak ostateczna weryfikacja zawsze wymaga wizji lokalnej. Interfejs między branżą teletechniczną a elektryczną obejmuje z kolei kwestie electromagnetic compatibility (EMC) i wymaga koordynacji tras kablowych niskoprądowych z szynami uziemiającymi. System jakości musi zapewniać, że interfejsy te są weryfikowane na każdym etapie projektu – od projektowania, przez realizację, aż po commissioning (CENELEC, 2019; TIA, 2024).

Specyficznym wyzwaniem interfejsowym w projekcie kampusu DCB jest koordynacja między infrastrukturą wspólną (stacja HV, sieć wodna, drogi kampusowe) a poszczególnymi budynkami Data Center. Infrastruktura wspólna jest budowana etapami i musi być zdolna do obsługi kolejnych budynków od momentu ich uruchomienia. Oznacza to, że testy odbiorowe infrastruktury wspólnej muszą wyprzedzać testy odbiorowe poszczególnych budynków – a w projekcie kampusu, gdzie kilka budynków jest w budowie jednocześnie, koordynacja tych terminów jest jednym z najtrudniejszych aspektów planowania commissioningu. System jakości musi zawierać mechanizm

śledzenia zależności pomiędzy poszczególnymi testami, zapewniający, że nie przeprowadza się testów wymagających gotowości elementów, które jeszcze nie przeszły własnych procedur odbiorowych (PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

Rola wewnętrznej komunikacji jakościowej w projekcie kampusu

Jednym z najważniejszych, lecz najtrudniej mierzalnych aspektów systemu zarządzania jakością jest skuteczność wewnętrznej komunikacji jakościowej. W kampusie realizowanym przez kilka lat, z zespołem liczącym setki ludzi i kilkudziesięcioma podwykonawcami, przepływ informacji jakościowych jest permanentnym wyzwaniem. Każda niezgodność powinna dotrzeć do wszystkich, którzy mogą na niej skorzystać: do innych brygad pracujących nad podobnymi elementami, do projektantów którzy mogą wskazać rozwiązanie, do Inwestora który musi być poinformowany o poważnych problemach. System CDE, rejestr NCR i cotygodniowe spotkania jakościowe tworzą formalne kanały komunikacji. Lecz wiele cennych informacji przepływa nieformalnymi kanałami – rozmową między inspektorem a brygadziwą, uwagą przy kawie podczas przerwy. Docenianie i włączanie tych nieformalnych przepływów do systemu lessons learned jest jedną z najtrudniejszych, lecz najważniejszych funkcji Quality Managera (Senge, 1990; PM Group, 2023).

Specyficznym wyzwaniem komunikacyjnym jest wielojęzyczność placu budowy w projekcie kampusu DCB. W szczytowym momencie realizacji kampusu na placu budowy pracują brygady z różnych krajów UE i spoza niej – co generuje bariery językowe w komunikowaniu wymagań jakościowych, zgłaszaniu NCR i rozumieniu instrukcji bezpieczeństwa. System zarządzania jakością musi przewidywać procedury zapewniające dostępność kluczowej dokumentacji (instrukcji, ITP, metod wykonania) w językach zrozumiałych dla wszystkich podwykonawców, a szkolenia onboardingowe powinny być prowadzone w formach dostępnych dla osób nie posługujących się biegle polskim lub angielskim. Niedostosowanie systemu jakości do wielojęzyczności placu budowy jest jednym z ukrytych ryzyk polskich projektów hyperscale, które może prowadzić do powtarzalnych niezgodności wynikających z niezrozumienia wymagań, a nie z braku kompetencji technicznych (PM Group, 2023).

Strukturę dokumentacyjną uzupełniają plany commissioningu (Commissioning Plans), opisujące pięciopoziomowy proces testowy – od testów fabrycznych (Factory Acceptance Tests – FAT, poziom L1), przez instalację (poziom L2), uruchomienie statyczne (Static Commissioning – L3) i dynamiczne (Dynamic Commissioning – L4), aż do testów zintegrowanych systemów (Integrated Systems Test – IST, poziom L5). Plany tych testów są opracowywane przez wyspecjalizowaną firmę commissioningową (Commissioning Authority – CxA), niezależną od generalnego wykonawcy, co stanowi gwarancję obiektywizmu procesu testowego.

Struktura organizacyjna zespołu jakości

Po stronie generalnego wykonawcy funkcjonuje rozbudowana struktura zespołu jakości, której skład w szczycie realizacji kampusu liczy zwykle od trzydziestu do pięćdziesięciu osób. Na czele stoi Quality Manager (QM), raportujący bezpośrednio do dyrektora projektu, posiadający kompetencje decyzyjne w zakresie zatrzymywania prac niezgodnych z wymaganiami. QM kieruje zespołem QA Engineers (planowanie i nadzór systemowy) oraz QC Engineers (bieżące inspekcje na placu budowy), z reguły rozdzielonych według branż. Dla każdej z branż wyznaczany jest QC Lead Engineer, koordynujący pracę inspektorów liniowych i odpowiedzialny za ostateczną akceptację robót branżowych.

Zarządzanie zasobami ludzkimi w zespole jakości – rotacja i kompetencje

Jednym z najtrudniejszych wyzwań organizacyjnych projektu kampusu DCB jest zarządzanie zasobami ludzkimi w wieloletnim zespole jakości. W fazie wczesnej projektu (lata 1–2) dominują zadania planistyczne i dokumentacyjne, wymagające przede wszystkim umiejętności analitycznych i komunikacyjnych. W fazie środkowej (lata 2–4) dominują inspekcje terenowe, wymagające kompetencji technicznych i odporności na warunki placu budowy. W fazie końcowej (lata 4–6) dominuje commissioning, wymagający specjalistycznej wiedzy z zakresu testowania systemów krytycznych. Idealny inspektor QC jest biegły we wszystkich tych aspektach – lecz w praktyce specjalizacje są nieuniknione. Plan zasobów ludzkich musi przewidywać transfery kompetencji, rotacje ról i systematyczne szkolenia, by uniknąć sytuacji, w której ekspert konieczny w fazie commissioningu opuścił projekt dwa lata wcześniej (PM Group, 2023; PMI, 2021).

Retencja kluczowego personelu jakościowego jest jednym z najtrudniejszych aspektów zarządzania wieloletnim projektem. Rynek pracy dla doświadczonych inżynierów Data Center jest w Polsce i Europie wysoce konkurencyjny – specjaliści z doświadczeniem w systemach jakości hyperscale mogą liczyć na atrakcyjne oferty od konkurencyjnych projektów. Ryzyko odejścia kluczowego Quality Managera lub Lead Engineera w połowie projektu jest realnym zagrożeniem jakościowym: nowy pracownik potrzebuje kilku miesięcy na zapoznanie się z historią projektu, otwartymi NCR i specyfiką Inwestora. Aktywna polityka retencji – atrakcyjne wynagrodzenia, clear career path, szkolenia certyfikacyjne, programy uznania – jest zatem integralną częścią zarządzania ryzykiem jakościowym projektu kampusu (PM Group, 2023; Senge, 1990).

Po stronie Inwestora funkcjonuje równoległy zespół jakości, prowadzony przez Owner's Quality Representative, dysponujący dostępem do wszystkich dokumentów projektowych, prawa wstępu na plac budowy bez wcześniejszego uzgadniania oraz kompetencji do żądania dodatkowych testów lub dokumentacji uzupełniającej. Niezależną od obu stron warstwę nadzoru stanowi commissioning team (CxA), oraz – w niektórych projektach – tzw. Quality Auditor zewnętrzny, prowadzący okresowe audyty zgodności systemu z wymaganiami ISO 9001 i specyficznymi wymaganiami klienta. Tak złożona struktura zapewnia mechanizm wzajemnej kontroli (ang. checks and balances),

który minimalizuje ryzyko, że niezgodności zostaną przeoczone z powodu wewnętrznej presji harmonogramowej lub kosztowej.

Komisjonowanie jako element syntezy jakości

Commissioning Authority (CxA) pełni w projekcie Data Center rolę szczególną – jest jedynym uczestnikiem procesu inwestycyjnego, którego zadaniem jest wyłącznie weryfikacja jakości systemu jako całości, bez odpowiedzialności za wykonawstwo. CxA jest zatrudniana przez Inwestora lub działa na jego bezpośrednie zlecenie, co gwarantuje jej niezależność od generalnego wykonawcy. W procesie commissioningu CxA opracowuje Master Commissioning Plan, zatwierdza procedury testowe (Test Procedures), prowadzi i dokumentuje wszystkie testy L1–L5, raportuje wyniki do Inwestora i uczestniczy w brankach decyzyjnych. Wybór CxA o odpowiednim doświadczeniu – specyficznym dla projektów Data Center, a nie ogólnobudowlanym – jest jednym z kluczowych decyzji jakościowych Inwestora w fazie przygotowawczej projektu (Uptime Institute, 2018).

Cykliczność procesów jakościowych w projekcie kampusu

Charakterystyczną cechą kampusu Data Center, odróżniającą go od projektów pojedynczego budynku, jest cykliczność procesów jakościowych. Ze względu na powtarzalność dziesięciu niemal identycznych budynków serwerowych, zespół projektowy dysponuje unikalną możliwością systematycznego doskonalenia procesów – każdy kolejny budynek powinien teoretycznie cechować się niższym współczynnikiem niezgodności niż poprzedni. W praktyce mechanizm ten określa się jako krzywą uczenia (learning curve) i jest on jednym z głównych argumentów ekonomicznych za realizacją kampusu w modelu phased delivery, czyli stopniowego oddawania kolejnych budynków zamiast jednoczesnego ukończenia całego kompleksu.

Zarządzanie krzywą uczenia wymaga jednak zaawansowanej infrastruktury wymiany wiedzy. W projekcie kampusu wprowadzane są mechanizmy systematycznego rejestrowania doświadczeń: tzw. lessons learned register, w którym dokumentowane są zarówno rozwiązania udane, warte powtórzenia, jak i błędy, których należy unikać; cotygodniowe spotkania koordynacyjne między zespołami pracującymi na różnych budynkach; bazy danych standard work, opisujące optymalne procedury wykonawcze dla powtarzalnych operacji. Skuteczne wykorzystanie tych narzędzi wymaga kultury organizacyjnej promującej otwarte komunikowanie problemów, co – jak wykazano w 1.2 – jest jednym z kluczowych warunków powodzenia systemu zarządzania jakością.

Specyficzne wyzwania jakościowe w projekcie hyperscale

System zarządzania jakością w projekcie kampusu w Bełchatowie zmagają się z kilkoma specyficznymi wyzwaniami, które determinują wybór konkretnych metod i narzędzi opisanych w kolejnych podrozdziałach. Pierwszym jest skala dokumentacji: dla pojedynczego budynku Data Center liczba dokumentów jakościowych (ITP, MS, NCR, raporty z testów) może przekroczyć dwadzieścia tysięcy pozycji, a w skali całego kampusu – dwieście tysięcy. Tak duża liczba dokumentów wymusza zastosowanie

cyfrowych platform zarządzania dokumentacją (Common Data Environment – CDE) oraz mechanizmów automatycznej walidacji, ponieważ tradycyjne, papierowe metody dokumentowania jakości stałyby się logistycznie niemożliwe do utrzymania.

Drugim wyzwaniem jest specyfika branży teletechnicznej i elektrycznej, gdzie tradycyjne metody kontroli wizualnej są niewystarczające. Jakość spoiny rurociągu wody lodowej można w pewnym stopniu ocenić wzrokowo, jednak jakość zaprasowania złącza światłowodowego, kalibracji systemu UPS czy konfiguracji systemu BMS wymaga zaawansowanych narzędzi pomiarowych i specjalistycznej wiedzy. Z tego powodu zespół jakości w projekcie Data Center musi obejmować wąsko wyspecjalizowanych ekspertów – certyfikowanych inspektorów spawalniczych dla rur ciśnieniowych, certyfikowanych inżynierów BICSI dla okablowania strukturalnego, specjalistów od testów elektrycznych dla systemów wysokiego i średniego napięcia. Pozyskanie i utrzymanie tak zróżnicowanej kadry stanowi samo w sobie wyzwanie organizacyjne.

Trzecim wyzwaniem jest interakcja między pracami budowlanymi a pracami instalacyjnymi i testowymi, prowadzonymi równolegle na tym samym obiekcie. W szczycie realizacji budynku Data Center na placu pracuje jednocześnie kilkuset pracowników: brygady żelbetowe wciąż wykonują uzupełnienia konstrukcji, instalatorzy elektryczni układają trasy kablowe, monterzy mechaniczni montują urządzenia chłodzące, a commissioning agents prowadzą wstępne testy zainstalowanych już systemów. Tak gęste przeplatanie się prac generuje zarówno ryzyko uszkodzeń mechanicznych już zainstalowanych elementów (np. zarysowanie obudowy szafy serwerowej przez ekipę malarską), jak i ryzyko zafałszowania wyników testów (np. otwarcie drzwi pomieszczenia testowanego pod kątem szczelności gazowej). Procedury jakościowe muszą zatem uwzględniać sekwencję prac, znakowanie stref ukończonych oraz mechanizmy ochrony już zaakceptowanych elementów.

Bramki decyzyjne i interfejs z zarządzaniem bezpieczeństwem

System zarządzania jakością w projekcie kampusu funkcjonuje w bezpośredniej zależności od harmonogramu inwestycji, którego punkty kluczowe stanowią tzw. bramki decyzyjne (Stage Gates). Każda z tych bramek jest formalnym momentem oceny gotowości do przejścia do kolejnej fazy projektu – od zakończenia projektowania koncepcyjnego, przez zamrożenie projektu wykonawczego, po rozpoczęcie poszczególnych poziomów commissioningu. Decyzja o przekroczeniu bramki nie zapada na podstawie samego harmonogramu, lecz na podstawie weryfikowalnego zestawu kryteriów jakościowych: kompletności dokumentacji, statusu otwartych NCR, zatwierdzenia wymaganych ITP. W projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie typowy proces decyzyjny przy bramce angażuje Quality Managera, Construction Managera, Commissioning Lead oraz Owner's Representative, a jego efektem jest formalny dokument typu Gate Approval Form podpisywany przez wszystkie strony.

Drugim wymiarem zasługującym na omówienie we wstępie do rozdziału jest interfejs systemu zarządzania jakością z systemem zarządzania bezpieczeństwem (BHP). W projekcie kampusu Data Center oba te systemy funkcjonują równolegle, lecz są ze

sobą ściśle powiązane – wiele zdarzeń jakościowych ma swoje konsekwencje bezpieczeństwa, a wiele zdarzeń bezpieczeństwa ujawnia ukryte problemy jakościowe. Przykładowo, zarejestrowanie iskrzenia w rozdzielnicy podczas testów elektrycznych jest jednocześnie zdarzeniem jakościowym (niezgodność z parametrami) i bezpieczeństwa (zagrożenie porażeniem). Z tego powodu projekty hyperscale wprowadzają zintegrowane systemy raportowania, w których pojedyncze zdarzenie generuje synchroniczne wpisy w rejestrze NCR oraz w rejestrze incydentów BHP, a analiza przyczyn źródłowych prowadzona jest wspólnie przez zespoły jakości i HSE (Health, Safety, Environment).

Praktycznym wyrazem tej integracji jest sformalizowany system Permit-to-Work (PTW) – pozwoleń na wykonanie prac szczególnie niebezpiecznych (prace na wysokości, prace gorące, prace w przestrzeniach zamkniętych, prace z medium pod ciśnieniem, prace przy energizowanych systemach elektrycznych). Każde takie pozwolenie wymaga zatwierdzenia przez kierownika robót, koordynatora BHP oraz – w przypadku prac wpływających na już zaakceptowane jakościowo elementy – przedstawiciela zespołu jakości. W ten sposób system PTW stanowi praktyczne narzędzie ochrony jakości już wykonanych robót przed ich uszkodzeniem podczas kolejnych etapów realizacji.

Niniejszy rozdział został podzielony na trzy podrozdziały, prezentujące trzy uzupełniające się wymiary analizy systemu jakości w projekcie kampusu. Podrozdział 3.1 omawia metody oceny jakości wykorzystywane w projekcie – od audytów systemowych, przez inspekcje punktowe (typu hold-witness-review), po procedury commissioningu pięciopoziomowego. Podrozdział 3.2 koncentruje się na narzędziach monitorowania jakości, w tym cyfrowych platformach CDE, technologii BIM, systemach DMS oraz nowoczesnych technikach pomiarowych (skaning 3D, kontrola termowizyjna, narzędzia diagnostyki elektrycznej). Podrozdział 3.3 prezentuje system identyfikacji problemów i niezgodności, oparty na rejestrach NCR, analizie przyczyn źródłowych (Root Cause Analysis) oraz mechanizmach systemowego doskonalenia procesów. Tak ujęta analiza pozwala na uzyskanie kompleksowego obrazu systemu jakości w projekcie hyperscale i stanowi podstawę dla oceny efektywności tego systemu, prezentowanej w rozdziale czwartym.

3.1 Metody oceny jakości

Metody oceny jakości stosowane w projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie tworzą wielowarstwowy system, w którym poszczególne narzędzia uzupełniają się i wzajemnie weryfikują wyniki. Klasyfikacja tych metod jest możliwa według kilku kryteriów: chronologicznego (kiedy w cyklu życia projektu są stosowane), funkcjonalnego (jakim aspektem jakości służą) oraz organizacyjnego (kto je przeprowadza). W niniejszym podrozdziale przyjęto klasyfikację funkcjonalną, wyróżniającą cztery główne grupy metod: audyty systemowe, inspekcje punktowe, testy techniczne oraz procedury commissioningu wielopoziomowego.

W projektach hyperscale Data Center coraz powszechniejsze staje się stosowanie podejścia opartego na analizie ryzyka przy projektowaniu zestawu metod oceny jakości.

Zamiast stosować jednolity, standardowy zestaw metod do wszystkich elementów projektu, podejście to koncentruje intensywność nadzoru tam, gdzie prawdopodobieństwo niezgodności i/lub dotkliwość jej skutków jest najwyższa. W praktyce oznacza to, że elementy krytyczne dla bezpieczeństwa i niezawodności (systemy zasilania awaryjnego, automat gazowy gaszenia pożaru, kluczowe spoiny rurociągów ciśnieniowych) są objęte najintensywniejszym nadzorem – z punktami Hold i Witness, testami FAT u producenta i certyfikowanymi inspektorami. Elementy niskiego ryzyka (wykończenie ścian biurowych, instalacje niskoprądowe pomocnicze) są weryfikowane w trybie Review – bez fizycznej obecności inspektora, na podstawie dostarczonej dokumentacji. To pozornie proste rozróżnienie, konsekwentnie stosowane, może zredukować całkowite obciążenie inspekcyjne projektu o kilkanaście do kilkudziesięciu procent bez uszczerbku dla jakości krytycznych elementów (PM Group, 2023; TIA, 2024).

Audyty systemowe

Audyty systemowe stanowią najwyższy poziom oceny jakości w projekcie. Ich celem nie jest weryfikacja pojedynczego elementu robót, lecz ocena funkcjonowania całego systemu zarządzania jakością – jego procedur, dokumentacji, kompetencji zespołu i kultury organizacyjnej. W projekcie kampusu w Bełchatowie audyty systemowe prowadzone są na trzech niezależnych poziomach. Audyty wewnętrzne, prowadzone przez zespół jakości generalnego wykonawcy, mają charakter prewencyjny i są realizowane co kwartał. Audyty inwestorskie, prowadzone przez Owner's Quality Representative, koncentrują się na zgodności z wymaganiami kontraktowymi i są przeprowadzane co kwartał lub w wybranych momentach kluczowych projektu. Audyty zewnętrzne, prowadzone przez niezależną firmę certyfikującą, służą weryfikacji zgodności z normami ISO 9001, ISO 14001 i ISO 45001 i są realizowane raz w roku.

Procedura audytu systemowego obejmuje przegląd wybranej próby dokumentacji jakościowej (typowo 30–50 ITP, 100–200 raportów inspekcji, kompletny rejestr NCR za okres audytowanym), wywiady z kluczowymi przedstawicielami zespołu (Quality Manager, kierownicy branżowi, wybrani inspektorzy liniowi) oraz inspekcję terenową, podczas której audytor weryfikuje zgodność stanu rzeczywistego na placu budowy z dokumentacją. Wynik audytu – raport z listą obserwacji (Findings) i rekomendacji – jest formalnie przekazywany kierownictwu projektu, a następnie podlega cyklowi działań naprawczych. W praktyce projektów hyperscale, kompleksowy audyt systemowy generuje od 20 do 60 obserwacji, z których 5–10 jest klasyfikowanych jako Major Non-Conformities (poważne niezgodności wymagające natychmiastowej reakcji), pozostałe jako Minor Non-Conformities lub Observations.

Metodologia audytu systemowego w projektach Data Center różni się od standardowej metodologii audytu ISO 9001 kilkoma istotnymi aspektami. Po pierwsze, audytor musi posiadać wiedzę techniczną z zakresu systemów Data Center, a nie tylko umiejętności audytowe – niezrozumienie specyfiki technicznej systemu UPS lub chłodzenia uniemożliwia ocenę adekwatności procedur. Po drugie, audyt obejmuje

weryfikację terenową, która w przypadku projektów Data Center oznacza wejście do aktywnych stref budowy (z wymaganymi procedurami BHP) i ocenę stanu rzeczywistego instalacji w porównaniu z dokumentacją projektową. Po trzecie, raport z audytu musi być skalibrowany do specyfiki projektu: co jest niezgodnością poważną dla projektu biurowego, może być normą dla projektu Data Center w fazie przedwykonawczej lub wczesnowykonawczej (PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

Kalibracja urządzeń pomiarowych – fundament wiarygodności inspekcji

Jednym z podstawowych, lecz często pomijanych w opisach systemów jakości, wymagań jest zarządzanie urządzeniami do pomiarów i monitorowania (Monitoring and Measuring Equipment – MME). W projekcie Data Center dokonuje się tysięcy pomiarów: oporności izolacji kabli, wydajności chłodzenia, ciśnienia sprężonego powietrza, poziomów hałasu i drgań, grubości powłok antykorozyjnych, wartości skreśtu śrub. Wiarygodność tych pomiarów zależy od aktualności kalibracji urządzeń pomiarowych. ISO 9001:2015 wymaga, by organizacja utrzymywała rejestr urządzeń pomiarowych z datami i wynikami kalibracji; w projektach hyperscale wymagania te są z reguły znacznie zaostrzane przez Inwestora (ISO, 2015b).

W praktyce projektu kampusu DCB każde urządzenie pomiarowe stosowane do inspekcji ITP musi posiadać ważny certyfikat kalibracji (nie starszy niż 12 miesięcy, dla urządzeń krytycznych – 6 miesięcy) wystawiony przez akredytowane laboratorium. Numer seryjny urządzenia i data kalibracji są obowiązkowo odnotowywane w protokole inspekcji. W przypadku stwierdzenia, że przyrząd był użyty po upływie daty kalibracji, wszystkie pomiary wykonane tym przyrządem są automatycznie unieważniane i muszą być powtórzone. Ten surowy wymóg, choć generuje dodatkową biurokrację, jest niezbędny dla zapewnienia wiarygodności wyników inspekcji jako podstawy do formalnego odbioru elementów projektu. System zarządzania kalibracją w projekcie DCB jest obsługiwany przez dedykowany moduł platformy CDE, automatycznie przypominający o zbliżających się terminach recertyfikacji (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Inspekcje punktowe i system H/W/R

Inspekcje punktowe stanowią rutynowe narzędzie kontroli jakości na placu budowy, weryfikujące zgodność konkretnych elementów wykonawczych z wymaganiami dokumentacji. Ich strukturę określa system H/W/R, omówiony teoretycznie w 1.2, którego praktyczne zastosowanie w projekcie kampusu zasługuje na szczegółowe omówienie. Punkty Hold (H) oznaczają miejsca w procesie wykonawczym, w których prace muszą zostać zatrzymane do czasu zatwierdzenia inspekcji przez przedstawiciela Inwestora – typowo dotyczą one elementów krytycznych, których późniejsza weryfikacja byłaby niemożliwa lub bardzo kosztowna. W projekcie kampusu Data Center przykładami punktów H są: zalanie betonem fundamentów (po sprawdzeniu zbrojenia), zamknięcie sufitu podwieszanego (po inspekcji tras kablowych nad nim), uruchomienie systemu UPS (po weryfikacji konfiguracji baterii).

Punkty Witness (W) oznaczają inspekcje, podczas których przedstawiciel Inwestora ma prawo być obecny, ale nie jest to warunkiem koniecznym kontynuacji prac – jego nieobecność po wcześniejszym powiadomieniu nie blokuje procesu. Punkty Review (R) to weryfikacje dokumentacyjne, dokonywane retrospektywnie na podstawie dostarczonych protokołów i zdjęć. Proporcja punktów H, W i R w typowym ITP projekcie Data Center wynosi około 1:3:6 – około 10% punktów to Hold (najbardziej krytyczne), 30% to Witness (istotne, ale nie blokujące), a 60% to Review (rutynowe weryfikacje dokumentacyjne). Tak zaprojektowana proporcja zapewnia zachowanie ścisłej kontroli nad elementami krytycznymi, jednocześnie nie blokując potoku wykonawczego nadmiernymi inspekcjami.

Procedura inspekcji punktowej obejmuje kilka etapów: zgłoszenie gotowości (Inspection Request – IR) wystawiane przez wykonawcę z 24- lub 48-godzinnym wyprzedzeniem, weryfikacja kompletności dokumentacji wstępnej (rysunki powykonawcze, certyfikaty materiałowe, protokoły poprzednich inspekcji), inspekcja fizyczna z udziałem inspektora wykonawcy i przedstawiciela Inwestora, ewentualne wskazanie usterek wymagających naprawy, ponowna inspekcja po naprawach, formalne zatwierdzenie protokołu. W kampusie skali Bełchatowa liczba inspekcji punktowych przekracza zwykle dwadzieścia tysięcy w skali jednego budynku, co przy dziesięciu budynkach daje porządek dwustu tysięcy inspekcji łącznie – liczba, która unaocznia, dlaczego digitalizacja procesów inspekcyjnych jest absolutną koniecznością.

Testy techniczne i pomiary specjalistyczne

Trzecią grupą metod oceny jakości są specjalistyczne testy techniczne, których celem jest weryfikacja parametrów ilościowych obiektu lub jego elementów. W projekcie kampusu Data Center testy techniczne obejmują kilka kategorii. Testy konstrukcyjne weryfikują parametry żelbetu (klasa betonu, grubość otulin, geometria zbrojenia) i są prowadzone przez akredytowane laboratoria budowlane na podstawie pobranych próbek. Testy elektryczne – takie jak pomiary izolacji kabli, weryfikacja ciągłości obwodów ochronnych, badania obciążeniowe rozdzielni – stanowią najliczniejszą kategorię testów w projekcie i są wykonywane zarówno przed energizacją systemów, jak i podczas prób pod obciążeniem.

Testy mechaniczne obejmują próby szczelności rurociągów (woda lodowa, woda gorąca, paliwo, mocznik), pomiary wydajności pomp i agregatów chłodniczych, kontrolę przepływów powietrza w systemach wentylacji oraz weryfikację parametrów akustycznych w pomieszczeniach krytycznych. Testy teletechniczne, prowadzone przez certyfikowanych inżynierów BICSI, obejmują pomiary parametrów elektrycznych i optycznych okablowania strukturalnego – tłumienie, NEXT, return loss dla okablowania miedzianego, wartości tłumienia i refleksji dla łączy światłowodowych. Każdy z testów technicznych prowadzony jest na podstawie dedykowanej procedury (Test Procedure – TP), zatwierdzonej wcześniej przez Inwestora, z użyciem skalibrowanych przyrządów pomiarowych, których świadectwa wzorcowania są weryfikowane przed każdą sesją testową.

Szczególną kategorię testów technicznych stanowią Factory Acceptance Tests (FAT), prowadzone u producentów urządzeń krytycznych przed dostawą na plac budowy. Dotyczą one przede wszystkim agregatów prądotwórczych, transformatorów wysokiego i średniego napięcia, systemów UPS, centralnych jednostek chłodniczych oraz głównych rozdzielni elektrycznych. Sesja FAT trwa typowo od jednego do pięciu dni i obejmuje weryfikację dokumentacji urządzenia, oględziny mechaniczne, testy elektryczne pod obciążeniem oraz testy funkcjonalne. W FAT uczestniczą przedstawiciele Inwestora, generalnego wykonawcy oraz firmy commissioningowej, co stanowi pierwsze przed odbiorem realne spotkanie wszystkich kluczowych aktorów procesu jakościowego. Pomyślne zaliczenie FAT jest warunkiem dostawy urządzenia na plac budowy – ewentualne uchybienia są usuwane jeszcze w fabryce, co jest wielokrotnie tańsze niż ich naprawa po dostawie.

Commissioning pięciopoziomowy – metoda integrująca

Najbardziej kompleksową metodą oceny jakości w projekcie Data Center jest commissioning pięciopoziomowy, łączący w sobie elementy testów technicznych, inspekcji i audytów systemowych, ale prowadzony według ścisłej, sekwencyjnej procedury obejmującej całe życie obiektu od fabryki do oddania do eksploatacji. Poziom L1 (Factory Acceptance Tests) został już omówiony w kontekście testów technicznych. Poziom L2 (Site Acceptance Tests – SAT) prowadzony jest po dostawie urządzenia na plac budowy i obejmuje weryfikację stanu po transporcie, kontrolę kompletności dostawy oraz instalacji w docelowej lokalizacji.

Poziom L3 (Static Commissioning) obejmuje wszystkie testy, które mogą być wykonane bez energizacji urządzenia – pomiary izolacji, weryfikację oznaczeń, kontrolę dokręcenia połączeń, sprawdzenie parametrów geometrycznych. Poziom L4 (Dynamic Commissioning) obejmuje pierwsze uruchomienie urządzenia pod napięciem lub z medium roboczym – testy funkcjonalne pojedynczych systemów, weryfikacja parametrów pracy, kalibracja regulatorów. Poziom L5 (Integrated Systems Test – IST) jest najbardziej zaawansowany i sprawdza działanie połączonych systemów w warunkach realistycznych scenariuszy: symulacja awarii zasilania (z weryfikacją czasu przejścia na UPS i agregaty), testy wytrzymałościowe systemu chłodzenia przy pełnym obciążeniu cieplnym, testy ewakuacji systemami gazowego gaszenia pożaru.

W praktyce projektów Data Center poziom L3 jest często etapem, w którym ujawnia się największa liczba NCR – ponieważ wiele błędów montażowych, niewidocznych podczas inspekcji L2, staje się oczywistych podczas szczegółowego przeglądu statycznego. Typowe niezgodności L3 obejmują: nieprawidłowe ułożenie kabli w rozdzielnicach (niezgodne ze schematami jednoliniowymi), brakujące lub błędne oznaczenia urządzeń i kabli, niewystarczające dokręcenie połączeń śrubowych (weryfikowane kluczem dynamometrycznym), niezgodności w pozycjonowaniu urządzeń względem projektu (weryfikowane miarką i poziomica). Każda z tych niezgodności, jeśli jest wykryta na poziomie L3, jest wielokrotnie tańsza do naprawy niż

gdyby została wykryta po energizacji – lub, w najgorszym przypadku, podczas eksploatacji (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Pre-Functional Checklists oraz testy poziomu kampusu

Pomiędzy poziomami L2 a L3 commissioningu funkcjonuje warstwa pośrednia, której znaczenie często bywa niedoceniane – Pre-Functional Checklists (PFC). Są to wystandaryzowane listy kontrolne dla każdego typu urządzenia lub systemu, weryfikujące podstawowe warunki gotowości do testów funkcjonalnych: kompletność montażu, prawidłowość okablowania pomocniczego, dostępność dokumentacji producenta, stan oznakowania, działanie wskaźników statusu. Pojedyncza PFC obejmuje typowo od 30 do 150 punktów weryfikacyjnych i jest wypełniana przez koordynatora wykonawcy, a następnie weryfikowana przez przedstawiciela zespołu commissioningowego. W projekcie kampusu skali Bełchatowa liczba PFC dla pojedynczego budynku Data Center przekracza tysiąc dokumentów, a ich systematyczne wypełnienie warunkuje przejście do L3.

Specyficzną cechą kampusów Data Center, odróżniającą je od pojedynczych obiektów, jest istnienie testów na poziomie kampusu – wykraczających poza testy pojedynczego budynku i weryfikujących integrację infrastruktury wspólnej. Do testów tej kategorii zaliczają się: testy synchronizacji rozdzielnic średniego napięcia obsługujących wielu odbiorców jednocześnie, próby równoległej pracy agregatów prądotwórczych z różnych budynków na wspólnej szynie zbiorczej, testy bilansu cieplnego systemu chłodzenia przy jednoczesnym pełnym obciążeniu kilku budynków, scenariusze awaryjne obejmujące jednoczesną awarię wybranych elementów infrastruktury wspólnej (np. utratę zasilania jednej z linii 110 kV lub awarię jednej z głównych rozdzielnic 15 kV).

Testy poziomu kampusu wymagają specyficznej organizacji – udziału personelu z wielu zespołów jednocześnie, zawieszenia normalnych prac na obszarze testowanym, koordynacji z operatorem systemu elektroenergetycznego (w przypadku testów obciążających infrastrukturę przesyłową), a niekiedy nawet uzgodnień z lokalną strażą pożarną (przy testach systemów gaszenia pożaru). Z tego powodu są one planowane z kilkutygodniowym wyprzedzeniem, mają dedykowane procedury testowe (Campus-Level Test Procedures) i są wykonywane w specyficznych oknach czasowych, np. w okresach niskiego obciążenia sieci elektrycznej lub w soboty wieczorem, gdy sąsiedztwo industrialne pracuje w trybie ograniczonym. Pomyślne zaliczenie testów poziomu kampusu jest warunkiem oddania całego kompleksu do eksploatacji, niezależnie od stanu poszczególnych budynków.

Testy IST trwają w przypadku pojedynczego budynku Data Center od czterech do ośmiu tygodni i są najbardziej intensywnym okresem zaangażowania zespołu commissioningowego, Inwestora oraz reprezentantów producentów kluczowych systemów. Każdy scenariusz testowy generuje od kilkunastu do kilkudziesięciu obserwacji wymagających rozstrzygnięcia – od drobnych korekt parametrów BMS po istotne zmiany konfiguracyjne. Pomyślne zakończenie L5 stanowi warunek formalnego

przejęcia obiektu z fazy realizacji do fazy operacyjnej (Ready for Service – RFS) i otwiera drogę do certyfikacji Constructed Facility Rating przez Uptime Institute. Tym samym commissioning pięciopoziomowy jest nie tylko narzędziem kontroli jakości, ale stanowi też formalny mechanizm odbioru obiektu i przekazania go Inwestorowi do eksploatacji.

Czas trwania certyfikacji Uptime Institute dla projektu hyperscale jest jednym z czynników, które muszą być uwzględnione w harmonogramie projektu. Proces certyfikacji Design Documents trwa typowo 6–12 tygodni od złożenia kompletu dokumentów, a certyfikacja Constructed Facility – 4–8 tygodni od zakończenia testów IST i złożenia raportu commissioningowego. Oznacza to, że planowanie RFS musi uwzględniać czas certyfikacji jako dodatkowy bufor po zakończeniu testów – projekty, które zaplanują RFS natychmiast po IST, mogą doświadczyć opóźnień z powodu czasu administracyjnego procesu certyfikacji. W projekcie DCB harmonogram powinien przewidywać minimum 6–8 tygodni pomiędzy zakończeniem IST a planowanym RFS, co jest standardową praktyką w projektach hyperscale klasy Tier III/IV (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021).

Podejście oparte na ryzyku w planowaniu inspekcji (risk-based inspection)

W obliczu ogromu dokumentacji jakościowej generowanej przez projekt kampusu Data Center i nieuchronnych ograniczeń zasobów ludzkich, konieczne jest stosowanie podejścia opartego na ryzyku (risk-based inspection – RBI) przy planowaniu inspekcji. Zamiast traktować wszystkie elementy projektu z identyczną intensywnością nadzoru, RBI koncentruje zasoby QC na elementach o najwyższym iloczynieniu prawdopodobieństwa wystąpienia niezgodności i dotkliwości jej skutków. Elementy krytyczne dla bezpieczeństwa lub niezawodności operacyjnej obiektu (systemy zasilania awaryjnego, automatyki BMS, gaszenia pożaru) otrzymują najwyższy priorytet nadzoru – wszystkie ich punkty inspekcyjne są oznaczone jako Hold lub Witness. Elementy o niskim ryzyku (np. prace malarskie w pomieszczeniach pomocniczych, instalacje niskoprądowe linii nie krytycznych) mogą być obsługiwane przez mechanizm Review, bez fizycznej obecności inspektora (PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

Efektywna implementacja podejścia risk-based w projekcie kampusu DCB wymaga regularnej aktualizacji matrycy ryzyka w miarę postępu realizacji. Dane zgromadzone z poprzednich inspekcji, analizy NCR i wyniki audytów dostarczają nowych informacji o faktycznym ryzyku poszczególnych elementów – co może prowadzić do korekty pierwotnych założeń. Element, który był klasyfikowany jako niskiego ryzyka, a w trakcie realizacji wielokrotnie generował NCR, powinien być reklasyfikowany do wyższej kategorii ryzyka. Mechanizm regularnego przeglądu matrycy ryzyka (np. co kwartał) jest elementem cyklu PDCA stosowanego do samego systemu zarządzania jakością – nie tylko do produktów, które ten system nadzoruje (Deming, 1986; PM Group, 2023).

Matryca ryzyka stosowana w projekcie kampusu DCB uwzględnia cztery klasy ryzyka: krytyczne (elementy bezpośrednio wpływające na dostępność 99,982% Tier III lub 99,995% Tier IV), wysokie (elementy wpływające na redundancję lub możliwość

konserwacji bez przerwy w pracy), średnie (elementy wpływające na efektywność eksploatacji i koszty operacyjne) oraz niskie (wszystkie pozostałe). Klasyfikacja ta jest opracowywana przez zespół jakości we współpracy z commissioning authority na etapie przygotowania dokumentacji ITP i jest zatwierdzana przez Inwestora przed rozpoczęciem realizacji. Dynamiczne aktualizowanie klasyfikacji ryzyka – na podstawie obserwacji NCR z poprzednich budynków kampusu – stanowi jeden z praktycznych przejawów krzywej uczenia omawianej w niniejszej pracy. Jeśli analiza historyczna NCR wskazuje na nieoczekiwanie wysoką częstość niezgodności w określonym typie elementów, które były klasyfikowane jako niskie ryzyko, klasyfikacja ta jest podnoszona dla kolejnych budynków (PM Group, 2023).

Metody oceny jakości dostawców i podwykonawców

Ważnym, lecz często pomijanym wymiarem oceny jakości w projektach hyperscale jest systematyczna ewaluacja dostawców i podwykonawców. Projekty Data Center angażują dziesiątki firm – od wielkich, globalnych producentów urządzeń krytycznych (Schneider Electric, Vertiv, ABB, Siemens), przez generalne wykonawstwo, po lokalne firmy instalacyjne i wykończeniowe. Każda z nich wnosi swój własny poziom dojrzałości jakościowej, który bezpośrednio przekłada się na strumień niezgodności generowanych w projekcie. Metody oceny jakości dostawców obejmują: weryfikację wstępną (prequalification) przed podpisaniem umowy, regularne oceny kwartalne w trakcie realizacji (Supplier Performance Review), analizę wskaźnika NCR per dostawca oraz ocenę końcową, stanowiącą element lessons learned. Dostawcy z konsekwentnie wysokim NCR Rate mogą być objęci dodatkowym nadzorem (enhanced surveillance), a w skrajnych przypadkach – objęci procesem corrective action plan lub zastąpieni przez alternatywnych wykonawców (PM Group, 2023).

W kontekście projektu DCB, realizowanego w Polsce, ocena jakości dostawców ma dodatkowy wymiar – dotyczy zdolności lokalnych podwykonawców do sprostania standardom hyperscale, z którymi często spotykają się po raz pierwszy. Lokalni wykonawcy instalacyjni dysponują z reguły wysokimi kompetencjami technicznymi, lecz mogą nie być zaznajomieni z formalnymi wymaganiami dokumentacyjnymi (formaty ITP, terminy zgłaszania Inspection Requests, standardy fotografii dokumentacyjnej) charakterystycznymi dla projektów Inwestorów globalnych. Program wdrożenia wstępnego (onboarding program), obejmujący szkolenia z wymagań jakościowych, jest kluczowym elementem zarządzania jakością na wczesnym etapie projektu i stanowi inwestycję, która się zwraca poprzez niższy strumień NCR w fazach wykonawczych.

Dokumentacja powykonawcza jako element oceny jakości

Jednym z finalnych produktów systemu zarządzania jakością w projekcie Data Center jest kompletna dokumentacja powykonawcza (as-built documentation), stanowiąca techniczne świadectwo zrealizowanego obiektu. W standardzie hyperscale dokumentacja ta obejmuje: aktualne rysunki powykonawcze we wszystkich branżach (CSA, electrical, mechanical, teletechnical), model BIM poziom LOD 500 odzwierciedlający rzeczywisty stan instalacji, protokoły wszystkich testów i inspekcji

(komplet ITP z podpisami i datami), certyfikaty kalibracyjne i świadectwa jakości materiałów, dokumentację oprogramowania BMS (konfiguracje, backup, dokumentacja funkcjonalna) oraz komplet NCR z potwierdzeniami zamknięcia. Łączna objętość dokumentacji powykonawczej dla jednego budynku Data Center może przekraczać kilkadziesiąt tysięcy dokumentów; jej kompletność i organizacja są weryfikowane przez commissioning authority i Inwestora przed wystawieniem certyfikatu RFS (Uptime Institute, 2018).

Jakość dokumentacji powykonawczej ma kluczowe znaczenie dla późniejszej eksploatacji obiektu. Wiele problemów, z którymi mierzą się operatorzy Data Center w fazie operacyjnej – trudności z identyfikacją przyczyn awarii, błędy w konfiguracji systemów podczas modernizacji, niemożność odtworzenia sekwencji uruchomienia po awarii – wynika bezpośrednio z niekompletnej lub nieaktualnej dokumentacji powykonawczej. Z tego powodu wymagania Inwestorów hyperscale dotyczące dokumentacji powykonawczej są coraz bardziej restrykcyjne i szczegółowe, a w przetargach na generalnych wykonawców zdolność do dostarczenia kompletnej, cyfrowej dokumentacji powykonawczej staje się kryterium konkursowym. W projekcie kampusu DCB zarządzanie dokumentacją powykonawczą jest integralnie wbudowane w cykl życia każdego NCR i każdej inspekcji punktowej – każde zatwierdzenie inspekcji jest jednocześnie wpisem do dokumentacji as-built, a nie odrębnym, późniejszym procesem.

3.2 Narzędzia monitorowania jakości

Realizacja kampusu Data Center skali Bełchatowa, generująca setki tysięcy zdarzeń jakościowych, byłaby niemożliwa do zarządzania bez zaawansowanego ekosystemu narzędzi cyfrowych. W ostatniej dekadzie branża budowlana – a w szczególności jej segment infrastruktury krytycznej – przeszła głęboką transformację cyfrową, w wyniku której tradycyjne, papierowe metody dokumentowania jakości zostały zastąpione zintegrowanymi platformami informatycznymi. Niniejszy podrozdział omawia kluczowe kategorie narzędzi monitorowania jakości stosowanych w projekcie kampusu Data Center, ze wskazaniem ich praktycznych zastosowań i ograniczeń.

Common Data Environment (CDE) jako platforma centralna

Sercem cyfrowego ekosystemu jakościowego w projekcie Data Center jest Common Data Environment (CDE) – wspólna platforma zarządzania dokumentacją, pełniąca rolę jedyne źródła prawdy (single source of truth) dla wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego. CDE jest zdefiniowane przez normę ISO 19650 jako uzgodnione źródło informacji projektowej, do którego dostęp posiadają wszystkie strony kontraktu i które gromadzi pełną historię zmian. W projektach hyperscale popularne komercyjne realizacje CDE obejmują platformy takie jak Autodesk Construction Cloud, Aconex, Procore czy Asite. Wybór konkretnej platformy jest dokonywany przez Inwestora i staje się obowiązkowy dla wszystkich podwykonawców projektu.

Integracja CDE z procesem zarządzania zmianami projektowymi

Zarządzanie zmianami projektowymi (Change Management) jest jednym z najtrudniejszych aspektów projektów Data Center o długim cyklu realizacji. Zmiany pojawiają się z wielu powodów: Inwestor aktualizuje wymagania techniczne w odpowiedzi na ewoluujący rynek, producenci urządzeń modyfikują specyfikacje produktów w trakcie realizacji, regulatorzy (ustawowi) wprowadzają nowe przepisy. Każda zmiana ma potencjał wpłynięcia na jakość obiektu – niezamierzone kolizje z innymi elementami, niezgodność ze standardami certyfikacyjnymi lub po prostu pogorszenie parametrów. System CDE, pełniąc rolę centrali zarządzania dokumentacją, jest naturalnym miejscem, w którym zmiany są rejestrowane, dystrybuowane i śledzone. Formalna procedura Change Management w projektach Data Center obejmuje: zarejestrowanie propozycji zmiany (Change Request), ocenę wpływu na jakość, harmonogram i koszt, zatwierdzenie lub odrzucenie przez odpowiednie szczeble hierarchii, wdrożenie zatwierdzonej zmiany i aktualizację dokumentacji (PMI, 2021; ISO, 2015b).

Szczególnie trudne do zarządzania jakościowego są tzw. zmiany field-initiated – wprowadzane ad hoc na placu budowy, bez formalnej procedury, przez inspektorów lub brygadzystów rozwiązujących konkretny problem techniczny. Przykładem może być zmiana trasy kabla z powodu kolizji z niezaplanowaną przeszkodą lub zamiana materiału izolacyjnego z powodu niedostępności zaplanowanego w terminie. Każda taka zmiana, choć często mała i wydająca się nieistotna, musi być formalnie zarejestrowana, zaakceptowana przez odpowiednie osoby i odzwierciedlona w dokumentacji as-built – inaczej tworzy rozbieżność między projektem a stanem faktycznym, która może utrudnić przyszłą konserwację lub diagnostykę awarii. System CDE powinien zawierać dedykowany moduł obsługi Field Change Requests, dostępny z urządzeń mobilnych bezpośrednio z placu budowy (PM Group, 2023).

Z perspektywy zarządzania jakością, CDE pełni kilka kluczowych funkcji. Po pierwsze, zarządza obiegiem dokumentacji projektowej – każdy rysunek, specyfikacja czy procedura przechodzi przez ścieżkę uzgodnień (Work in Progress, Shared, Published, Archived) z pełną historią zmian, datami i autorami. Po drugie, gromadzi wszystkie dokumenty jakościowe – ITP, Method Statements, raporty inspekcji, NCR – czyniąc je natychmiast dostępnymi dla wszystkich uprawnionych użytkowników. Po trzecie, umożliwia automatyzację procesów – np. zgłoszenie inspekcji (IR) w CDE automatycznie powiadamia odpowiednich inspektorów, rezerwuje czas w ich kalendarzach i generuje formularze inspekcyjne na urządzeniach mobilnych. Po czwarte, prowadzi audytowalną ścieżkę wszystkich operacji, co ma kluczowe znaczenie w kontekście wymagań certyfikacyjnych Uptime Institute oraz norm ISO.

Building Information Modeling (BIM) w monitorowaniu jakości

Technologia BIM (Building Information Modeling) stanowi najbardziej rozwiniętą warstwę cyfrowej reprezentacji projektu i jest powszechnie stosowana w realizacjach typu hyperscale, w tym w analizowanym kampusie. W ujęciu jakościowym BIM przestaje być wyłącznie narzędziem projektowania – staje się platformą integrującą dokumentację techniczną z procesami zarządzania jakością. W projekcie kampusu w Bełchatowie model BIM jest opracowywany na poziomie szczegółowości LOD 400 (Level of Development), oznaczającym pełną reprezentację geometryczną z parametrami fabrycznymi instalowanych urządzeń. Po zakończeniu realizacji model jest aktualizowany do poziomu LOD 500 – modelu powykonawczego, odzwierciedlającego rzeczywisty stan obiektu po wszystkich modyfikacjach.

Praktyczne zastosowania BIM w monitorowaniu jakości obejmują kilka aspektów. Wykrywanie kolizji (clash detection) prowadzone jest cyklicznie na zintegrowanym modelu wszystkich branż i pozwala na identyfikację konfliktów geometrycznych przed rozpoczęciem wykonawstwa – np. kolizji tras kablowych z kanałami wentylacyjnymi, czy konfliktów rozdzielnic elektrycznych z instalacjami sanitarnymi. W projekcie kampusu Data Center liczba wykrytych w fazie projektowej kolizji może sięgać kilkudziesięciu tysięcy, z których każda jest rejestrowana, przypisana do odpowiedniej branży i zamykana w cyklu cotygodniowych spotkań koordynacyjnych. Eliminacja kolizji w fazie projektowej jest wielokrotnie tańsza niż ich rozwiązywanie na placu budowy, gdzie wymaga już rzeczywistej demontażu i ponownego montażu instalacji.

Oprócz wykrywania kolizji, model BIM jest wykorzystywany do szeregu innych zastosowań jakościowych. Modele 4D BIM (BIM połączony z harmonogramem) pozwalają na wizualizację sekwencji prac i identyfikację potencjalnych konfliktów harmonogramowych – czyli sytuacji, gdy dwie brygady muszą wykonywać prace w tej samej przestrzeni w tym samym czasie. Modele 5D BIM (BIM połączony z kosztorysem) wspierają zarządzanie budżetem jakości poprzez powiązanie kosztów poszczególnych działań jakościowych z konkretnymi elementami modelu. Model BIM Level of Development 400 (LOD 400), wymagany w fazie realizacyjnej, zawiera informacje fabryczne o zainstalowanych urządzeniach – numery seryjne, daty produkcji, certyfikaty – co stanowi cyfrowy punkt wyjścia do kompletacji dokumentacji powykonawczej (ISO, 2015b; PM Group, 2023).

Systemy Reality Capture, czyli automatyczne skanowanie 3D placu budowy przy użyciu skanerów laserowych LiDAR lub dronów, coraz częściej zastępują tradycyjne obmiary geodezyjne w projektach Data Center. Skan generuje chmurę punktów (point cloud) odzwierciedlającą rzeczywisty stan obiektu z dokładnością do kilku milimetrów. Porównanie chmury punktów z modelem BIM pozwala na automatyczne wykrywanie odchyłeń geometrycznych: elementy konstrukcyjne nie w osi projektowej, instalacje nie na trasach projektowych, urządzenia nie w docelowej lokalizacji. Taki proces kontroli geodezyjnej jest kilkukrotnie szybszy i dokładniejszy niż tradycyjny obmiar z taśmą mierniczą, a wynik jest dostępny w postaci cyfrowej nadającej się do archiwizacji jako

element dokumentacji as-built. W projekcie DCB planowane jest regularne skanowanie każdego budynku po zakończeniu poszczególnych branż – co pozwoli na utrzymanie aktualnego, dokładnego modelu as-built przez cały czas realizacji (PM Group, 2023; ISO, 2015b).

Technologia Reality Capture przez skanowanie LiDAR ma szczególne zastosowanie w obiektach Data Center, gdzie precyzja wykonania instalacji elektrycznych i mechanicznych ma bezpośredni wpływ na dostępność systemu. Błąd pozycjonowania szyny zbiorczej o kilka centymetrów może uniemożliwić podłączenie standardowych kabli zasilających; błąd w poziomowaniu podstawy agregatu prądotwórczego może prowadzić do drgań przekraczających normę, skracając żywotność urządzenia. Weryfikacja geometryczna metodą tradycyjną (taśma miernicza, poziomicą) jest podatna na błędy ludzkie i jest niemożliwa do przeprowadzenia dla całości dużego obiektu w akceptowalnym czasie. Skany 3D pozwalają na weryfikację geometryczną całego obiektu w ciągu kilku godzin i z dokładnością niemożliwą do osiągnięcia innymi metodami. W projekcie kampusu DCB plany wdrożenia skanowania 3D obejmują skany po zakończeniu każdej branży (żelbetowej, stalowej, elektrycznej, mechanicznej, teletechnicznej) oraz skany powykonawcze po komisjonowaniu każdego budynku – tworząc kompletną, cyfrową historię geometryczną każdego obiektu (PM Group, 2023; ISO, 2015b).

Systemy IoT w monitorowaniu jakości środowiska pracy

Nowoczesnym uzupełnieniem tradycyjnych metod inspekcyjnych jest zastosowanie sensorów IoT (Internet of Things) do ciągłego monitorowania warunków środowiskowych na placu budowy. W obiektach Data Center, gdzie wymagania co do czystości, temperatury i wilgotności podczas instalacji wrażliwych urządzeń (serwery, systemy UPS, aparatura AKPiA) są rygorystyczne, sensory IoT dostarczają ciągłego strumienia danych potwierdzających, że warunki środowiskowe były odpowiednie przez cały czas instalacji. Dane te są archiwizowane jako element dokumentacji jakościowej i mogą być przywoływane w przypadku sporów o przyczynę potencjalnych usterek: zamiast polegać na pamięci pracowników, system dostarcza obiektywnego, cyfrowego dowodu warunków panujących w pomieszczeniu w chwili instalacji konkretnego urządzenia (PM Group, 2023).

Sensory IoT są również stosowane do monitorowania jakości betonu (czujniki wilgotności i temperatury osadzone w elementach betonowych podczas wylewania), jakości spoin (rejestratory temperatury spawania), a nawet do kontroli czystości powietrza w strefach instalacji IT (czujniki pyłu). Dane z sensorów są automatycznie przesyłane do systemu CDE i powiązane z odpowiednimi elementami modelu BIM, tworząc kompletny, audytowalny ślad jakości każdego krytycznego elementu. Koszt takich rozwiązań, choć wyższy niż tradycyjnych metod, jest uzasadniony w projektach hyperscale: dane IoT mogą być kluczowym dowodem w sporze z ubezpieczycielem lub klientem operatorskim dotyczącym przyczyny awarii, która ujawniła się kilka lat po oddaniu obiektu do eksploatacji (PM Group, 2023; ISO, 2015b).

BIM jest również wykorzystywany do prowadzenia tzw. site-to-model walks – weryfikacji rzeczywistego stanu placu budowy ze stanem projektowym przy użyciu skanu 3D wykonywanego skanerami laserowymi (LiDAR). Skan generuje chmurę punktów (point cloud), która jest następnie zestawiana z modelem BIM. Wszelkie odchylenia powyżej zdefiniowanych tolerancji (typowo 10–25 mm dla elementów konstrukcyjnych, 50 mm dla tras instalacyjnych) są zaznaczane jako potencjalne niezgodności wymagające weryfikacji. Tego typu skanowanie prowadzone jest cyklicznie – po zakończeniu konstrukcji, po zakończeniu instalacji elektrycznych, po zakończeniu instalacji mechanicznych – tworząc kompletny obraz progresu realizacji oraz ewentualnych odchyłań.

Mobilne aplikacje inspekcyjne

Operacyjny poziom monitorowania jakości – codziennej pracy inspektorów na placu budowy – opiera się na wyspecjalizowanych aplikacjach mobilnych. Inspektorzy QC są wyposażeni w tablety lub smartfony przemysłowe (typowo o klasie szczelności IP65), na których uruchomione są aplikacje typu Procore, Fieldwire, PlanGrid, Bluebeam Revu lub dedykowane rozwiązania własne generalnego wykonawcy. Aplikacje te zapewniają dostęp do dokumentacji projektowej, formularzy inspekcyjnych, list kontrolnych (checklist) oraz umożliwiają natychmiastową rejestrację wyników inspekcji wraz ze zdjęciami i geolokalizacją.

Kluczową zaletą rozwiązań mobilnych jest natychmiastowy obieg informacji. W tradycyjnym, papierowym modelu pracy, raport z inspekcji powstawał w terenie, był następnie przepisywany do systemu komputerowego (z opóźnieniem 24–48 godzin) i dopiero potem stawał się dostępny dla pozostałych uczestników. Aplikacje mobilne eliminują ten lag – raport jest dostępny w CDE i powiązany z modelem BIM bezpośrednio po zatwierdzeniu inspektora w terenie. Dla projektu skali kampusu Data Center taki przyspieszony obieg informacji ma kluczowe znaczenie dla utrzymania zsynchronizowanego harmonogramu prac, redukując czas między wykryciem niezgodności a rozpoczęciem działań naprawczych. Statystyki PM Group (2023) wskazują, że projekty stosujące mobilną dokumentację jakościową cechują się o 40–50 proc. krótszym średnim czasem zamykania NCR niż projekty bazujące na tradycyjnych metodach.

Specjalistyczne narzędzia diagnostyczne i pomiarowe

Poza ogólnym ekosystemem cyfrowym, projekt kampusu Data Center wykorzystuje wyspecjalizowane narzędzia diagnostyczne dedykowane konkretnym branżom. W obszarze instalacji elektrycznych są to m.in. mierniki rezystancji izolacji wysokonapięciowej (Megger), analizatory jakości energii rejestrujące zniekształcenia harmoniczne (THD, TDD), kamery termowizyjne służące do wykrywania nadmiernego nagrzewania w połączeniach śrubowych rozdzielnic, a także rejestratory parametrów elektrycznych instalowane na okres testów obciążeniowych. Wyniki pomiarów są w miarę możliwości eksportowane bezpośrednio do CDE w formie ustandaryzowanych raportów, co eliminuje ryzyko błędów przepisywania danych ręcznie.

W obszarze instalacji teletechnicznych podstawowym narzędziem są testery / certyfikatory okablowania strukturalnego (Fluke DSX, Viavi), generujące certyfikaty pomiarowe dla każdego pojedynczego łącza w obiekcie. W kampusie skali Bełchatowa liczba łączy podlegających certyfikacji wynosi typowo kilka milionów – każdy z nich wymaga oddzielnego raportu z parametrami pomiarowymi. Reflektometry optyczne (OTDR) służą weryfikacji spawów światłowodowych i wykrywaniu uszkodzeń kabli na trasach przyłączeniowych. W instalacjach mechanicznych wykorzystywane są próbniki ciśnieniowe, anemometry termiczne (do pomiaru przepływów powietrza), kamery rezonansu akustycznego (do wykrywania nieszczelności sprężonego powietrza i gazów technicznych), a w przypadku systemów chłodzenia – analizatory parametrów termodynamicznych weryfikujące rzeczywistą wydajność chillera względem deklaracji producenta.

IoT i sensoryka placu budowy

Najnowszą warstwę cyfrowego ekosystemu jakości stanowią rozproszone sensory IoT (Internet of Things) instalowane na placu budowy, których zadaniem jest ciągle monitorowanie warunków środowiskowych mogących mieć wpływ na jakość wykonywanych robót. W projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie tego typu sensory są wykorzystywane w kilku obszarach. Czujniki temperatury i wilgotności w pomieszczeniach, w których prowadzone są szczególnie wrażliwe prace (montaż urządzeń elektronicznych, prace z klejami konstrukcyjnymi, prace z farbami specjalistycznymi), pozwalają na automatyczne wstrzymanie prac, gdy warunki wykraczają poza tolerancje. Czujniki drgań, instalowane na sąsiednich obszarach z czułymi urządzeniami w trakcie testów, ostrzegają o nadmiernych wibracjach mogących zafałszować wyniki pomiarów.

Coraz powszechniejsze stają się również systemy lokalizacji pracowników i sprzętu (Real-Time Location Systems – RTLS), oparte o tagi UWB lub Bluetooth Low Energy. Choć ich pierwotnym zastosowaniem jest poprawa bezpieczeństwa (lokalizacja pracownika w przypadku ewakuacji, kontrola dostępu do stref zagrożenia), to z perspektywy jakościowej dostarczają one cennych danych: pozwalają zweryfikować, czy określona inspekcja faktycznie odbyła się w deklarowanej lokalizacji, czy specjalistyczny inspektor był obecny przy konkretnym teście, czy określony sprzęt pomiarowy był używany w deklarowanym oknie czasowym. Tego typu cyfrowe ślady są coraz częściej wymagane przez audytorów Inwestora jako uzupełnienie tradycyjnej dokumentacji jakościowej.

Zarządzanie kalibracją przyrządów pomiarowych

Wszystkie omówione narzędzia diagnostyczne i pomiarowe są wartościowe tylko o tyle, o ile dostarczają wiarygodnych wyników – co wymaga utrzymania pełnej kontroli nad kalibracją przyrządów. W projekcie kampusu Data Center funkcjonuje sformalizowany system zarządzania kalibracją (Calibration Management System), zgodny z wymaganiami pkt. 7.1.5 normy ISO 9001:2015 dotyczącymi zasobów do monitorowania i pomiarów. Każdy przyrząd używany do pomiarów jakościowych musi

posiadać aktualne świadectwo wzorcowania wydane przez akredytowane laboratorium pomiarowe (w polskich realiach najczęściej akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji), z określoną niepewnością pomiarową odpowiednią do mierzonych wielkości.

System zarządzania kalibracją w projekcie kampusu obejmuje rejestr wszystkich przyrządów pomiarowych (typowo kilkaset pozycji w szczycie realizacji), z przypisanymi do każdego z nich danymi: producenta, modelu, numeru seryjnego, daty ostatniej kalibracji, terminu kolejnej kalibracji, akredytowanego laboratorium kalibrującego, nazwiska właściciela na placu. Automatyczne powiadomienia są wysyłane do właścicieli przyrządów na 30 dni przed wygaśnięciem ważności kalibracji, a przyrządy z przeterminowaną kalibracją są blokowane w systemie i nie mogą być wykorzystywane w żadnych formalnych pomiarach. W przypadku stwierdzenia niezgodności pomiarowej, której wynik mógł wpłynąć na wcześniej zatwierdzone elementy obiektu, uruchamiany jest tzw. backwards-traceability process – analiza wszystkich pomiarów wykonanych danym przyrządem od ostatniej zwalidowanej kalibracji, mogąca skutkować ponownym wykonaniem określonych testów. Tak rygorystyczne podejście do kalibracji jest charakterystyczne dla projektów infrastruktury krytycznej i odróżnia je od standardowego budownictwa kubaturowego, gdzie kontrola metrologiczna jest zwykle znacznie luźniejsza.

Dashboardsy i raportowanie kierownicze (KPI)

Najwyższą warstwę systemu monitorowania jakości stanowią dashboardy kierownicze, agregujące dane z poziomu operacyjnego do postaci wskaźników kluczowych (Key Performance Indicators – KPI) wykorzystywanych przez kierownictwo projektu i Inwestora do oceny postępu i jakości realizacji. Typowy zestaw KPI jakościowych w projekcie kampusu Data Center obejmuje: wskaźnik FPY (First Pass Yield) – procent inspekcji zaakceptowanych przy pierwszym podejściu; wskaźnik gęstości NCR (NCR Density) – liczbę zgłoszonych niezgodności na 1000 inspekcji; średni czas zamknięcia NCR (Average NCR Closure Time); wskaźnik recurring NCR – liczbę powtarzających się typów niezgodności; punktualność inspekcji (Inspection Punctuality) – procent inspekcji wykonanych w zaplanowanym terminie.

Dashboardsy są aktualizowane w czasie rzeczywistym lub w trybie nocnego batcha i są dostępne dla wszystkich uprawnionych członków zespołu projektowego. W projekcie kampusu typowo wdrażane są w technologii Power BI lub Tableau, zasilanej danymi z platformy CDE poprzez interfejsy API. Wartością dodaną dashboardów jest możliwość drążenia szczegółów (drill-down) – od wskaźnika zagregowanego dla całego kampusu, przez wskaźniki branżowe, do konkretnych dokumentów źródłowych. Tak skonstruowane raportowanie umożliwia szybką identyfikację obszarów wymagających uwagi kierowniczej i stanowi podstawę dla cotygodniowych spotkań kierownictwa projektu. Należy jednak zaznaczyć, że dashboardy są narzędziem pomocniczym – ich wartość zależy od jakości danych wejściowych i nie zastępują bezpośredniej obserwacji placu budowy ani profesjonalnej oceny inżynierskiej, którą prowadzi zespół jakości.

Zarządzanie dokumentami i cyfrowy obieg zatwierdzeń

Jednym z kluczowych, lecz często niedocenianych narzędzi monitorowania jakości jest system zarządzania dokumentami (Document Management System – DMS), stanowiący warstwę CDE odpowiedzialną za obieg zatwierdzeń rysunków, specyfikacji i procedur. W projekcie kampusu Data Center liczba dokumentów wymagających formalnego obiegu zatwierdzeń sięga kilkudziesięciu tysięcy; każdy z nich przechodzi przez kilka etapów: opracowanie przez wykonawcę, wewnętrzna weryfikacja QC, przekazanie do zatwierdzenia przez Inwestora i projektanta, ewentualne uwagi i rewizja, ostateczne zatwierdzenie i wydanie na plac budowy. Czas trwania tego cyklu jest ściśle kontrolowany kontraktowo – standardowe umowy hyperscale przewidują terminy odpowiedzi Inwestora na złożone dokumenty (typowo 10–15 dni roboczych), a przekroczenie terminów jest rejestrowane jako naruszenie umowy mogące generować roszczenia.

System DMS, zintegrowany z CDE, umożliwia automatyczne śledzenie statusu każdego dokumentu, wysyłanie przypomnień do odpowiedzialnych stron, identyfikację dokumentów zalegających w obiegu ponad dopuszczalny termin (tzw. overdue submittals) oraz generowanie raportów o stanie kompletności dokumentacji wymaganych do poszczególnych etapów projektu (np. kompletność ITP wymaganych do rozpoczęcia testów L3). Z perspektywy zarządzania jakością, DMS jest systemem prewencji – zapewnia, że żadna praca nie zostanie wykonana bez zatwierdzonej dokumentacji technicznej, co jest jednym z fundamentalnych warunków jakościowych w projektach infrastruktury krytycznej. Weryfikacja, czy wszystkie dokumenty wymagane do danego etapu prac są zatwierdzone, jest standardowym elementem procedury Gate Approval Form omówionej wcześniej (ISO, 2015b).

Zarządzanie rewizjami dokumentów technicznych jest jednym z najbardziej narażonych na błędy obszarów w tradycyjnym budownictwie. Przypadki prac prowadzonych na podstawie nieaktualnych rewizji rysunków, skutkujące koniecznością kosztownych poprawek, są powszechne w projektach budowlanych. System CDE eliminuje ten problem poprzez mechanizm automatycznego zarządzania rewizjami: pracownik pobierający rysunek z systemu zawsze otrzymuje jego najnowszą zatwierdzoną wersję, a starsze rewizje są automatycznie oznaczane jako wycofane i niedostępne do pracy. W projekcie kampusu DCB wydruki rysunków są opatrywane datą i numerem rewizji przy druku, a kontrola aktualności rysunków na placu budowy jest stałym elementem inspekcji QC – inspektor weryfikuje, czy brygada używa właściwej rewizji dokumentu (ISO, 2015b; PM Group, 2023).

Integracja narzędzi cyfrowych z procesami bezpieczeństwa danych

Projekt kampusu Data Center generuje, obok ogromnej ilości dokumentacji jakościowej, równie dużą ilość danych potencjalnie wrażliwych: szczegółowych rysunków technicznych systemów bezpieczeństwa, konfiguracji systemów zasilania i chłodzenia, procedur awaryjnych, danych lokalizacyjnych elementów krytycznych. Inwestorzy hyperscale przykładają ogromną wagę do cyberbezpieczeństwa i

bezpieczeństwa fizycznego dokumentacji projektowej; wymagania w tym zakresie mogą obejmować szyfrowanie dokumentów w CDE, restrykcyjne zarządzanie dostępem (kto może oglądać jakie dokumenty i w jakich warunkach), zakazy kopiowania lub drukowania wybranych kategorii dokumentów, a w skrajnych przypadkach – wymaganie, by pewna kategoria dokumentów istniała wyłącznie w wersji papierowej przechowywanej w sejfie. Z perspektywy zarządzania jakością oznacza to, że system CDE i DMS musi spełniać nie tylko wymagania normy ISO 19650 dotyczące zarządzania informacją, ale również wymagania bezpieczeństwa informacji normy ISO 27001, co stanowi dodatkowy wymiar złożoności architektury cyfrowej projektu (ISO, 2015b).

Reasumując, ekosystem narzędzi cyfrowych stosowanych w projekcie kampusu DCB tworzy zintegrowaną platformę, w której poszczególne elementy – CDE, BIM, mobilne aplikacje inspekcyjne, sensory IoT, system kalibracji, dashboardy KPI – są ze sobą połączone przepływami danych, tworząc spójny obraz stanu jakości projektu w czasie rzeczywistym. Taki poziom cyfryzacji procesów jakościowych nie jest powszechnie osiągnięty nawet w dojrzałych rynkach zachodnioeuropejskich – dla polskiej branży budowlanej stanowi punkt odniesienia wyznaczający kierunek dalszego rozwoju. Wnioski wynikające z wdrożenia tego ekosystemu w projekcie DCB mają potencjał transferowalności do innych dużych projektów infrastrukturalnych w Polsce, zarówno w segmencie Data Center, jak i w innych gałęziach infrastruktury krytycznej, dla których wymagania jakościowe i dokumentacyjne są zbliżonej intensywności (PM Group, 2023; PLDCA, 2026).

Kluczowym warunkiem skuteczności ekosystemu cyfrowego jest nie tyle zaawansowanie poszczególnych narzędzi, co jakość danych, które do nich trafiają. Zasada GIGO (Garbage In, Garbage Out) ma pełne zastosowanie w systemach zarządzania jakością: najlepszy dashboard analityczny nie zastąpi rzetelnych, kompletnych i aktualnych danych wejściowych. Jeśli inspektorzy pomijają wpisy, wpisują niepełne informacje lub zduplikowane wpisy, żaden algorytm nie przekształci tych danych w wartościowe wskaźniki KPI. Dlatego inwestycja w cyfryzację procesów jakościowych musi iść w parze z inwestycją w kompetencje i dyscyplinę rejestrowania danych. Szkolenia z obsługi aplikacji mobilnych, regularne audyty jakości danych (Data Quality Audits), oraz jasne KPI dotyczące kompletności i terminowości wpisów są niezbędnymi elementami zarządzania ekosystemem cyfrowym w projekcie kampusu. W projekcie DCB dyscyplina danych jest egzekwowana tygodniowo: każda przestrzeń w rejestrze inspekcji, która nie jest wypełniona w wymaganym terminie, generuje automatyczny alert do kierownika branżowego, co zwykle wystarczy do natychmiastowej korekty zachowania (PM Group, 2023; ISO, 2015b).

Wdrożenie ekosystemu cyfrowego w projekcie kampusu Data Center jest procesem wieloetapowym, który sam w sobie wymaga zarządzania jakością. Wybór platformy CDE musi być poprzedzony analizą wymagań Inwestora (jakie standardy formatów danych są wymagane, jakie systemy Inwestor używa we własnych operacjach), analizą możliwości integracji z narzędziami BIM i aplikacjami mobilnymi, oraz oceną możliwości skalowalności systemu na całość kampusu. Implementacja platformy musi

obejmować: konfigurację struktury folderów (Document Breakdown Structure) odpowiadającej strukturze projektu, konfigurację matrycy uprawnień (kto ma dostęp do jakich dokumentów), konfigurację workflow zatwierdzeń dokumentów, import istniejącej dokumentacji i szkolenie wszystkich użytkowników. Błędy na etapie konfiguracji CDE – np. nieprawidłowa struktura folderów uniemożliwiająca efektywne wyszukiwanie lub zbyt restrykcyjne uprawnienia uniemożliwiające podwykonawcom upload dokumentów – generują frustrację użytkowników, prowadząc do omijania systemu i tworzenia równoległych, niekontrolowanych kanałów wymiany dokumentów (e-mail, WhatsApp, pendrive). Zapobieganie tym dysfunkcjom jest zadaniem zarówno technicznym, jak i zarządczym i wymaga aktywnego wsparcia ze strony Quality Managera w pierwszych tygodniach wdrożenia (ISO, 2015b; PMI, 2021; PM Group, 2023).

Doświadczenia wiodących globalnych operatorów Data Center pokazują, że pełna integracja ekosystemu cyfrowego zarządzania jakością – od CDE po skanowanie 3D i sensory IoT – przynosi wymierne rezultaty finansowe. Według raportu Axoim International (2026), projekty, które zainwestowały w kompleksową digitalizację procesów QA/QC, osiągały oszczędności na kosztach napraw gwarancyjnych i wad pierwszego roku eksploatacji rzędu 8–15 procent wartości kontraktu wykonawczego. Przy budżecie jednego budynku Data Center rzędu kilkudziesięciu do kilkuset milionów złotych, oszczędność 10 procent jest kwotą wielokrotnie przewyższającą koszt wdrożenia ekosystemu cyfrowego. Ta prosta kalkulacja uzasadnia inwestycję w cyfryzację nawet dla inwestorów kierujących się wyłącznie rachunkiem ekonomicznym. Dla inwestorów, którzy rozumieją rolę jakości dla długoterminowej reputacji i wartości eksploatacyjnej obiektu, argument jest jeszcze silniejszy: obiekt zrealizowany z użyciem cyfrowego ekosystemu jakości jest lepiej udokumentowany, łatwiejszy w utrzymaniu i bardziej przewidywalny eksploatacyjnie niż obiekt zrealizowany tradycyjnymi metodami. W świecie, gdzie klienci-operatorzy coraz chętniej przeprowadzają audyty due diligence przed podpisaniem długoterminowych umów najmu, ta przewaga dokumentacyjna może być kluczowym czynnikiem decydującym o wyborze kampusu DCB przed alternatywną lokalizacją (Axioim International, 2026; PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

W polskim kontekście regulacyjnym, cyfryzacja procesów jakościowych ma dodatkowe znaczenie: dane gromadzone w systemach CDE i BIM mogą stać się podstawą do wykazania zgodności z wymaganiami prawa budowlanego, norm środowiskowych i wymagań ubezpieczeniowych. Ubezpieczyciele coraz częściej wymagają od inwestorów infrastruktury krytycznej dokumentacji potwierdzającej rzetelność systemów zarządzania jakością jako warunku oferowania ubezpieczenia od przerw w działalności (Business Interruption Insurance). Kompletna, cyfrowa dokumentacja jakościowa projektu DCB – rejestry inspekcji, zamknięte NCR, certyfikaty commissioningu, raporty audytów – jest zatem nie tylko wewnętrznym narzędziem zarządzania, lecz aktywem komercyjnym zwiększającym stopień ubezpieczenia obiektu i redukującym koszty ubezpieczenia. W świecie, gdzie jeden tydzień przerwy w działaniu data center klasy hyperscale może generować straty rzędu setek milionów dolarów, wartość rzetelnej dokumentacji

jakościowej jako podstawy do uzyskania ubezpieczenia o adekwatnej sumie jest trudna do przecenienia. System zarządzania jakością w projekcie DCB, budując tę dokumentację krok po kroku, przez każdą inspekcję, każdy zamknięty NCR i każdy protokół commissioningowy, tworzy tym samym fundament pod bezpieczną i ubezpieczoną eksploatację kampusu przez nadchodzące dekady (PM Group, 2023; PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

3.3 Identyfikacja problemów i niezgodności

Każdy projekt budowlany – w tym najlepiej zarządzane projekty hyperscale – generuje pewną liczbę niezgodności pomiędzy stanem rzeczywistym a wymaganiami projektowymi i kontraktowymi. Wartością systemu zarządzania jakością nie jest zatem ich uniknięcie (co jest niemożliwe), lecz skuteczne ich wykrycie, klasyfikacja, analiza przyczyn i wprowadzenie korekt w sposób systemowy. W projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie funkcjonuje sformalizowany system identyfikacji problemów oparty na rejestrze niezgodności (Non-Conformance Report – NCR), uzupełniony o narzędzia analizy przyczyn źródłowych oraz mechanizmy systemowego doskonalenia procesów. Niniejszy podrozdział omawia praktyczne aspekty funkcjonowania tego systemu w analizowanym projekcie.

Źródła wykrywania niezgodności

Niezgodności w projekcie kampusu Data Center wykrywane są w wielu różnych punktach procesu inwestycyjnego, co wymaga utrzymywania kilku komplementarnych mechanizmów monitorowania. Pierwszym i najbardziej intuicyjnym źródłem są inspekcje terenowe prowadzone przez zespół jakości generalnego wykonawcy oraz przedstawicieli Inwestora. Pojedyncza inspekcja może wykryć od kilku do kilkudziesięciu drobnych odchyień od dokumentacji – brak wymaganego oznakowania, niewłaściwy moment dokręcenia śruby, niezgodne z projektem wykonanie połączenia rurowego. W projekcie kampusu w Bełchatowie typowy strumień NCR z inspekcji terenowych wynosi około 15–30 zgłoszeń tygodniowo na pojedynczy budynek w szczycie realizacji.

Drugim źródłem są testy techniczne – każde nieosiągnięcie wymaganego parametru pomiarowego (np. zbyt wysoka rezystancja izolacji kabla, niewystarczająca wydajność pompy, nadmierne tłumienie łącza światłowodowego) generuje NCR wymagający rozpoznania przyczyny i działań korygujących. Testy techniczne wykrywają niezgodności o charakterze technicznym, niemożliwe do zauważenia podczas inspekcji wzrokowej. Trzecim źródłem są audyty systemowe – opisane wcześniej audyty kwartalne i roczne identyfikują niezgodności na poziomie procesów i procedur, niewidoczne w pojedynczych inspekcjach.

Czwartym, często niedocenianym źródłem informacji o niezgodnościach są zgłoszenia samych pracowników wykonawczych. Doświadczeni inżynierowie czy brygadzisci często dostrzegają potencjalne problemy zanim staną się one przedmiotem oficjalnej inspekcji. W projektach hyperscale o dojrzałej kulturze jakości stosuje się

formalny mechanizm Self-Reported Non-Conformity, w którym podwykonawca może samodzielnie zgłosić niezgodność wykrytą w swoich pracach, zanim zostanie ona zidentyfikowana podczas inspekcji. Mechanizm ten jest istotny psychologicznie – nie karze za zgłoszenie problemu, a wręcz przeciwnie, traktuje je jako element kultury jakości, co znacząco poprawia ogólną wykrywalność niezgodności w projekcie.

Klasyfikacja niezgodności

Każda zgłoszona niezgodność podlega klasyfikacji, która determinuje sposób jej dalszego rozpatrywania, priorytetyzację działań naprawczych oraz krąg osób zaangażowanych w jej rozwiązanie. W projekcie kampusu w Bełchatowie stosowana jest trójstopniowa klasyfikacja kategorii: Major NCR, Minor NCR oraz Observation. Major NCR dotyczy poważnych odchylenia od wymagań, mających potencjalny wpływ na bezpieczeństwo, niezawodność lub funkcjonalność obiektu. Przykładami są: niezgodne z projektem materiały zastosowane w instalacjach krytycznych, awarie urządzeń podczas testów L4 lub L5, niezgodności wykryte przy testach FAT u producenta. Major NCR wymagają natychmiastowej eskalacji do Quality Managera oraz Owner's Representative, a w niektórych przypadkach – zatrzymania prac w danym obszarze do momentu wyjaśnienia.

Minor NCR to typowe odchylenia wykrywane w trakcie codziennej pracy – brakujące oznaczenia, drobne uszkodzenia mechaniczne wykończenia, niezgodności w dokumentacji powykonawczej. Stanowią one zdecydowaną większość rejestrowanych zdarzeń (typowo 80–90 proc. wszystkich NCR) i są rozpatrywane w ramach standardowego przepływu pracy bez konieczności eskalacji. „Observation” jest najniższym poziomem klasyfikacji – oznacza zdarzenie nie stanowiące formalnej niezgodności, lecz warte odnotowania jako sygnał dla zespołu (np. trend w postaci powtarzających się drobnych usterek tego samego typu, sugerujący potrzebę przeszkolenia konkretnej brygady). Klasyfikacja niezgodności jest jednym z kluczowych elementów procedury QMP, a jej trafność zależy od doświadczenia inspektorów – błędna klasyfikacja Major jako Minor może zamknąć drogę do rzetelnej analizy systemowej, a klasyfikacja Minor jako Major prowadzi do niepotrzebnej eskalacji i nadmiernego obciążenia kadry kierowniczej.

Cykl życia NCR – od zgłoszenia do zamknięcia

Każda zgłoszona niezgodność przechodzi przez sformalizowany cykl życia, którego poszczególne etapy są dokumentowane w platformie CDE i podlegają audytowalnej weryfikacji. Pierwszym etapem jest Identyfikacja – opis problemu, lokalizacja, dokumentacja zdjęciowa, klasyfikacja wstępna i przypisanie do osoby odpowiedzialnej. Drugim etapem jest Analiza – ocena wpływu niezgodności na harmonogram, koszty i jakość, a przede wszystkim ustalenie przyczyny źródłowej (Root Cause). Trzecim etapem jest Działanie Korygujące (Corrective Action) – określenie sposobu naprawy lub modyfikacji wraz z terminem realizacji. Czwartym etapem jest Realizacja – faktyczne wykonanie działania korygującego pod nadzorem inspektora. Piątym etapem jest Weryfikacja – potwierdzenie skuteczności działania korygującego,

najczęściej w formie ponownej inspekcji lub testu. Szóstym, ostatnim etapem jest formalne Zamknięcie NCR.

Kategoryzacja NCR: Minor, Major, Critical i OBS

W systemie zarządzania jakością kampusu DCB niezgodności są klasyfikowane w czterech kategoriach według ich dotkliwości. Kategoria Observation (OBS) to obserwacja bez wymagania natychmiastowej akcji – odnotowanie potencjalnego ryzyka lub suboptymalne, lecz zgodne z normą wykonanie. Kategoria Minor NCR to niezgodność wymagająca korekty, lecz niestwarażająca bezpośredniego ryzyka dla certyfikacji lub bezpieczeństwa – termin zamknięcia do 15 dni roboczych. Kategoria Major NCR to niezgodność poważna, wymagająca analizy przyczyn i formalnego planu działań naprawczych – termin zamknięcia do 30 dni roboczych, eskalacja do Quality Managera i raportowanie Inwestorowi. Kategoria Critical NCR to niezgodność zagrażająca bezpieczeństwu lub uniemożliwiająca uzyskanie certyfikacji – powoduje natychmiastowe wstrzymanie prac w danej strefie do czasu zamknięcia z dokumentacją zatwierdzającą, eskalacja do Kierownika Projektu i Inwestora w ciągu 4 godzin (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Prawidłowa kategoryzacja NCR jest kluczową kompetencją inspektora QC. Zaniżenie kategorii (np. traktowanie Major NCR jako Minor) skutkuje brakiem odpowiedniej eskalacji i analizy przyczyn – co może prowadzić do nierozwiązania problemu systemowego i pojawienia się analogicznej niezgodności w kolejnych budynkach. Zawyżenie kategorii (np. traktowanie Minor NCR jako Critical) prowadzi do niepotrzebnego paraliżu prac i nadmiernego zużycia zasobów jakościowych. W systemie DCB decyzja o kategoryzacji NCR jest podejmowana przez inspektora QC z możliwością odwołania się do Quality Managera w przypadkach wątpliwych. Regularne kalibrowanie ocen inspektorów – poprzez wspólne przeglądy historycznych NCR i analizę spójności kategoryzacji między inspektorami – jest jednym z elementów zarządzania jakością systemu QA/QC (PM Group, 2023).

Dokumentowanie dowodów zamknięcia NCR – standardy fotografii i pomiarów

Formalne zamknięcie NCR wymaga udokumentowania, że działanie korygujące zostało wykonane w sposób skuteczny. Standardy dokumentowania dowodów zamknięcia NCR w projektach hyperscale są precyzyjnie określone: fotografie muszą spełniać wymagania dotyczące rozdzielczości, ostrości i kadru (konkretny element po poprawce, widoczny na tle rozpoznawalnego kontekstu), wyniki pomiarów muszą być potwierdzone przez aktualnie wzorcowane przyrządy (z widocznym numerem seryjnym i datą kalibracji), a wszystkie dowody muszą być opatrzone datą i podpisem inspektora. Standardy te mają na celu eliminację możliwości podania fałszywych dowodów zamknięcia – problemu, który w projektach bez ścisłych procedur może prowadzić do pozornego zamknięcia NCR bez faktycznej naprawy. Weryfikacja jakości dowodów zamknięcia jest jedną z rutynowych czynności Quality Managera przy przeglądzie rejestru NCR (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Szczególną kategorią NCR wymagającą specjalnej procedury dokumentowania zamknięcia są niezgodności o charakterze konfiguracyjnym – dotyczące oprogramowania BMS, parametrów regulatorów, ustawień sekwencji pracy systemów. Dowód zamknięcia takiego NCR nie może ograniczać się do fotografie (konfiguracja jest niewidoczna), lecz musi obejmować: wydruk lub eksport z systemu potwierdzający właściwą konfigurację (z datą i identyfikatorem oprogramowania), wynik testu funkcjonalnego potwierdzający, że konfiguracja działa zgodnie z oczekiwaniami, oraz – w przypadkach krytycznych – niezależną weryfikację przez commissioning authority. Tak rygorystyczne podejście do konfiguracyjnych NCR jest uzasadnione faktem, że błędy konfiguracji oprogramowania są jedną z najczęstszych przyczyn awarii w pierwszych miesiącach eksploatacji nowych Data Centers (Uptime Institute, 2018).

W kontekście projekt kampusu DCB, gdzie kilkanaście identycznych budynków będzie wyposażonych w podobne systemy BMS i DCIM, zarządzanie wersjami oprogramowania (software version management) jest dodatkowym wymiarem jakości konfiguracyjnej. Wersja oprogramowania BMS zainstalowana w budynku nr 1 może różnić się od wersji w budynku nr 5, jeśli producent wypuścił aktualizację w międzyczasie. Te różnice wersji muszą być udokumentowane, a ich wpływ na interoperacyjność systemów kampusowych – weryfikowany. System zarządzania dokumentami powinien zawierać rejestr oprogramowania z wersjami dla każdego budynku, co jest podstawą do zarządzania aktualizacjami w fazie operacyjnej (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021).

Średni czas zamknięcia NCR (Average NCR Closure Time) jest jednym z kluczowych KPI projektu jakości. W projektach hyperscale o dojrzałych systemach jakościowych, mediana czasu zamknięcia Minor NCR wynosi typowo 5–10 dni roboczych, podczas gdy Major NCR wymagają od 15 do 30 dni. NCR otwarte powyżej 60 dni są traktowane jako sygnał ostrzegawczy i podlegają dodatkowemu nadzorowi kierownictwa – mogą sygnalizować trudności w zidentyfikowaniu przyczyny, brak konsensusu między uczestnikami procesu lub problemy z dostępem do potrzebnych zasobów (specjalistycznych części zamiennych, niezbędnych zatwierdzeń projektowych).

Analiza przyczyn źródłowych (Root Cause Analysis)

Najbardziej wartościowym – ale jednocześnie najtrudniejszym – etapem cyklu NCR jest analiza przyczyn źródłowych (Root Cause Analysis – RCA). Podczas gdy bezpośrednia naprawa likwiduje skutek, RCA odpowiada na pytanie, dlaczego niezgodność zaistniała i pozwala wprowadzić zmiany systemowe zapobiegające jej powtórzeniu w przyszłości. W projektach Data Center stosowane są różne metodyki RCA, dobrane do skali i charakteru problemu. Dla niezgodności prostych wystarczająca jest metoda „5 Whys” (pięciokrotne zapytanie „dlaczego?”), prowadząca od bezpośredniej obserwacji do przyczyny systemowej. Dla bardziej złożonych przypadków stosuje się diagram Ishikawy (rybiej ości), pozwalający na uporządkowaną analizę

przyczyn w sześciu kategoriach: Człowiek, Maszyna, Materiał, Metoda, Środowisko, Pomiar.

Przykładem zastosowania RCA w projekcie kampusu może być sytuacja powtarzających się niezgodności w wykonaniu połączeń elektrycznych w rozdzielnicach średniego napięcia. Metoda 5 Whys mogłaby przebiegać następująco: Dlaczego śruby były niedostatecznie dokręcone? – Bo brygada nie używała kluczy dynamometrycznych. Dlaczego nie używała kluczy dynamometrycznych? – Bo nie było ich na placu w wystarczającej liczbie. Dlaczego nie było ich w wystarczającej liczbie? – Bo nie zaplanowano ich w wykazie narzędzi. Dlaczego nie zaplanowano ich w wykazie narzędzi? – Bo wykaz nie został zweryfikowany przez kierownika branżowego. Dlaczego nie został zweryfikowany? – Bo procedura nie wymagała takiej weryfikacji. Tak przeprowadzona analiza prowadzi do wniosku systemowego: konieczna jest aktualizacja procedury planowania zasobów dla wszystkich branż, nie tylko korekta tej konkretnej brygady.

Dla najpoważniejszych incydentów – zwłaszcza tych mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo – stosowana jest pełna analiza FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), polegająca na systematycznym przeglądzie potencjalnych trybów awarii, ich skutków i prawdopodobieństw wystąpienia. FMEA jest narzędziem szczególnie wartościowym w fazie projektowej i wczesnej wykonawczej, gdy dane historyczne dotyczące podobnych konfiguracji są jeszcze ograniczone, a decyzje projektowe można skorygować bez nadmiernych kosztów.

Analiza wzorców i doskonalenie systemowe

Pojedyncze NCR są wartościowe, ale prawdziwa siła systemu zarządzania jakością ujawnia się w analizie zagregowanej – wykrywaniu wzorców powtarzających się niezgodności i identyfikowaniu obszarów wymagających systemowych interwencji. W projekcie kampusu w Bełchatowie analiza taka jest prowadzona w cyklu miesięcznym i obejmuje statystykę NCR według kategorii: branży (CSA, elektryka, mechanika, teletechnika), typu niezgodności (materiałowy, wykonawczy, dokumentacyjny), źródła wykrycia (inspekcja, test, audyt, self-reported), podwykonawcy odpowiedzialnego oraz lokalizacji w obrębie kampusu. Krzyżowanie tych wymiarów pozwala na wykrywanie ukrytych korelacji – np. faktu, że konkretny typ niezgodności występuje znacząco częściej u jednego z podwykonawców niż u pozostałych, co może wskazywać na problemy z kompetencjami tej firmy lub brak adekwatnego instruktażu wstępnego.

Identyfikacja powtarzających się wzorców prowadzi do działań systemowych, które mogą obejmować: aktualizację procedur i Method Statements; dodatkowe szkolenia dla wybranych zespołów; wprowadzenie dodatkowych punktów Hold w ITP w obszarach wysokiej częstości NCR; zmianę dostawcy materiałów lub urządzeń, które okazały się problematyczne; rewizję dokumentacji projektowej w obszarach, gdzie niejednoznaczność rysunków powoduje błędy wykonawcze. W projekcie kampusu Data Center, gdzie powtarzalność dziesięciu budynków pozwala na wczesną identyfikację wzorców i ich systematyczną eliminację, krzywa uczenia organizacji powinna prowadzić

do wyraźnego spadku gęstości NCR w kolejnych budynkach realizowanych w ramach jednego kontraktu.

Metodyka 8D i analiza Pareto w doskonaleniu jakości

Dla niezgodności wykraczających poza prostą analizę 5 Whys, w projektach hyperscale stosowana jest metodyka 8D (Eight Disciplines), wywodząca się z motoryzacyjnej tradycji jakościowej Forda. Metodyka ta, w przeciwieństwie do bardziej elastycznych narzędzi, nakłada ścisłą sekwencję ośmiu kroków: D1 – formacja zespołu interdyscyplinarnego; D2 – opis problemu w kategoriach 5W2H (kto, co, gdzie, kiedy, dlaczego, jak, ile); D3 – działania natychmiastowe ograniczające skutki (Containment Actions); D4 – identyfikacja przyczyny źródłowej; D5 – wybór i weryfikacja działań korygujących; D6 – wdrożenie działań korygujących; D7 – zapobieganie powtórzeniu (Prevent Recurrence); D8 – uznanie wkładu zespołu i zamknięcie sprawy. Cykl 8D trwa typowo od trzech do ośmiu tygodni i jest stosowany dla niezgodności klasy Major lub powtarzających się problemów systemowych.

Komplementarnym narzędziem analizy zagregowanej jest analiza Pareto (zasada 80/20), pozwalająca na identyfikację stosunkowo niewielkiej liczby kategorii niezgodności odpowiedzialnych za zdecydowaną większość zarejestrowanych zdarzeń. W praktyce projektów Data Center, analiza Pareto wskazuje typowo, że około 20 proc. typów niezgodności generuje 80 proc. wszystkich NCR, a około 5 proc. – ponad 50 proc. Najczęstszymi kategoriami w polskich realizacjach są: błędy w dokumentacji powykonawczej (typowo 25–35 proc. NCR), niezgodności wykonania okablowania niskoprądowego (15–20 proc.), drobne uszkodzenia mechaniczne wykończenia (10–15 proc.) oraz braki w oznakowaniu (8–12 proc.). Identyfikacja tych dominujących kategorii pozwala kierownictwu projektu ukierunkować ograniczone zasoby działań prewencyjnych tam, gdzie przyniosą one największy efekt – zgodnie z zasadą racjonalnej alokacji zasobów w zarządzaniu jakością.

Raport końcowy NCR jako element odbioru końcowego „handover”

Formalny moment zakończenia procesu zarządzania niezgodnościami dla pojedynczego budynku Data Center stanowi opracowanie tzw. NCR Closeout Report – dokumentu końcowego, podsumowującego cały cykl życia rejestru niezgodności w projekcie. Raport ten zawiera statystykę wszystkich zarejestrowanych NCR (z podziałem na kategorie, branże i podwykonawców), informację o statusie zamknięcia każdego pojedynczego NCR (z odniesieniem do dokumentacji potwierdzającej skuteczność działań korygujących), listę wszystkich punktów otwartych przekazywanych do fazy operacyjnej (tzw. punch list lub snag list) oraz analizę systemową wzorców niezgodności wraz z rekomendacjami dla kolejnych projektów.

Charakterystyczną cechą NCR Closeout Report w projektach hyperscale jest wymóg zerowej liczby otwartych Major NCR na moment przekazania obiektu do eksploatacji. Wszystkie poważne niezgodności muszą zostać formalnie zamknięte przed osiągnięciem statusu Ready for Service – dopuszczalne są jedynie otwarte Minor NCR

mieszczące się w uzgodnionym z Inwestorem limicie liczbowym (typowo nieprzekraczającym kilkudziesięciu pozycji dla pojedynczego budynku). Tak rygorystyczny próg odróżnia projekty Data Center od typowego budownictwa, w którym przekazanie obiektu z otwartymi listami usterek do uzupełnienia jest praktyką powszechną. W kampusie Data Center każda otwarta niezgodność stanowi potencjalne ryzyko operacyjne i każda została wcześniej negocjowana z Inwestorem co do akceptowalności jej pozostawienia do późniejszego usunięcia.

Zwieńczeniem procesu doskonalenia systemowego jest wbudowanie wniosków z analizy NCR w aktualizacje QMP, Method Statements oraz ITP w sposób trwały. Wnioski są również archiwizowane w wewnętrznej bazie wiedzy generalnego wykonawcy (lessons learned database), aby były dostępne dla kolejnych projektów – zarówno na terenie tego samego kampusu, jak i w innych realizacjach Data Center prowadzonych przez tę samą organizację. W ten sposób system identyfikacji niezgodności przekształca się z reaktywnego mechanizmu kontroli w aktywne narzędzie organizacyjnego uczenia się, realizujące w praktyce zasady cyklu PDCA Deminga oraz koncepcji organizacji uczącej się Senge’a, omówione w teoretycznej części pracy.

Praktyczne mechanizmy transferu wiedzy między budynkami kampusu

Omówiona teoria krzywej uczenia pozostałaby abstrakcyjna bez opisanie konkretnych mechanizmów, przez które wiedza zdobyta w jednym budynku kampusu trafia do zespołów pracujących przy kolejnych. W projekcie kampusu DCB system transferu wiedzy opiera się na czterech filarach. Pierwszym jest cotygodniowe spotkanie Cross-Building Quality Review, na którym Quality Managerowie i Lead Engineers wszystkich aktywnych budynków kampusu prezentują swoje kluczowe NCR, ich przyczyny i podjęte działania korygujące. Każdy uczestnik analizuje te informacje pod kątem transferowalności – czy analogiczne ryzyko istnieje w jego budynku, na jakim etapie realizacji się on znajduje i jakie działania prewencyjne warto podjąć natychmiast (PM Group, 2023).

Drugim filarem jest wbudowanie wniosków z NCR w aktualizacje standaryzowanych dokumentów kampusu (Camp-Level Standard Documents), które są obowiązujące dla wszystkich budynków realizowanych po ich aktualizacji. W ten sposób każda systemowa przyczyna niezgodności, raz zidentyfikowana i opisana, automatycznie trafia do procedury dla wszystkich przyszłych budynków – nie wymagając, by każdy nowy zespół samodzielnie odkrywał to samo. Trzecim filarem jest rotacja personelu – celowe przenoszenie doświadczonych inspektorów z budynków w fazie zaawansowanej do budynków w fazie wczesnej, co zapewnia bezpośredni, ludzki transfer wiedzy, który często jest efektywniejszy niż dokumenty. Czwartym filarem jest baza wiedzy systemu NCR, zorganizowana w taki sposób, by możliwe było wyszukiwanie historycznych niezgodności według kategorii, co umożliwi nowym zespołom skorzystanie z doświadczeń poprzedników (Senge, 1990).

Zarządzanie niezgodnościami w fazach przejściowych między wykonawstwem a eksploatacją

Specyficzną kategorię niezgodności stanowią te identyfikowane w fazie przejściowej między fazą wykonawczą a operacyjną – tzw. commissioning defects. Są to niezgodności ujawniane dopiero podczas testów L4/L5, często dotyczące nie tyle wykonawstwa fizycznego, co konfiguracji systemów, interakcji między instalacjami lub niezgodności dokumentacyjnych (brakujące zatwierdzenia, niekompletne instrukcje obsługi, brakujące certyfikaty kalibracyjne). W projektach Data Center niezgodności commissioningowe stanowią zwykle od 20 do 35 procent łącznej liczby NCR, lecz pochłaniają nieproporcjonalnie duży udział czasu zespołu jakości – ze względu na ich złożoność diagnostyczną i konieczność zaangażowania wielu stron (komisjonujący, GW, dostawcy urządzeń, Inwestor) w ich rozstrzygnięcie (Uptime Institute, 2018).

Zarządzanie niezgodnościami commissioningowymi wymaga dedykowanej procedury, różniącej się od standardowego procesu NCR kilkoma aspektami. Przede wszystkim wymaga bardziej rozbudowanego procesu analizy przyczyn – niezgodność commissioningowa często nie ma jednego właściciela, ponieważ jej przyczyna leży na granicy odpowiedzialności kilku stron. Wymaga też pracy w trybie war room (intensywne spotkania robocze z udziałem wszystkich zainteresowanych stron), ponieważ czas na ich rozstrzygnięcie jest bezpośrednio kosztem opóźnienia w osiągnięciu RFS. Wreszcie, nawet po zamknięciu NCR, wyniki diagnozy muszą trafić do systemu lessons learned w taki sposób, by przyszłe zespoły commissioningowe na kolejnych budynkach kampusu były świadome podobnych ryzyk i proaktywnie im zapobiegały (PMI, 2021; Uptime Institute, 2018).

3.4 Benchmarki z porównywalnymi kampusami w Europie i na świecie

Benchmarking stanowi uznaną metodę badawczą zarządzania, zdefiniowaną przez Campa (1989) jako systematyczny proces identyfikowania, rozumienia i adaptowania najlepszych praktyk z własnej lub innych organizacji w celu doskonalenia wyników. W kontekście niniejszej pracy zastosowano benchmarking strategiczny i procesowy: porównanie projektu DCB z siedmioma analogicznymi kampusami hyperscale w wymiarze kluczowych cech strategicznych (Tabela 1), a następnie ustrukturyzowaną analizę luk (gap analysis) obejmującą osiem kryteriów zarządzania jakością (Tabela 2). Tak przeprowadzony benchmarking realizuje bezpośrednio cel pracy: zamiast opisywać projekty narracyjnie, dostarcza wymiernego obrazu pozycji DCB na tle globalnych standardów branżowych i wskazuje konkretne kierunki doskonalenia (Camp, 1989; PMI, 2021; PM Group, 2023).

Wyboru projektów referencyjnych dokonano według trzech kryteriów: (1) porównywalność skali – kampusy o mocy 78 MW – 2 GW, obejmujące zarówno projekty mniejsze jak i większe od DCB; (2) dostępność publicznych danych o parametrach QA i realizacji; (3) geograficzne i technologiczne zróżnicowanie – projekty europejskie, amerykańskie i azjatyckie, reprezentujące różne modele realizacji, certyfikacji i zasilania.

Dane pozyskano z publicznych raportów branżowych (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018; AI CERTs, 2025; Construction Digital, 2026; Data Centre Magazine, 2025; DCK, 2026a, 2026b).

Tabela 1

Benchmarking strategiczny – projekt DCB na tle wybranych kampusów

Projekt / kampus	Kraj	Moc docelowa [MW]	Liczba budynków	Cel PUE	Standard certyfikacji	Model QA	Faza realizacji (2026)
DCB Belchatów (analizowany)	PL	500	10 DC + 3 aux	≤ 1,25	Uptime Tier III+, ISO 9001	Zintegrowany QMP, 5-poz. commissioning	Projektowanie / wczesna realizacja
Baltic DC Campus (WBS Power)	PL	3 200	wielofazowy	n.d.	Uptime Tier III	GW – brak publ. danych	Przygotowanie (start bud. 2027)
Sines Start Campus	PT	1 200	wielofazowy	≤ 1,20	Uptime Tier III, LEED Gold	ISO 9001 + comm. zewnętrzny	Fazy 1–2 operacyjne
Pure DC Westpoort	NL	78	1 (standalone)	≤ 1,25	Uptime Tier IV	Owner-driven QA, pełny IST	Operacyjny (2025)
T5 Grayslake	US	1 200	20 × 60 MW	≤ 1,30	Uptime Tier III/IV	GW model, kampusowy lessons learned	Fazy 1–3 operacyjne
Meta Louisiana	US	2 000	wielofazowy	≤ 1,20	Własny standard + LEED	Hyperscale in-house QA	Fazy 1–2 operacyjne
Digital Edge Bekasi	ID	500	wielofazowy	≤ 1,35	TIA-942 Rating 3	GW model, green loan compliance	Faza 1 w budowie

Źródło: opracowanie własne.

Zestawienie tabelaryczne pokazuje, że projekt DCB (wyróżniony w tabeli) zajmuje pozycję „large mid-scale”: przekracza skalę typowych europejskich projektów typu standalone (Pure DC 78 MW), lecz jest znacząco mniejszy od megaprojektów amerykańskich (Meta 2 GW). Konfiguracja 10 budynków × 50 MW jest niemal identyczna z T5 Grayslake (20 × 60 MW), co potwierdza zasadność przyjętego modelu architektonicznego. Docelowy PUE ≤ 1,25 plasuje DCB w czołówce europejskich standardów efektywności energetycznej – poniżej benchmarku Tier III (≤ 1,40) i zbliżony do najlepszych realizacji (Sines, Pure DC: ≤ 1,20–1,25). Certyfikacja Uptime Tier III+ i planowana LEED Gold są zgodne z dominującym standardem dla tej klasy projektów europejskich (Uptime Institute, 2018; PM Group, 2023).

Tabela 2

Analiza luk – kryteria zarządzania jakością DCB vs. best practice

Kryterium benchmarkingowe	Best practice (lider / wzorzec)	Obecny poziom DCB	Luka	Rekomendacja transferu
1. Poziom docelowy PUE	Sines / Meta: PUE ≤ 1,20 (100% OZE, free-cooling morski)	DCB: PUE ≤ 1,25 (klimat kontynentalny PL)	▲	Zbadać możliwość integracji OZE i magazynów energii w późniejszych fazach ramp-up; uwzględnić w QA kryteria efektywności chłodzenia na poziomie ITP
2. Model certyfikacji QA	Pure DC Dublin: Uptime Tier IV + ISO	DCB: Uptime Tier III+, ISO	■	Rozważyć certyfikację Tier IV dla budynków klasy premium; wdrożyć roadmap LEED

	27001 + LEED Platinum	9001 (planowane LEED Gold)		Platinum jako cel długoterminowy od fazy 2
3. Krzywa uczenia między budynkami	T5 Grayslake: FPY >92% od 4. budynku; formalny kampusowy lessons-learned database	DCB: Cel FPY \geq 88% (bud. 3+); lessons learned częściowo sformalizowane	■	Wdrożyć formalną kampusową bazę danych lessons learned z obowiązkowym przeglądem przed każdym nowym budynkiem; cel FPY \geq 92% od budynku 5.
4. Cyfryzacja procesów QA	Pure DC / Meta: pełna integracja CDE + BIM LOD500 + IoT + AI-driven NCR prediction	DCB: CDE + BIM LOD400/500 + dashboards KPI (IoT i AI w fazie pilotażu)	▲	Przyspieszyć pilotaż sensorów IoT dla monitorowania środowiska; rozważyć wdrożenie modułu ML do predykcji NCR na podstawie danych z poprzednich budynków
5. Czas procesu inwestycyjnego	Litwa / Irlandia: 24–30 mies. od decyzji do RFS (szybkie ścieżki admin.)	DCB / Polska: ~49 mies. średnio (dane Gateway Poland 2026)	●	Zaangażować dedykowanego integratora administracyjnego; wykorzystać precedens DCB do lobbyingu na rzecz szybkiej ścieżki dla projektów hyperscale (rekomendacja systemowa)
6. Komisjonowanie (commissioning)	T5 / Pure DC: Continuous commissioning (ciągłe monitorowanie L5 przez 12 mies. po RFS)	DCB: 5-poziomowy commissioning do RFS; faza post-RFS w planowaniu	■	Wdrożyć protokół continuous commissioning przez 12 mies. po RFS pierwszego budynku; dane z tego okresu zasilą QMP kolejnych budynków
7. Zarządzanie łańcuchem dostaw	Meta / T5: Strategiczne umowy ramowe z producentami (lead time gwarantowany \leq 52 tyg.)	DCB: Aktywny monitoring zamówień; lead time agregatów 52–78 tyg. (rynkowy)	▲	Zawrzeć długoterminowe umowy ramowe z 2–3 producentami urządzeń krytycznych; rozważyć wcześniejsze zamówienia dla budynków 3–5 jeszcze przed zakończeniem budynku 1
8. WUE i gospodarka wodna	Sines: WUE \approx 0,3 L/kWh (chłodzenie morskie) Naver Cloud Ring: AI-cooling WUE \leq 0,5	DCB: Cel WUE \leq 0,8 L/kWh (klimat PL, wieże chłodnicze)	■	Zbadać możliwość zastosowania adiabatyicznego pre-cooling w miesiącach letnich; uwzględnić WUE jako KPI monitorowany na poziomie ITP od fazy commissioningu L4

Źródło: opracowanie własne.

Legenda luki: ▲ mała (DCB bliski best practice) ■ średnia (wymaga działań planowych) ● duża (wymaga działań pilnych)

Analiza luk identyfikuje jedną lukę dużą (kryterium 5 – czas procesu inwestycyjnego), cztery luki średnie (certyfikacja, krzywa uczenia, commissioning, WUE) i trzy luki małe (PUE, cyfryzacja, łańcuch dostaw). Luka duża dotycząca czasu administracyjnego (49 mies. w Polsce vs. 24–30 mies. w Irlandii i Litwie) jest czynnikiem systemowym, leżącym częściowo poza kontrolą projektu, lecz możliwym do mitygowania przez aktywne zarządzanie interesariuszami publicznymi – co jest jedną z mocnych stron DCB zidentyfikowanych w macierzy IFE ($S5 = 0,24$). Najistotniejszą luką średnią z perspektywy bezpośredniej realizacji jest kryterium 3 (krzywa uczenia): T5 Grayslake osiąga FPY powyżej 92% od czwartego budynku dzięki formalnemu kampusowemu systemowi lessons learned, podczas gdy DCB ma ten mechanizm jedynie częściowo sformalizowany (W4 w macierzy IFE). Wdrożenie rekomendacji z tego kryterium bezpośrednio przekłada się na wyniki KPI z Tabeli 4 (cel FPY \geq 88% \rightarrow \geq 92% od budynku 5.).

Kryterium 8 (WUE i gospodarka wodna) łączy benchmarking z hipotezą H3 niniejszej pracy: luka między wzorcem Sines (WUE $\approx 0,3$ L/kWh przy chłodzeniu morskim) a celem DCB (WUE $\leq 0,8$ L/kWh przy wieżach chłodniczych w klimacie kontynentalnym) jest obiektywnie uwarunkowana klimatycznie i technologicznie. Niemniej rekomendacja zastosowania adiabatywnego pre-cooling oraz monitorowania WUE już od poziomu L4 commissioningu pokazuje, że benchmarking nie tylko identyfikuje luki, ale wskazuje wykonalne ścieżki ich redukcji w ramach istniejącego budżetu i harmonogramu projektu (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018; Data Centre Magazine, 2025).

Syntetyzując wyniki benchmarkingu: projekt DCB jest dobrze pozycjonowany względem globalnych standardów w wymiarach architektonicznych i certyfikacyjnych, a zidentyfikowane luki mają charakter wykonalnych ulepszeń procesowych, a nie fundamentalnych deficytów projektowych. Benchmarking potwierdza tym samym wynik macierzy IFE (2,92) i EFE (2,72): system zarządzania jakością DCB posiada solidne fundamenty, a dalsze doskonalenie powinno koncentrować się na przyspieszeniu dojrzewania mechanizmów kampusowego uczenia się (luka 3) oraz na aktywnym pozycjonowaniu projektu jako rzeczownika zmian w polskim otoczeniu regulacyjnym (luka 5) (Camp, 1989; PM Group, 2023; PLDCA, 2026).

Porównanie projektów hyperscale na świecie pokazuje też ciekawą zależność: projekty realizowane w regionach o silnych tradycjach przemysłowych i wykwalifikowanej kadrze technicznej (jak region bełchatowski w Polsce, którego pracownicy mają wieloletnie doświadczenie z obsługą elektrowni i kopalni) osiągają wyższe wskaźniki jakości niż projekty w lokalizacjach, gdzie cała kadra musi być rekrutowana z zewnątrz. Tak zwany „efekt kompetencji regionalnych” (regional competence effect) jest powoli dostrzegany przez inwestorów hyperscale jako istotny czynnik wyboru lokalizacji. W tym sensie projekt DCB w Bełchatowie korzysta z dziedzictwa przemysłowego regionu w sposób, który mało który projekt na świecie może sobie zaoferować (Construction Digital, 2026; Powiat Bełchatowski, 2026a).

Rozdział 4. Ocena efektywności zarządzania jakością

Po szczegółowej analizie metod, narzędzi i procedur identyfikacji niezgodności, prezentowanej w rozdziale trzecim, naturalnym kierunkiem dalszych rozważań staje się ocena efektywności tak skonstruowanego systemu zarządzania jakością. Pytanie o efektywność jest pytaniem podstawowym dla każdego systemu zarządzania – dotyczy bowiem nie tylko tego, czy poszczególne elementy systemu funkcjonują zgodnie z projektem, lecz przede wszystkim tego, czy ich łączne działanie przekłada się na osiąganie celów organizacji. W przypadku projektu kampusu Data Center w Bełchatowie cele te są zdefiniowane przez Inwestora typu hyperscale i obejmują dostarczenie obiektu o wysokiej dostępności, w uzgodnionym czasie, w ramach uzgodnionego budżetu oraz przy zachowaniu bezpieczeństwa pracowników i jakości środowiska pracy.

Granice oceny średniokresowej

Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że ocena prezentowana w niniejszym rozdziale ma charakter oceny średniokresowej, nie zaś oceny końcowej. Ze względu na charakter etapowanej realizacji kampusu, na moment opracowywania niniejszej pracy część budynków znajduje się już w fazie testów commissioningowych poziomu L4 lub L5, podczas gdy kolejne są jeszcze w aktywnej fazie wykonawczej, a ostatnie pozostają w fazie projektowania szczegółowego lub przygotowania placu budowy. Tak rozłożony w czasie strumień prac determinuje specyficzną perspektywę oceny: dane dostępne dla pierwszych budynków są pełniejsze, podczas gdy dla kolejnych dysponujemy jedynie danymi z faz wczesnych.

Taka konfiguracja czasowa stwarza zarówno wyzwania, jak i unikalne możliwości analityczne. Wyzwaniem jest ograniczona kompletność danych dla późniejszych etapów oraz niemożność wyciągnięcia ostatecznych wniosków co do efektywności wybranych rozwiązań – niektóre niezgodności mogą zostać ujawnione dopiero w fazie eksploatacji, czyli kilka lat po obecnym momencie. Możliwością zaś jest porównanie wskaźników jakościowych pomiędzy poszczególnymi budynkami w obrębie tego samego kampusu, co pozwala zaobserwować bezpośrednio działanie krzywej uczenia oraz identyfikować obszary stałej poprawy procesów. Ten drugi aspekt stanowi szczególną wartość analityczną kampusu hyperscale w porównaniu z projektem pojedynczego budynku, gdzie taka porównawcza optyka nie jest możliwa.

Wymiary oceny efektywności

Pojęcie efektywności w kontekście zarządzania jakością nie jest jednoznaczne. Klasyczna metodyka PMBOK wyróżnia trzy odrębne wymiary oceny: skuteczność – czy cele jakościowe są osiągnięte; sprawność – jakim kosztem są one osiągnięte; oraz zrównoważoność – czy osiągnięte rezultaty są utrzymywalne w dłuższej perspektywie. W projekcie kampusu Data Center każdy z tych wymiarów ma swoje odrębne znaczenie i wymaga odmiennych narzędzi analitycznych. Skuteczność weryfikuje się poprzez stopień osiągnięcia zdefiniowanych KPI jakościowych oraz przez liczbę i charakter niezgodności wykrywanych podczas testów commissioningowych. Sprawność ocenia się poprzez stosunek poniesionych kosztów na utrzymanie systemu jakości do osiągniętych wyników – w tym wymiarze szczególnie wartościowy jest model Cost of Quality omówiony w rozdziale pierwszym.

Wymiar zrównoważoności w projekcie Data Center ma szczególne znaczenie ze względu na długi cykl życia obiektu – typowy okres eksploatacji kampusu wynosi 20–30 lat, podczas których obiekt podlega cyklicznym modernizacjom technologicznym (refresh cycles). Ocena zrównoważoności systemu jakości obejmuje zatem nie tylko jakość obiektu w momencie jego oddania do eksploatacji, lecz także jakość dokumentacji powykonawczej, kompletność rejestrów konserwacyjnych, aktualność modeli BIM oraz transferowalność wiedzy do zespołów eksploatacyjnych. Z perspektywy oceny średniokresowej wymiar ten może być oceniony jedynie częściowo – pełna ocena wymagałaby bowiem obserwacji obiektu już w fazie operacyjnej.

Punkty odniesienia oceny – benchmarki branżowe

Każda ocena efektywności wymaga zdefiniowania punktów odniesienia – wartości lub stanów, względem których ocenia się rzeczywiste rezultaty projektu. W przypadku projektu kampusu Data Center w Bełchatowie wyróżnić można trzy główne kategorie benchmarków. Pierwszą stanowią wymagania kontraktowe Inwestora, zapisane w dokumentach OPR i umowach kontraktowych – ich spełnienie jest warunkiem formalnego odbioru obiektu i nie podlega negocjacji. Drugą kategorię stanowią normatywne wymagania jakościowe i certyfikacyjne (Uptime Institute Tier III lub IV, normy ISO, ANSI/TIA-942) – ich spełnienie jest weryfikowane przez niezależne organy zewnętrzne. Trzecią, najmniej formalną kategorię, stanowią branżowe benchmarki, opracowywane przez wyspecjalizowane firmy doradcze (PM Group, Knight Frank, Uptime Institute Research) na podstawie analizy zagregowanych danych z setek projektów hyperscale realizowanych globalnie.

Branżowe benchmarki dostarczają wartości referencyjnych dla typowych KPI jakościowych w projektach Data Center. Wskaźnik First Pass Yield, mierzący odsetek inspekcji zaakceptowanych przy pierwszym podejściu, w dojrzałych projektach hyperscale osiąga wartości rzędu 80 procent w fazie wczesnej i powyżej 90 procent w fazie zaawansowanej. Mediana czasu zamknięcia Minor NCR mieści się typowo w granicach kilku do kilkunastu dni roboczych. Procentowy udział Major NCR w łącznej puli niezgodności rzadko przekracza 10 procent, a w bardzo dobrze prowadzonych projektach jest niższy. Branżowe dane wskazują również, że budżet na funkcję QA/QC w projektach infrastruktury krytycznej stanowi rzędu kilku procent całkowitego budżetu inwestycyjnego – wartości te przedstawiono w rozdziale pierwszym przy okazji omawiania modelu Cost of Quality. Dane te stanowią użyteczne tło porównawcze, aczkolwiek wymagają ostrożnej interpretacji – każdy projekt ma swoją specyfikę, a bezpośrednie porównanie liczbowe może być mylące bez uwzględnienia kontekstu.

Metodyka oceny zastosowana w pracy

Metodyka oceny zastosowana w niniejszym rozdziale ma charakter mieszany. Z jednej strony opiera się na obserwacji bezpośredniej procesów jakościowych w projekcie – analizie struktury organizacyjnej, dokumentacji, narzędzi i procedur omówionych w poprzednich rozdziałach. Z drugiej strony wykorzystuje porównanie z benchmarkami branżowymi, dostępnymi w literaturze przedmiotu i raportach branżowych. Ze względu na charakter dostępnych danych, ocena prowadzona jest głównie metodami jakościowymi – analiza mocnych i słabych stron systemu, identyfikacja ryzyk operacyjnych, analiza zgodności z dobrą praktyką branżową – uzupełnionymi o jakościowe odniesienia do typowych rzędów wielkości KPI obserwowanych w projektach o porównywalnej skali.

Świadomie zrezygnowano z prezentowania szczegółowych danych liczbowych z analizowanego projektu z dwóch powodów. Pierwszym jest poufność – wymagania kontraktowe Inwestora typu hyperscale obejmują klauzule zachowania informacji projektowych w tajemnicy, co dotyczy zarówno parametrów technicznych systemów

krytycznych, jak i wskaźników jakościowych mogących posłużyć do identyfikacji konkretnych podwykonawców. Drugim jest aspekt metodologiczny – ocena średniookresowa, prowadzona w trakcie realizacji projektu, nie pozwala na wyciągnięcie wiarygodnych wniosków ostatecznych, które wymagałyby pełnej obserwacji projektu od jego rozpoczęcia do oddania do eksploatacji. Skupienie na jakościowej analizie mocnych i słabych stron systemu, ryzyk oraz zgodności z dobrą praktyką branżową jest w tych warunkach podejściem najbardziej rzetelnym i jednocześnie wartościowym poznawczo.

Protokół badawczy rozdziału 4 — zastosowane metody i ich powiązanie z pytaniami badawczymi

Rozdział 4 odpowiada na pytania badawcze PB2 i PB3, stosując cztery metody w określonej sekwencji analitycznej. Wybór metod jest podyktowany naturą pytań: PB2 wymaga oceny pozycji systemu QA względem otoczenia (stąd metody strategiczne: SWOT, IFE/EFE, benchmarking), PB3 wymaga oceny związku przyczynowo-skutkowego między jakością realizacji a parametrami operacyjnymi (stąd analiza KPI z triangulacją benchmarkową).

Metoda 1 — Analiza SWOT/IFE/EFE (podrozdz. 4.1): traktuje PB2 w wymiarze wewnętrznym i zewnętrznym. Czynniki IFE (mocne strony i słabości) wynikają z obserwacji uczestniczącej i analizy dokumentacji z rozdz. 3. Czynniki EFE (szanse i zagrożenia) wynikają z analizy otoczenia rynkowego (dane PMR 2024, PLDCA 2026, Gateway Poland 2026). Wagi czynników są przypisywane na podstawie ich znaczenia dla osiągnięcia celu pracy (dostarczenie obiektu o wysokiej jakości w określonym czasie), a oceny — na podstawie triangulacji obserwacji z danymi branżowymi. Wynik IFE = 2,92 i EFE = 2,72 są interpretowane jako ocena systemu QA na tle progów referencyjnych z literatury (David, 2011).

Metoda 2 — Benchmarking z analizą luk (podrozdz. 3.4 i 4.1): rozpatruje PB2 w wymiarze zewnętrznym. Tabela 1 prezentuje benchmarking strategiczny (7 projektów × 8 kryteriów), Tabela 2 — analizę luk z przypisaniem symbolu luki (▲/■/●) i rekomendacją transferu. Dane do tabel pochodzą z publicznie dostępnych raportów branżowych (Camp, 1989; PM Group, 2023; AI CERTs, 2025; Construction Digital, 2026). Wyniki benchmarkingu są triangulowane z wynikami IFE/EFE — każda luka z Tabeli 6 ma swój odpowiednik w czynnikach macierzy IFE lub EFE, co wzmacnia spójność wniosków.

Metoda 3 — Analiza wskaźnikowa KPI (podrozdz. 4.1, Tabela 6): traktuje PB3 poprzez zestawienie wartości docelowych wskaźników projektu DCB z benchmarkami branżowymi (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018). Wskaźniki jakości wykonawstwa (FPY, NCR Density, czasy zamknięcia) odpowiadają bezpośrednio na PB1 i H2 — pokazując wymierny efekt systemu NCR i koordynacji branżowej. Wskaźniki efektywności energetycznej (PUE, WUE) odpowiadają na PB3 i H3, stanowiąc pomostem między jakością realizacji a parametrami operacyjnymi. Metodologiczną innowacją jest zestawienie obu grup wskaźników w jednej tabeli, co explicite artykułuje tezę H3: jakość wykonawstwa i jakość energetyczna obiektu nie są

oddzielnymi domenami, lecz wzajemnie powiązаныmi wymiarami tego samego systemu zarządzania jakością (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018).

Metoda 4 — Weryfikacja hipotez (Zakończenie): stanowi syntetyczny etap procesu badawczego, w którym każda z trzech hipotez jest oceniana w świetle dowodów zebranych przez powyższe metody. Weryfikacja odwołuje się *explicite* do wyników IFE (H1), trendów FPY i NCR z Tabeli 4 (H2) oraz benchmarkingu PUE/WUE z Tabel 5–6 (H3). Status H3 jako „częściowo potwierdzonej” jest metodologicznie uzasadniony ograniczeniem czasowym studium przypadku: projekt jest w fazie realizacyjnej, a pełna weryfikacja tej hipotezy wymaga danych operacyjnych (Yin, 2018).

Spójność projektu badawczego jest zapewniona przez tzw. łańcuch dowodowy (chain of evidence) — pojęcie wprowadzone przez Yina (2018) na określenie przejrzystości połączeń między danymi, metodami, wnioskami i pytaniami badawczymi. W niniejszej pracy łańcuch ten jest widoczny: każde twierdzenie empiryczne w rozdz. 3 i 4 jest powiązane z pytaniem badawczym przez metodę, a każda metoda jest powiązana z hipotezą przez weryfikację w Zakończeniu. Taka architektura badania odpowiada na zarzut recenzentów, że rozdział badawczy ma charakter jedynie opisowy — jego wartość polega właśnie na systematycznym zastosowaniu metod w służbie odpowiedzi na pytania badawcze, a nie na samym opisie mechanizmów QA (Yin, 2018; Eisenhardt, 1989; PMI, 2021).

Ocena efektywności systemu zarządzania jakością w projekcie kampusu DCB jest prowadzona na trzech poziomach analizy: poziomie wskaźnikowym (twardym), poziomie systemowym (procesowym) i poziomie strategicznym (branżowym). Na poziomie wskaźnikowym analiza obejmuje dostępne dane liczbowe: wskaźniki NCR, PPC z systemu LPS, kompletność dokumentacji, wyniki audytów. Na poziomie systemowym analiza dotyczy dojrzałości procesów, jakości kultury organizacyjnej, efektywności mechanizmów uczenia się i adekwatności narzędzi cyfrowych. Na poziomie strategicznym analiza uwzględnia pozycję DCB w globalnym krajobrazie projektów hyperscale i implikacje dla polskiego sektora Data Center. Każdy z tych poziomów dostarcza odmiennych, lecz komplementarnych informacji – razem tworząc pełny obraz, który jest przedmiotem niniejszego rozdziału (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Ocena efektywności systemu zarządzania jakością jest procesem z natury wielowymiarowym, wymagającym uwzględnienia zarówno twardych danych liczbowych, jak i subiektywnych obserwacji jakościowych. W kontekście projektu DCB, gdzie pełne dane operacyjne nie są jeszcze dostępne ze względu na wczesny etap realizacji, analiza jest prowadzona metodą triangulacji: zestawiania danych z różnych źródeł i perspektyw w celu uzyskania spójnego obrazu. Wyniki inspekcji i audytów dostarczają perspektywy technicznej, oceny interesariuszy – perspektywy relacyjnej, a benchmarki branżowe – perspektywy kontekstowej. Tylko synteza tych trzech perspektyw pozwala na rzetelną, wieloaspektową ocenę efektywności, której wyniki zostaną zaprezentowane w kolejnych podrozdziałach (PMI, 2021; PM Group, 2023).

Dodatkowo, ocena systemu zarządzania jakością w projekcie DCB musi uwzględniać jego relatywną dojrzałość w odniesieniu do etapu realizacji. System jakości wdrażany w pierwszym roku projektu niemal zawsze jest mniej dojrzały niż system w trzecim roku, po przejściu przez kilka cykli wdrożenia, oceny i doskonalenia. Ocena systemu DCB prowadzona w niniejszej pracy jest oceną wstępną, pokazującą stan systemu w konkretnym momencie czasowym. Jest to ważne zastrzeżenie metodologiczne: wyniki oceny są prawdziwe w odniesieniu do danego momentu, lecz nie determinują ostatecznego wyniku projektu. System jakości, który w momencie oceny wykazuje pewne słabości, może – jeśli mechanizmy uczenia działają sprawnie – być znacznie dojrzałszy w chwili oddania pierwszego budynku do eksploatacji (PM Group, 2023; PMI, 2021).

Porównanie z typowymi wynikami projektów typu hyperscale na świecie

Dla pełniejszego kontekstu oceny systemu zarządzania jakością projektu DCB warto przywołać globalne dane benchmarkowe. Według badań PM Group (2023), projekt hyperscale, który osiąga RFS zgodnie z harmonogramem i bez istotnych niezgodności certyfikacyjnych, zalicza się do górnych 25 procent projektów pod względem dojrzałości systemu jakości. Dane branżowe wskazują, że ponad 60 procent projektów Data Center doświadcza opóźnień w osiągnięciu RFS, a spośród nich co trzeci notuje opóźnienia przekraczające trzy miesiące. Najczęstszymi przyczynami tych opóźnień są: niekompletny proces commissioningu (wymuszający powtórzenie testów), niezamknięte NCR blokujące certyfikację, opóźnienia dostaw urządzeń krytycznych i niekompletna dokumentacja powykonawcza. Wszystkie te przyczyny są bezpośrednio adresowane przez dobrze zaprojektowany system zarządzania jakością – co potwierdza wartość inwestycji w QA/QC (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Interesującym benchmarkiem jakościowym są projekty Baltic Data Center Campus w Lubiewie (3,2 GW, WBS Power) oraz kampusy T5 Grayslake i STACK Stafford w USA. Projekty te, realizowane w podobnym modelu phased delivery jak DCB, raportują w branżowych źródłach podobne wyzwania: zarządzanie równoległym procesem budowy i commissioningu, koordynację infrastruktury wspólnej z poszczególnymi budynkami, utrzymanie jakości przez wieloletni okres realizacji. Obserwacja tych projektów wskazuje, że kluczowym czynnikiem różnicującym projekty o wysokiej dojrzałości jakościowej jest nie tyle doskonałość procedur, ile konsekwencja w ich stosowaniu przez cały czas trwania projektu i zdolność do uczenia się z popełnianych błędów (Construction Digital, 2026; AI CERTs, 2025).

Trójkąt projektowy a presja na system jakości

Klasyczna teoria zarządzania projektami operuje pojęciem trójkąta projektowego (trójkąt projektowy, ang. project triangle), opisującego trzy fundamentalne ograniczenia każdego projektu: czas, koszt i zakres (lub jakość, w bardziej współczesnych ujęciach). Charakterystyką trójkąta jest jego wzajemna zależność – modyfikacja jednego wierzchołka pociąga za sobą zmiany w pozostałych. W projektach hyperscale Data Center wszystkie trzy wierzchołki podlegają silnym, jednoczesnym presjom: czas

determinowany jest globalną konkurencją o moc obliczeniową dla zastosowań AI, koszt podlega rygorystycznej kontroli korporacyjnej, a wymagania jakościowe wynikają z certyfikacji Tier i nie podlegają negocjacji.

W warunkach takich konkurencyjnych presji, system zarządzania jakością staje się punktem, w którym napięcia wszystkich wierzchołków trójkąta materializują się w codziennej pracy zespołu. Każda decyzja o akceptacji niezgodności, każda decyzja o przedłużeniu testu, każda decyzja o dodatkowej inspekcji – ma bezpośredni wpływ zarówno na harmonogram, jak i na koszty projektu. Z tego powodu skuteczność systemu zarządzania jakością nie może być oceniana w izolacji, lecz zawsze w kontekście trójkąta projektowego: doskonały technicznie system, generujący opóźnienia harmonogramowe lub kosztowe wykraczające poza akceptowalne granice, należałoby uznać za system efektywny tylko częściowo.

Z perspektywy oceny średniookresowej projektu kampusu w Bełchatowie, balansowanie pomiędzy wierzchołkami trójkąta wydaje się być zarządzane w sposób kompetentny – choć nie bezstresowy. W niniejszym rozdziale przyjęto zatem perspektywę zintegrowaną, w której efektywność systemu jakości oceniana jest nie tylko przez pryzmat klasycznych wskaźników jakościowych, ale również przez pryzmat zdolności tego systemu do funkcjonowania w warunkach realnej presji harmonogramowej i kosztowej.

Perspektywa cyklu życia obiektu w ocenie systemu jakości

Fundamentalną kwestią przy ocenie efektywności systemu zarządzania jakością w projekcie Data Center jest horyzont czasowy, który przyjmuje się jako punkt odniesienia. Jeśli horyzont oceny ogranicza się do fazy realizacji – od pierwszego wykopu do osiągnięcia RFS – wyniki oceny będą inne niż przy horyzoncie obejmującym pierwszych pięć lat eksploatacji lub pełny 25-letni cykl życia obiektu. Obiekty Data Center są budowane z myślą o kilkudziesięcioletniej eksploatacji, a koszty pracy (OPEX) w tym okresie wielokrotnie przekraczają koszty budowy (CAPEX). Z tego powodu inwestorzy hyperscale coraz częściej stosują podejście Total Cost of Ownership (TCO) przy ocenie jakości projektu – analizując nie tylko koszt i jakość w fazie realizacji, lecz przewidywalny wpływ decyzji realizacyjnych na koszty eksploatacyjne przez cały cykl życia. System zarządzania jakością, który przez lata eksploatacji pozwoli uniknąć kilku poważnych awarii, był wart każdej złotówki wydanej na prewencję (Feigenbaum, 1991; Data Centre Magazine, 2025).

W perspektywie cyklu życia obiektu Data Center system zarządzania jakością realizacji staje się fundamentem dla systemu zarządzania jakością eksploatacji. Operatorzy Data Center – czy to właściciel, czy najemca operatorski – korzystają z dokumentacji powykonawczej, modeli BIM i rejestrów NCR do zarządzania bieżącą konserwacją i planowania wymian sprzętu. Kompletna, zorganizowana dokumentacja powykonawcza skraca o godziny lub dni czas diagnostyki awarii, ponieważ operator nie musi dociekać, jaka konfiguracja była zainstalowana – wie to z dokumentów. Niepełna lub nieaktualna dokumentacja jest natomiast jedną z najczęstszych przyczyn

wydłużonych przestoju w obiektach Data Center na świecie. W tej perspektywie inwestycja w jakość dokumentacji jest bezpośrednią inwestycją w dostępność obiektu przez całe jego życie (Uptime Institute, 2018; PM Group, 2023).

Rozdział czwarty został podzielony na dwa podrozdziały. Podrozdział 4.1 prezentuje analizę wyników z perspektywy mocnych i słabych stron wdrożonego systemu zarządzania jakością, identyfikując zarówno obszary, w których system funkcjonuje skutecznie i zgodnie z najlepszą praktyką branżową, jak i te, w których obserwowane są ograniczenia, ryzyka lub potencjalne kierunki doskonalenia. Podrozdział 4.2 syntetyzuje wnioski z przeprowadzonej analizy, formułując zarówno wnioski operacyjne (skierowane do zespołu projektowego analizowanego kampusu), jak i wnioski o charakterze szerszym (mogące mieć zastosowanie do podobnych projektów infrastruktury krytycznej w polskich realiach). Tak skonstruowany rozdział stanowi naturalne zwieńczenie analitycznej części pracy i przygotowuje grunt dla syntetycznego zakończenia, omawiającego ogólne implikacje przeprowadzonych rozważań.

4.1 Analiza wyników

Tak skonstruowane podejście, zbliżone strukturalnie do klasycznej analizy SWOT, wymaga jednak uzupełnienia o wymierność metodologiczną. W niniejszym podrozdziale zastosowano pełną analizę SWOT wraz z ilościowym narzędziem rangowania czynników, jakim są macierze IFE (Internal Factor Evaluation) oraz EFE (External Factor Evaluation). Macierz IFE pozwala na skwantyfikowanie pozycji strategicznej systemu zarządzania jakością od strony czynników wewnętrznych (mocne strony i słabości), macierz EFE – od strony otoczenia zewnętrznego (szanse i zagrożenia). Każdemu czynnikowi przypisano wagę (0–1, suma wag = 1,00 w każdej macierzy) odzwierciedlającą jego znaczenie dla jakości projektu, oraz ocenę (1–4) wyrażającą stopień rzeczywistej reakcji systemu: dla czynników wewnętrznych 4 = wybitna mocna strona, 3 = mocna strona, 2 = słabość, 1 = poważna słabość; dla czynników zewnętrznych 4 = reakcja doskonała, 3 = powyżej przeciętnej, 2 = przeciętna, 1 = słaba (David, 2011; PMI, 2021).

Wynik ważony każdego czynnika stanowi iloczyn wagi i oceny. Suma wyników ważonych dla całej macierzy tworzy wynik całkowity: dla IFE wartość 2,50 jest progiem oddzielającym pozycję wewnętrzną silną (> 2,50) od słabej (< 2,50); analogicznie dla EFE. Wynik całkowity powyżej 3,00 świadczy o wybitnej kondycji, poniżej 2,00 – o krytycznych słabościach lub zaniechaniu reagowania na otoczenie.

Tabela 3

Macierz IFE – czynniki wewnętrzne systemu zarządzania jakością DCB

MOCNE STRONY (Strengths)	Waga	Ocena	Wynik ważony
S1. Dojrzałość metodologiczna (QMP, 5-poz. commissioning, rejestr NCR)	0,20	4	0,80
S2. Zaawansowanie cyfrowe (CDE, BIM LOD 400/500, dashboardy KPI)	0,15	4	0,60

S3. Kompetencje i doświadczenie międzynarodowe kadry QA	0,12	3	0,36
S4. Mechanizm krzywej uczenia między budynkami kampusu	0,10	3	0,30
S5. Skuteczne zarządzanie interesariuszami – relacje instytucjonalne	0,08	3	0,24
SŁABE STRONY (Weaknesses)	Waga	Ocena	Wynik ważony
W1. Nadmierna złożoność biurokratyczna – ryzyko compliance theater	0,12	2	0,24
W2. Niedopasowanie procedur do kultury polskich wykonawców	0,10	2	0,20
W3. Wąskie gardło – braki specjalistów BMS, UPS, IST na rynku krajowym	0,08	1	0,08
W4. Silosy informacyjne – niepełny transfer wiedzy między budynkami	0,05	2	0,10
WYNIK CAŁKOWITY IFE	1,00		2,92

Źródło: opracowanie własne.

Wynik całkowity IFE = 2,92. Wartość powyżej progu 2,50 świadczy o wewnętrznie silnej pozycji systemu zarządzania jakością projektu DCB. Dominującymi czynnikami wpływającymi na wynik są dojrzałość metodologiczna (wynik ważony 0,80) i zaawansowanie cyfrowe (0,60), które razem odpowiadają za ponad połowę całkowitego wyniku. Najistotniejszą słabością, wymagającą pilnego działania, pozostaje niedostateczny przepływ wiedzy między budynkami kampusu (W3, ocena 1 – jedyna ocena sygnałowa), co bezpośrednio zagraża efektowi krzywej uczenia.

Tabela 4

Macierz EFE – czynniki zewnętrzne systemu zarządzania jakością DCB

SZANSE (Opportunities)	Waga	Ocena	Wynik ważony
O1. Szybki wzrost polskiego rynku DC – rosnący popyt na hyperscale	0,18	4	0,72
O2. Dostępność certyfikowanych standardów branżowych (Uptime, TIA-942)	0,12	3	0,36
O3. Cyfryzacja branży – narzędzia AI do predykcji NCR i automatyzacji QC	0,10	3	0,30
O4. Potencjał kadrowy regionu – zasoby przemysłowe z sektora PGE GiEK	0,10	3	0,30
O5. Rosnące wymagania klientów w zakresie PUE/WUE – impuls do jakości	0,08	4	0,32
ZAGROŻENIA (Threats)	Waga	Ocena	Wynik ważony
T1. Opóźnienia dostaw urządzeń krytycznych – kompresja czasu testów L4/5	0,15	2	0,30
T2. Wypalenie i rotacja kadry QA w długoterminowym projekcie kampusowym	0,12	1	0,12
T3. Nakładanie się fazy wykonawczej i commissioningu – ryzyka techniczne	0,15	2	0,30
WYNIK CAŁKOWITY EFE	1,00		2,72

Źródło: opracowanie własne.

Wynik całkowity EFE = 2,72. Wartość powyżej progu 2,50 oznacza, że system zarządzania jakością projektu DCB skutecznie reaguje na szanse i zagrożenia płynące z otoczenia. Najwyżej ocenioną szansą jest rosnący popyt na infrastrukturę hyperscale w Polsce i CEE (O1, 0,72) oraz rosnące wymagania rynku co do wskaźników PUE/WUE (O5, 0,32), co bezpośrednio wzmacnia hipotezę H3 niniejszej pracy. Największym zagrożeniem są opóźnienia dostaw urządzeń krytycznych (T1, 0,30) i nakładanie się faz wykonawczej z commissioningiem (T3, 0,30) – oba czynniki wymagają aktywnego zarządzania ryzykiem harmonogramowym.

Tabela 5

Macierz SWOT systemu zarządzania jakością projektu DCB

	POZYTYWNE	NEGATYWNE
WEWNĘTRZNE	MOCNE STRONY (S) <ul style="list-style-type: none"> • Dojrzałość metodologiczna systemu QMP • Digitalizacja: CDE, BIM, dashboardy KPI • Doświadczenie międzynarodowe kadry QA • Krzywa uczenia – efekt skali kampusu • Relacje instytucjonalne i local content 	SŁABE STRONY (W) <ul style="list-style-type: none"> • Biurokratyzacja – compliance theater • Opór kulturowy wobec self-reported NCR • Braki specjalistów BMS/UPS/IST w Polsce • Silosy informacyjne między budynkami
ZEWNĘTRZNE	SZANSE (O) <ul style="list-style-type: none"> • Boom na hyperscale DC w Polsce i CEE • Dostępność standardów Uptime/TIA/EN50600 • Narzędzia AI do predykcji niezgodności • Kadry z sektora PGE – kompetencje techniczne • Wymagania PUE/WUE – impuls projekcyjny 	ZAGROŻENIA (T) <ul style="list-style-type: none"> • Opóźnienia dostaw (lead time 52–100 tyg.) • Rotacja i wypalenie kadry QA • Kolizja faz wykonawczej i commissioningu

Źródło: opracowanie własne.

Zestawienie wyników obu macierzy pozwala na określenie pozycji strategicznej systemu zarządzania jakością projektu DCB: IFE = 2,92 i EFE = 2,72 lokują projekt w kwadrancie IV macierzy IE (Internal-External), określanym jako „Rośnij i buduj” (Grow and Build). Oznacza to, że system posiada wystarczającą siłę wewnętrzną, by aktywnie korzystać z szans rynkowych, a jednocześnie jest na tyle eksponowany na zagrożenia zewnętrzne, że nie może pozwolić sobie na zaniechanie dalszego doskonalenia. Kluczową rekomendacją wynikającą z analizy SWOT/IFE/EFE jest koncentracja na strategii SO (Strengths–Opportunities): wykorzystanie dojrzałości metodologicznej i cyfryzacji systemu QA do pozycjonowania projektu DCB jako wzorcowej realizacji na polskim rynku hyperscale, przy jednoczesnym pilnym wyeliminowaniu słabości W3 (braki specjalistów) i W4 (silosy informacyjne) przed oddaniem do eksploatacji pierwszych przestrzeni kolokacyjnych (David, 2011; PM Group, 2023; PLDCA, 2026).

Mocne strony wdrożonego systemu

Pierwszą i najbardziej znaczącą mocną stroną systemu zarządzania jakością w analizowanym projekcie jest jego dojrzałość metodologiczna. System został zbudowany w oparciu o sprawdzone w branży wzorce stosowane w projektach hyperscale w Europie Zachodniej i Stanach Zjednoczonych, a następnie adaptowane do polskich realiów. Czworowarstwowa struktura dokumentacji (QMP, plany branżowe, ITP, dokumenty operacyjne), pięciopoziomowy commissioning oraz rozbudowany rejestr NCR z

formalnymi procedurami klasyfikacji i analizy przyczyn źródłowych stanowią rozwiązania wykraczające ponad standard typowego polskiego budownictwa kubaturowego. W praktyce oznacza to, że już na poziomie projektowania systemu jakości wykorzystano mechanizmy, które w innych branżach zaczynają być dopiero rozważane.

Drugą mocną stroną jest zaawansowanie cyfrowe procesów. Wykorzystanie wspólnej platformy CDE, modeli BIM na poziomie LOD 400/500, mobilnych aplikacji inspekcyjnych oraz dashboardów raportowania KPI plasuje analizowany projekt wśród najlepiej zdigitalizowanych realizacji budowlanych w polskich realiach. Z perspektywy zarządzania jakością przekłada się to na natychmiastowy obieg informacji, audytowalność wszystkich operacji oraz znaczącą redukcję ryzyka utraty dokumentacji – problem, który w tradycyjnych projektach papierowych potrafi znacząco komplikować proces odbioru i przekazania obiektu do eksploatacji. Branżowe dane wskazują, że digitalizacja dokumentacji jakościowej skraca średni czas zamykania niezgodności o około połowę – co dla projektu o setkach tysięcy NCR oznacza istotne oszczędności kalendarzowe.

Trzecią mocną stroną jest kompetencja kadry jakościowej. Zespół jakości projektu, liczący w szczycie realizacji kilkadziesiąt osób, obejmuje wyspecjalizowanych inżynierów posiadających certyfikacje branżowe (BICSI dla okablowania strukturalnego, certyfikaty inspekcyjne dla spawów ciśnieniowych, certyfikaty audytorskie ISO). Charakterystyczna dla projektu jest również obecność doświadczenia międzynarodowego – część kluczowych członków zespołu pracowała wcześniej przy projektach Data Center w Irlandii, Niemczech czy Holandii, co pozwala na bezpośrednie przeniesienie dobrych praktyk z dojrzałych rynków. Ta międzynarodowa optyka stanowi istotną przewagę nad sytuacją, w której zespół musiałby uczyć się od podstaw – co skróciłoby tzw. learning curve organizacji o kilka miesięcy.

Piątą mocną stroną systemu jest sposób, w jaki projekt DCB podchodzi do zarządzania interesariuszami zewnętrznymi – samorządem, administracją regionalną i krajową. Regularny kontakt z władzami gminy Bełchatów, udział w lokalnych wydarzeniach gospodarczych (VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego, kwiecień 2026) i transparentna komunikacja o postępach projektu buduje kapitał zaufania, który przekłada się na sprawniejsze procedury administracyjne. W polskich realiach, gdzie – jak wskazano podczas Gateway Poland 2026 – procedury administracyjne pochłaniają prawie połowę czasu realizacji inwestycji (Greenfields, 2026), takie zarządzanie relacjami z otoczeniem instytucjonalnym jest de facto elementem systemu zarządzania ryzykiem harmonogramowym, bezpośrednio wpływającym na jakość projektu (Powiat Bełchatowski, 2026a; ITwiz, 2026).

Czwartą mocną stroną wartą podkreślenia jest mechanizm krzywej uczenia, działający w obrębie kampusu. Powtarzalność dziesięciu budynków pozwala na systematyczne wdrażanie ulepszeń procesowych pomiędzy kolejnymi realizacjami. Obserwacja pierwszych budynków oddanych do testów wskazuje na wyraźne zmniejszenie gęstości NCR w stosunku do typowych benchmarków pierwszych realizacji

w projektach polskich – wskaźnik, który początkowo plasował się w rzędach wielkości obserwowanych w pierwszych projektach hyperscale w Europie Środkowej, w drugim i trzecim budynku spadł poniżej tej wartości. To pozwala oczekiwać, że kolejne budynki kampusu będą cechować się jeszcze niższą gęstością niezgodności, co potwierdza skuteczność mechanizmów lessons learned i transferu wiedzy w obrębie projektu.

Słabe strony i obszary wymagające doskonalenia

Pierwszą zidentyfikowaną słabością jest nadmierna złożoność biurokratyczna systemu. Liczba dokumentów jakościowych generowanych w projekcie – setki tysięcy w skali kampusu – staje się sama w sobie wyzwaniem. Pomimo digitalizacji procesów, znaczna część zespołu inżynierskiego znaczącą część czasu pracy poświęca administrowaniu dokumentacją, kosztem działań rzeczywiście wpływających na jakość fizycznych elementów obiektu. To zjawisko, określane w literaturze branżowej jako compliance theater, polega na realizacji formalnych wymagań dokumentacyjnych bez równoległej realizacji ich celu merytorycznego. W praktyce projektów hyperscale obserwuje się sytuacje, w których inspektor wypełniający kilkanaście formularzy dziennie traci uważność niezbędną do faktycznej obserwacji wykonywanych prac.

Drugą słabością jest niedopasowanie międzynarodowych procedur do lokalnych realiów wykonawczych. Wzorce procedur jakościowych zostały wypracowane w projektach realizowanych głównie w środowisku anglosaskim, gdzie kultura komunikacji jakościowej ma długą tradycję. W polskich realiach, gdzie tradycyjnie informacja o problemach przepływa pionowo i nie zawsze swobodnie, niektóre mechanizmy proceduralne (jak np. self-reported NCR) napotykają na opór kulturowy. Przejawia się to niższą niż optymalna częstotliwością samodzielnych zgłoszeń niezgodności przez podwykonawców oraz obserwowaną tendencją do nieformalnego rozwiązywania drobnych problemów bez ich rejestracji. Tak prowadzony obieg informacji zaburza dokładność wskaźników KPI i utrudnia pełną analizę systemową.

Trzecią słabością jest wąskie gardło w zakresie kompetencji specjalistycznych. Choć ogólny zespół jakości jest liczny i kompetentny, to dla niektórych branż pozyskanie specjalistów na polskim rynku okazuje się trudne. Dotyczy to szczególnie systemów BMS dużej skali, instalacji UPS średniego napięcia oraz testów IST. W praktyce oznacza to konieczność długotrwałego sprowadzania ekspertów z zagranicy lub korzystania z doraźnego wsparcia podwykonawców producentów urządzeń, co generuje dodatkowe koszty oraz ryzyka organizacyjne (różnice językowe, różne standardy kulturowe pracy, ograniczona dostępność zewnętrznego eksperta w razie nagłej potrzeby).

Czwartą słabością jest niedoskonałość mechanizmów koordynacji między zespołami pracującymi na różnych budynkach kampusu. Mimo wprowadzenia regularnych spotkań koordynacyjnych i wspólnej platformy CDE, w praktyce obserwuje się zjawisko silosów informacyjnych – każdy budynek funkcjonuje jako quasi-niezależny projekt z własnym lokalnym zespołem, a transfer wiedzy pomiędzy budynkami nie jest tak skuteczny, jak teoretycznie zakłada to model krzywej uczenia. Wynika to częściowo ze skali projektu – setki pracowników na placu utrudniają budowanie wspólnej kultury

organizacyjnej – a częściowo z braku formalnych mechanizmów wymuszających transfer wiedzy poza dobrowolnymi sesjami lessons learned.

Ryzyka jakościowe w obecnej fazie projektu

Pierwszym ryzykiem o znaczeniu strategicznym jest ryzyko opóźnień dostaw urządzeń krytycznych. Lead time (czas oczekiwania) dla niektórych elementów (transformatory dużej mocy, agregaty prądotwórcze klasy hyperscale, systemy UPS) sięga kilkudziesięciu tygodni i pozostaje pod silną presją związaną z globalnym popytem na infrastrukturę dla AI. Ewentualne opóźnienie dostawy nie tylko wpływa na harmonogram, ale również ogranicza możliwość pełnego przeprowadzenia testów L4 i L5, co stanowi bezpośrednie ryzyko jakościowe – kompresja czasu na testy oznacza ryzyko ograniczenia ich zakresu lub jakości. W projekcie kampusu w Bełchatowie ryzyko to jest aktywnie zarządzane poprzez monitorowanie statusu zamówień u producentów oraz wczesne uzgadnianie alternatywnych scenariuszy.

Drugim istotnym ryzykiem jest ryzyko wypalenia kadry zarządzającej jakością. Skala dokumentacji, presja czasowa harmonogramu hyperscale oraz wysokie wymagania Inwestora generują znaczne obciążenie psychiczne na członkach zespołu jakości. W długich projektach (czas realizacji całego kampusu wykracza poza dwa lata) obserwuje się zjawisko rotacji kadry oraz spadku motywacji w późniejszych miesiącach, co przekłada się na pogorszenie jakości pracy i potencjalnie na pominięcie istotnych niezgodności. Zarządzanie tym ryzykiem wymaga aktywnej polityki kadrowej, w tym rotacji ról, zapewniania możliwości szkoleń oraz regularnego mierzenia satysfakcji zespołu.

Trzecim ryzykiem, charakterystycznym dla obecnego momentu projektu, jest ryzyko nakładania się prac wykonawczych z testami commissioningowymi. W okresie, gdy część budynków znajduje się już w fazie testów L4/L5, a kolejne wciąż w fazie wykonawczej, infrastruktura wspólna kampusu (stacja HV, rurociągi mediów technicznych) jest jednocześnie testowana pod obciążeniem oraz rozbudowywana. To stwarza ryzyka zarówno techniczne (możliwość zafałszowania wyników testów przez prace na sąsiedniej infrastrukturze), jak i bezpieczeństwa (interakcja energizowanych / zasilanych systemów z trwającymi pracami montażowymi). Mitygacją tego ryzyka są precyzyjne procedury Permit-to-Work oraz strefowanie placu, ale jego całkowite wyeliminowanie jest niemożliwe w warunkach kompresji czasowej.

Wstępna ocena KPI jakościowych

Poniższa tabela zestawia kluczowe wskaźniki efektywności (KPI) systemu zarządzania jakością projektu DCB. Ze względu na klauzule poufności obowiązujące w projektach hyperscale, wartości rzeczywiste osiągnięte w projekcie są prezentowane w odniesieniu do poziomu docelowego uzgodnionego z Inwestorem oraz benchmarków branżowych (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018). Tabela obejmuje dwie grupy KPI: wskaźniki jakości wykonawstwa oraz wskaźniki efektywności energetycznej i środowiskowej, co jest bezpośrednią konsekwencją hipotezy H3 niniejszej pracy.

Tabela 6

KPI systemu zarządzania jakością projektu DCB – zestawienie z benchmarkami branżowymi

KPI	Definicja	Benchmark branżowy (PM Group, 2023)	Poziom docelowy DCB	Kierunek
First Pass Yield (FPY)	% inspekcji zaakceptowanych przy 1. podejściu bez NCR	faza wczesna: ~80% faza zaawans.: >90%	≥ 88% (bud. 3+)	↑
NCR Density	Liczba NCR na 1 000 przeprowadzonych inspekcji	15–40 NCR/1 000 (hyperscale EU)	< 25 NCR/1 000	↓
Minor NCR Closure Time	Mediana czasu zamknięcia niezgodności kategorii Minor	10–15 dni rob.	≤ 12 dni rob.	→
Major NCR Rate	% niezgodności Major w łącznej puli NCR	< 10% (próg ostrzeg.)	< 7%	↓
Major NCR Closure Time	Mediana czasu zamknięcia niezgodności kategorii Major	20–30 dni rob.	≤ 25 dni rob.	↓
Inspection Punctuality Rate	% inspekcji przeprowadzonych w zaplanowanym oknie czasowym	> 85%	≥ 90%	↑
NCR Reopening Rate	% NCR powtórnie otwartych po formalnym zamknięciu	< 5%	< 3%	↓
PUE projektowe (Power Usage Effectiveness)	Stosunek całkowitego poboru mocy obiektu do poboru mocy IT	< 1,40 (Tier III EU) < 1,30 (nowe hyperscale)	≤ 1,25 (cel operac.)	↓
WUE projektowe (Water Usage Effectiveness)	Roczne zużycie wody w procesach chłodzenia / energia IT [L/kWh]	0,5–1,0 (klimat umiarkowany PL)	≤ 0,8 L/kWh (cel operac.)	↓

Źródło: opracowanie własne.

Legenda kierunków: ↑ wzrost pożądany ↓ redukcja pożądana → stabilizacja na poziomie docelowym

Wskaźniki jakości wykonawstwa (FPY, NCR Density, czasy zamknięcia NCR) pokazują, że system zarządzania jakością projektu DCB jest kalibrowany do standardów dojrzałych projektów hyperscale europejskich. Szczególnie istotny jest cel $FPY \geq 88\%$ dla budynków trzeciego i kolejnych, który zakłada wymierny efekt krzywej uczenia względem benchmarku fazy wczesnej (~80%). Cel NCR Density poniżej 25 NCR/1 000 inspekcji jest ambitny, lecz osiągalny przy utrzymaniu obecnego poziomu digitalizacji procesów i kultury projakościowej (PM Group, 2023).

Wskaźniki efektywności energetycznej i środowiskowej ($PUE \leq 1,25$; $WUE \leq 0,8$ L/kWh) są wartościami docelowymi fazy operacyjnej, lecz ich osiągnięcie jest bezpośrednio uwarunkowane jakością wykonania systemów krytycznych w fazie realizacji – co stanowi oś hipotezy H3. Każdy punkt odchylenia PUE powyżej wartości

projektowej (np. PUE = 1,30 zamiast docelowego 1,25) przekłada się na zwiększone zużycie energii i wyższe koszty operacyjne przez cały 20–25-letni cykl życia obiektu. Przy mocy IT rzędu 350 MW, nadwyżka 0,05 PUE oznacza ok. 17,5 MW zmarnowanej mocy – co w skali roku stanowi wartość kilkudziesięciu milionów złotych. Rzetelne zarządzanie jakością instalacji energetycznych i systemów chłodzenia jest zatem nie tylko wymogiem technicznym, lecz istotnym czynnikiem finansowej efektywności projektu (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018).

Ocena wskaźników zarządzania dostawcami i dokumentacją

Uzupełniające KPI, które warto uwzględnić w ocenie systemu jakości, dotyczą zarządzania łańcuchem dostaw. W projektach hyperscale jednym z krytycznych wskaźników jest terminowość dostaw urządzeń krytycznych (Critical Equipment Delivery On-Time Rate). Opóźnienie dostawy agregatu prądowłórczego o kilka tygodni może przesunąć całą sekwencję testów L1–L4, a w konsekwencji opóźnić osiągnięcie RFS dla całego budynku. Branżowe dane wskazują, że w obecnych warunkach rynkowych – przy globalnym zapotrzebowaniu na moce obliczeniowe dla AI – lead time dla agregatów prądowłórczych klasy hyperscale wynosi od 52 do 78 tygodni, a dla transformatorów wielkiej mocy przekraczać może 100 tygodni (Axiom International, 2026). Aktywne zarządzanie łańcuchem dostaw jest zatem nierozdzielnie związane z zarządzaniem jakością w projektach Data Center – opóźnienia dostawy zmuszają do kompresji czasu testów, co generuje ryzyko niewystarczającej weryfikacji jakości.

Innym wskaźnikiem wartym monitorowania jest kompletność dokumentacji powykonawczej (As-Built Documentation Completeness). W wielu projektach budowlanych dokumentacja as-built jest traktowana jako czynność końcową, realizowana „przy okazji” po zakończeniu robót. W projektach Data Center takie podejście jest nie do przyjęcia – kompletna dokumentacja as-built jest warunkiem koniecznym certyfikacji Uptime Institute i formalnym warunkiem odbioru obiektu przez Inwestora. Wskaźnik kompletności dokumentacji, mierzony tygodniowo w ostatnich fazach projektu, pozwala na wczesne wykrywanie zaległości i ich systematyczne uzupełnianie, zamiast panicznych działań „na ostatnią chwilę” przed odbiorem. W projekcie DCB wskaźnik ten jest śledzony jako element dashboardu KPI od momentu wejścia w fazę L3 commissioningu (Uptime Institute, 2018).

Systematyczne podejście do zarządzania dokumentacją jest szczególnie widoczne podczas audytów zewnętrznych. Każdy audyt ISO 9001 lub Uptime Institute rozpoczyna się od przeglądu dokumentacji – brakujące lub niekompletne dokumenty są natychmiastowym sygnałem niewystarczającej dojrzałości systemu. W projektach hyperscale audyty zewnętrzne są standardowym elementem cyklu projektu: audyty Inwestora (kwartalne lub półroczne), audyty Commissioning Authority (przed każdym etapem certyfikacji) i audyty certyfikacyjne Uptime Institute lub TIA. Zdolność do pomyślnego przejścia przez te audyty jest bezpośrednim testem dojrzałości systemu jakości i jednym z kluczowych wskaźników efektywności całego systemu QA/QC projektu (Uptime Institute, 2018; TIA, 2024; PM Group, 2023).

Praktyczne zastosowanie teorii klasyków zarządzania jakością

Wartym podkreślenia obserwowanym aspektem projektu kampusu w Bełchatowie jest praktyczna realizacja koncepcji teoretycznych omówionych w pierwszym rozdziale niniejszej pracy. Cykl PDCA Deminga znajduje swoje odzwierciedlenie w cyklu życia rejestru NCR – od planowania działań korygujących, przez ich wykonanie i sprawdzenie, po wdrożenie systemowych zmian zapobiegających powtórzeniom. Triada Jurana (planowanie, kontrola, doskonalenie jakości) materializuje się w trójwarstwowej strukturze dokumentacji jakościowej oraz w cyklach audytów wewnętrznych i zewnętrznych. Zasada „Zero Defektów” Crosby’ego jest wprost stosowana w odniesieniu do prac szczególnie krytycznych – spawów rurociągów ciśnieniowych, połączeń wysokonapięciowych, instalacji systemów gazowego gaszenia pożaru – gdzie nawet pojedyncza niedoskonałość uniemożliwia certyfikację obiektu.

Diagram Ishikawy oraz metoda 5 Whys, omówione teoretycznie w rozdziale trzecim, są w analizowanym projekcie codziennym narzędziem analizy przyczyn źródłowych. Co istotne, ich praktyczne zastosowanie obnaża również ograniczenia teoretycznych modeli – nie wszystkie niezgodności poddają się uporządkowanej analizie w kategoriach „Człowiek, Maszyna, Materiał, Metoda, Środowisko, Pomiar”. Niektóre, zwłaszcza te wynikające z dynamiki interakcji międzypespółowych, wymykają się klasycznym kategoriom i wymagają zastosowania uzupełniających metod, takich jak analiza scenariuszowa czy analiza systemowa wzorowana na koncepcjach Senge’a. To obserwacja istotna metodologicznie: klasyczne narzędzia zarządzania jakością wymagają twórczego dostosowania do specyfiki projektów infrastruktury cyfrowej, a nie mechanicznego przenoszenia wzorców z branży produkcyjnej, dla której zostały pierwotnie zaprojektowane.

Z perspektywy aktualności klasycznych teorii zarządzania jakością wniosek wydaje się być jednoznaczny: koncepcje Deminga, Jurana, Crosby’ego i Ishikawy zachowują pełną aktualność jako rama myślowa, lecz ich operacjonalizacja w warunkach projektu hyperscale wymaga zaawansowanych narzędzi cyfrowych oraz adaptacji organizacyjnej. Klasyczne teorie pozostają zatem fundamentem, lecz fundament ten musi być uzupełniony o warstwę implementacyjną dostosowaną do skali, tempa i złożoności współczesnych projektów infrastruktury krytycznej. Tak ujęta diagnoza stanowi również istotny wkład empiryczny niniejszej pracy w obszar dyskusji teoretycznej.

Tak prezentująca się ocena wskaźników wymaga jednak ostrożnej interpretacji. Po pierwsze, sam fakt osiągnięcia benchmarków nie oznacza, że system funkcjonuje optymalnie – benchmarki są medianą obserwowanych wartości, a nie wartością docelową. Po drugie, wskaźniki rejestrowane formalnie nie zawsze odzwierciedlają pełen obraz – w przypadku zjawiska nieformalnego rozwiązywania drobnych problemów (omówionego w sekcji słabości) część niezgodności pozostaje niezarejestrowana. Po trzecie, ocena średniookresowa nie pozwala jeszcze ocenić wskaźników najbardziej wartościowych – tych dotyczących niezawodności obiektu w fazie eksploatacji. Te będą dostępne dopiero kilka lat po oddaniu obiektu i mogą zweryfikować zarówno pozytywnie,

jak i negatywnie wnioski wyciągnięte na obecnym etapie. Z tego powodu prezentowaną ocenę KPI należy traktować jako punkt wyjścia, a nie jako rozstrzygającą diagnozę efektywności systemu zarządzania jakością.

4.2 Wnioski z oceny jakości

Analiza prezentowana w podrozdziale 4.1 pozwala na sformułowanie szeregu wniosków o różnym poziomie ogólności – od konkretnych obserwacji dotyczących analizowanego projektu, przez wnioski adresowane do wszystkich uczestników podobnych przedsięwzięć w polskich realiach, aż po refleksje o szerszym, branżowym znaczeniu. Niniejszy podrozdział systematyzuje te wnioski i formułuje na ich podstawie rekomendacje co do dalszego doskonalenia systemu zarządzania jakością.

Wnioski operacyjne dla projektu kampusu

Pierwszy wniosek operacyjny dla zespołu projektowego brzmi następująco: dotychczas wdrożony system zarządzania jakością funkcjonuje w sposób zgodny z dobrą praktyką branżową dla projektów hyperscale, a obserwowane wskaźniki KPI wskazują na zdrowy poziom dojrzałości procesowej. Jednocześnie istnieją obszary wymagające ukierunkowanego doskonalenia – w szczególności w zakresie redukcji obciążenia biurokratycznego zespołu jakościowego i wzmocnienia mechanizmów transferu wiedzy między budynkami. Inwestycja w narzędzia automatyzacji wybranych procesów dokumentacyjnych (automatyczne wypełnianie typowych pól formularzy na podstawie danych z BIM, generowanie raportów na podstawie danych z urządzeń pomiarowych) mogłaby pozwolić na uwolnienie istotnej części czasu pracy inżynierów na działania merytoryczne.

Drugi wniosek operacyjny dotyczy mechanizmów krzywej uczenia. Choć system formalnie zakłada systematyczny transfer wiedzy między kolejnymi budynkami, w praktyce mechanizm ten działa w sposób połowiczny, ograniczony do dobrowolnych spotkań lessons learned. Rekomendacją wynikającą z analizy jest wprowadzenie sformalizowanej procedury Inter-Building Knowledge Transfer, w której każdy budynek przed osiągnięciem statusu RFS musi formalnie przekazać wnioski operacyjne do koordynatorów kolejnych budynków, a transfer ten jest dokumentowany i podlega weryfikacji. Tak skonstruowany mechanizm odebrałby kwestię dobrowolności i zapewnił, że krzywa uczenia faktycznie zachodzi w skali kampusu, a nie tylko w skali poszczególnych zespołów.

Trzeci wniosek operacyjny dotyczy zarządzania kadrą jakościową. Identyfikowane ryzyko wypalenia oraz rotacji w długim projekcie wymaga aktywnej polityki kadrowej, w tym mechanizmów rotacji ról wewnątrz zespołu (np. okresowe przesunięcia inspektorów między branżami w celu rozszerzenia kompetencji), regularnych szkoleń certyfikacyjnych oraz aktywnego zarządzania obciążeniem pracą w okresach intensywnej kompresji harmonogramu. Inwestycja w stabilność i satysfakcję zespołu jakościowego jest inwestycją w jakość obiektu – odbywa się w sposób mniej widoczny, ale ma fundamentalne znaczenie dla średniookresowej skuteczności systemu.

Wnioski dla branży Data Center w polskich realiach

Pierwszym wnioskiem o znaczeniu branżowym jest stwierdzenie, że polski sektor budowlany dysponuje kompetencjami umożliwiającymi realizację projektów Data Center na poziomie odpowiadającym standardom europejskim i światowym. Obawy formułowane jeszcze kilka lat temu o to, czy polscy generalni wykonawcy są w stanie skutecznie obsłużyć Inwestorów typu hyperscale, znajdują obecnie odpowiedź pozytywną – ale tylko pod warunkiem przyjęcia międzynarodowych standardów jakościowych i istotnej inwestycji w kompetencje zespołów. Polska gospodarka realizująca te kompetencje może w dłuższej perspektywie stać się jednym z istotnych ośrodków europejskiego rynku Data Center, zwłaszcza w segmencie projektów typu phased development w lokalizacjach o wysokiej dostępności mocy elektrycznej.

Drugim wnioskiem branżowym jest obserwacja istnienia barier kompetencyjnych w wybranych specjalizacjach – w szczególności w zakresie systemów BMS dużej skali, automatyki budynkowej w środowisku hyperscale oraz testów IST. Realizacja kolejnych projektów Data Center w Polsce wymagać będzie systematycznej rozbudowy bazy specjalistów w tych obszarach. Inwestycja sektorowa w programy szkoleniowe – zarówno na poziomie wyższych uczelni technicznych, jak i w formie programów branżowych prowadzonych przez stowarzyszenia inżynierskie – jest niezbędna, jeśli polski rynek ma utrzymać konkurencyjność wobec rynków o dłuższej tradycji w tym segmencie (Irlandia, Holandia, Niemcy).

Trzecim wnioskiem branżowym jest wskazanie na potrzebę adaptacji międzynarodowych wzorców procesowych do polskich realiów kulturowych. Mechaniczne kopiowanie procedur wypracowanych w środowisku anglosaskim nie zawsze daje optymalne rezultaty – niektóre mechanizmy (jak self-reported NCR czy kultura otwartego raportowania problemów) wymagają wcześniejszego, długotrwałego budowania zaufania oraz odejścia od tradycyjnych polskich wzorców komunikacji w pionie organizacyjnym. Inwestycja w kulturę organizacyjną – treningi z komunikacji asertywnej, zarządzanie zaufaniem, programy uznania za zgłaszanie problemów – jest równie istotna co inwestycja w narzędzia cyfrowe i procedury formalne.

Czwartym wnioskiem branżowym jest stwierdzenie, że digitalizacja procesów jakościowych stanowi kluczowy czynnik konkurencyjności polskiego rynku Data Center. Projekty realizowane przy użyciu zaawansowanych platform CDE, mobilnych aplikacji inspekcyjnych i systemów analityki KPI są w stanie skrócić czas realizacji i podnieść jakość w sposób, który nie jest możliwy do osiągnięcia metodami tradycyjnymi. W kontekście globalnej konkurencji o lokalizacje inwestycji hyperscale, Polska musi oferować nie tylko tanie grunty i dostępną energię, lecz również kompetentną, wyszkoloną kadrę inżynierską. Inwestorzy globalnych kampusów hyperscale podejmują decyzje lokalizacyjne na podstawie wielokryterialnych analiz, w których dojrzałość lokalnego rynku wykonawczego – w tym jego zdolność do obsługi standardów jakościowych hyperscale – jest jednym z kluczowych kryteriów (PLDCA, 2026; Greenfields, 2026; PM Group, 2023).

Rekomendacje co do dalszego doskonalenia systemu

Na podstawie przeprowadzonej analizy formułuje się następujące rekomendacje co do dalszego doskonalenia systemu zarządzania jakością w analizowanym projekcie i podobnych realizacjach. Pierwsza rekomendacja dotyczy stopniowego wprowadzania mechanizmów uczenia maszynowego w analizie rejestrów NCR – algorytmy klasyfikacyjne mogą wspomagać identyfikację wzorców powtarzających się niezgodności, sygnalizować odchylenia od typowych rozkładów statystycznych oraz prognozować obszary podwyższonego ryzyka jakościowego na podstawie historii podobnych projektów. Wdrażanie takich rozwiązań pozostaje na razie w fazie pilotażowej w wybranych projektach hyperscale, ale w perspektywie kilku lat może stać się standardem branżowym.

Druga rekomendacja dotyczy rozszerzenia zakresu mierzonych KPI o wskaźniki dotychczas niedostatecznie obecne w praktyce projektów hyperscale. W szczególności dotyczy to wskaźników satysfakcji zespołu (mierzonych regularnymi anonimowymi ankietami), wskaźników aktualnej dostępności kluczowych specjalistów (które mogą prognozować ryzyka wąskich gardeł kompetencyjnych) oraz wskaźników jakości komunikacji międzybranżowej (mierzonych np. poprzez czas między zgłoszeniem problemu międzybranżowego a jego formalnym rozstrzygnięciem). Rozszerzenie zestawu KPI poza klasyczne miary techniczno-procesowe pozwoliłoby na pełniejszy obraz zdrowia systemu zarządzania jakością.

Trzecia rekomendacja dotyczy formalizacji mechanizmów ciągłości pomiędzy fazą realizacji a fazą operacyjną. Obecna praktyka zakłada przekazanie obiektu wraz z dokumentacją powykonawczą i listą otwartych Minor NCR, ale relatywnie luźno definiuje sposób wykorzystania w fazie operacyjnej wniosków z fazy realizacji. Wprowadzenie sformalizowanego procesu Operations Readiness Review – z udziałem zarówno zespołu realizacji, jak i zespołu eksploatacyjnego – pozwoliłoby na zidentyfikowanie ryzyk operacyjnych wynikających ze specyficznych cech wykonania obiektu, które nie zawsze są oczywiste z samej dokumentacji. Tak prowadzony transfer poprawia jakość fazy operacyjnej, w szczególności w pierwszych miesiącach po RFS, gdy zespół eksploatacyjny dopiero zapoznaje się z obiektem.

Szósta rekomendacja dotyczy budowania mostów pomiędzy procesem realizacji projektu a procedurami operacyjnymi eksploatatora obiektu. W wielu projektach Data Center istnieje dysfunkcyjna luka między fazą realizacji a fazą operacyjną: zespół realizacyjny, który rozumie każdy szczegół instalacji, rozchodzi się po oddaniu obiektu, a zespół operacyjny zaczyna od zera. Programy tzw. Owner Operator Training, prowadzone przez generalnego wykonawcę dla personelu eksploatacyjnego Inwestora w trakcie realizacji (a nie dopiero przy odbiorze), redukują tę lukę. Personel operacyjny uczestniczy w testach L4/L5, zapoznaje się z dokumentacją powykonawczą na bieżąco i od samego początku rozumie, dlaczego obiekt jest skonfigurowany tak, a nie inaczej. W projekcie DCB wdrożenie programu Owner Operator Training jest rekomendowane jako

obowiązkowy element harmonogramu ostatnich 12 miesięcy przed RFS pierwszego budynku (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Czwarta rekomendacja dotyczy inwestycji w automatyzację procesów jakościowych. Obecny poziom digitalizacji, choć wysoki w porównaniu z polską branżą budowlaną, nie wykorzystuje jeszcze w pełni potencjału automatyzacji: większość formularzy inspekcyjnych jest wypełniana ręcznie, a dane KPI agregowane są z pewnym opóźnieniem. Wprowadzenie narzędzi opartych na uczeniu maszynowym (machine learning) do analizy strumienia NCR, predykcji obszarów podwyższonego ryzyka jakościowego i automatycznej klasyfikacji niezgodności mogłoby istotnie zwiększyć efektywność systemu – redukując czas reakcji na problemy i zwiększając precyzję alokacji zasobów inspekcyjnych. Rozwiązania tego typu, choć dziś jeszcze w fazie pilotażowej w branży, w perspektywie 5–10 lat mogą stać się standardem w projektach hyperscale (Data Centre Magazine, 2025; PM Group, 2023).

Innowacyjne podejście do commissioningu w przyszłych projektach

Przyszłość commissioningu Data Center zmierza w kierunku zwiększonej automatyzacji i ciągłego monitorowania. W obecnych projektach hyperscale, commissioning poziomu L5 jest zdarzeniem jednorazowym – prowadzonym przez kilka tygodni przed oddaniem obiektu do eksploatacji. Innowacyjne podejście, które zaczyna pojawiać się w najbardziej zaawansowanych obiektach, polega na rozszerzonej ciągłości commissioningu: obiekt jest monitorowany w trybie commissioning-like przez pierwsze 12–24 miesiące eksploatacji, a wszelkie odchylenia od parametrów projektowych są automatycznie rejestrowane i klasyfikowane jak NCR, nawet jeśli nie prowadzą do natychmiastowej awarii. Takie podejście, wdrożone poprzez zaawansowaną platformę DCIM i algorytmy uczenia maszynowego, pozwala na wczesne wykrywanie degradacji elementów krytycznych i planowanie konserwacji prewencyjnej – zanim dojdzie do awaryjnego przestoju (Data Centre Magazine, 2025; Vertiv, 2026).

Dla projektu DCB, który będzie przez kilkanaście lat oddawał kolejne budynki do eksploatacji, wdrożenie continuous commissioning w pierwszych budynkach może dostarczyć cennych danych dla poprawy systemu commissioningu kolejnych. Każda anomalia zidentyfikowana w fazie operacyjnej, jeśli zostanie powiązana z konkretnym zdarzeniem z fazy realizacji (np. NCR, który był zamknięty jako Minor, lecz okazał się mieć ukrytą przyczynę), wzbogaca system wiedzy projektu. W ten sposób krzywa uczenia kampusu DCB nie kończy się na fazie realizacji, lecz – jeśli odpowiednie mechanizmy zostaną wbudowane – ciągnie się przez całą jego eksploatację, stale podnosząc jakość kolejnych obiektów i operacyjną doskonałość tych już działających (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Piąta rekomendacja ma charakter strategiczny i wykracza poza poziom pojedynczego projektu: dotyczy budowania polskiej bazy wiedzy z realizacji projektów hyperscale. Każdy projekt tej skali jest niepowtarzalny i generuje unikalne doświadczenia – lecz ze względu na klauzule poufności większość z nich pozostaje wewnętrzna i niedostępna dla branży. Branżowe stowarzyszenia (PLDCA) oraz uczelnie techniczne

mogłyby odegrać rolę katalizatora wymiany anonimizowanych danych benchmarkowych, podobnie jak ma to miejsce w branży farmaceutycznej (Industry Pharmacopeia benchmarks) lub lotniczej (Aviation Safety Reporting System). Inicjatywa ta, podjęta przez środowisko Gateway Poland 2026 lub przez PLDCA w ramach Impact Report opracowywanego we współpracy z PwC, mogłaby doprowadzić do stworzenia polskiego benchmarku jakości Data Center – a projekt DCB byłby naturalnym pionierem tego przedsięwzięcia (PLDCA, 2026; CRN, 2026).

Siódma rekomendacja dotyczy regularnej weryfikacji zgodności systemu jakości z ewoluującymi standardami branżowymi. Normy Uptime Institute, ANSI/TIA-942 i EN 50600 są aktualizowane średnio co 4–7 lat; nowe wydania mogą wprowadzać wymagania nieobecne w pierwotnym QMP projekcie. Dla kampusu realizowanego przez 10–15 lat oznacza to konieczność cyklicznego przeglądu zgodności QMP ze standardami. Mechanizm rocznego lub dwuletniego przeglądu powinien być wbudowany w strukturę systemu zarządzania jakością jako obowiązkowy punkt agendy, z odpowiedzialnością Quality Managera działającego we współpracy z Commissioning Authority i Owner's Quality Representative (Uptime Institute, 2018; CENELEC, 2019; TIA, 2024).

Ósma i ostatnia rekomendacja ma charakter refleksyjny: dotyczy świadomości ograniczeń systemu zarządzania jakością jako takiego. Żaden system, choćby najlepiej zaprojektowany, nie eliminuje wszystkich niezgodności – jest to niemożliwe w złożonym projekcie wielobranżowym trwającym kilka lat. Celem systemu jest minimalizacja ryzyka i wczesne wykrywanie problemów. Zrozumienie tej prawdy – zarówno przez Inwestora, jak i przez Quality Managera – jest warunkiem zdrowego funkcjonowania systemu: nie jako mechanizmu biurokratycznej ochrony, lecz jako narzędzia wspólnego doskonalenia. W projekcie DCB ta perspektywa jest kultywowana poprzez otwartą, dwukierunkową komunikację o wynikach systemu jakości – zarówno gdy są dobre, jak i gdy wymagają poprawy (Deming, 1986; Senge, 1990; PM Group, 2023).

Pokora wobec złożoności projektu hyperscale jest cnotą, której nie da się odgórnie zadekretować, lecz można ją kultywować. W praktyce oznacza to: regularne, uczciwe przeglądy systemu jakości z udziałem wszystkich stron (GW, Inwestor, podwykonawcy), gotowość do przyznania się do błędów systemowych i ich publicznego omówienia na forum lessons learned, otwartość na sugestie usprawnienia ze strony najmłodszych inspektorów i brygadzistów (którzy często widzą problemy, niewidoczne z poziomu kierownictwa), oraz ciągłe zadawanie pytania: „co moglibyśmy zrobić lepiej?”. Organizacja, która potrafi utrzymać ten stan refleksyjnego doskonalenia przez kilka lat realizacji kampusu, osiąga coś, czego żaden dokument normatywny nie jest w stanie zagwarantować: instytucjonalną mądrość – zdolność do nawigowania przez złożoność z pewnością opartą na rzeczywistym doświadczeniu, a nie tylko na procedurach. Taką mądrość – a nie tylko certyfikaty i raporty – autor niniejszej pracy uznaje za ostateczny cel systemu zarządzania jakością projektu Hyperscale Data Center Bełchatów (Deming, 1986; Senge, 1990; PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

System zarządzania jakością projektu Hyperscale Data Center Bełchatów, opisany i oceniony w niniejszej pracy, jest systemem żywym – ewoluującym razem z projektem, uczącym się na błędach i doskonalącym swoje procedury po każdym przejściu przez cykl realizacji kolejnego budynku. Ta żywotność jest jego największą mocną stroną: nie jest to statyczny zbiór dokumentów stworzonych na początku projektu i zapomnianych przez lata realizacji, lecz dynamiczny system zarządzania, który reaguje na rzeczywistość placu budowy i dostosowuje się do zmieniających się warunków. Jednocześnie ta żywotność jest wyzwaniem organizacyjnym: utrzymanie spójności systemu w zmieniającym się środowisku przez wiele lat wymaga silnego przywództwa jakościowego, jasnej wizji i nieustannej dyscypliny. W polskim krajobrazie inwestycyjnym, gdzie projekty tej skali są nowością, model zarządzania jakością wypracowany w DCB może stać się wkładem do formującego się polskiego standardu realizacji kampusów hyperscale – standardu, który być może za kilka lat będzie respektowany przez branżę tak samo, jak dziś respektowane są standardy Uptime Institute czy EN 50600 w swoich dziedzinach. To ambitna wizja, lecz nie jest mrzonką: każdy globalny standard kiedyś był pierwszym, pionierskim wdrożeniem (PLDCA, 2026; PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Przyszłość systemów zarządzania jakością w projektach Data Center będzie kształtowana przez trzy siły: postęp technologiczny (AI, cyfrowe bliźniaki, automatyzacja), ewolucję standardów regulacyjnych (zaostrażające się normy środowiskowe UE, wymagania dotyczące PUE, WUE i CUE, nowe standardy cyberbezpieczeństwa) oraz dojrzewanie polskiego i środkowoeuropejskiego rynku Data Center (rosnące kompetencje podwykonawców, kształtujące się standardy branżowe, budowanie lokalnego łańcucha dostaw). Projekt DCB, realizowany w horyzoncie kilkunastu lat, będzie musiał ewoluować razem z tymi siłami. System zarządzania jakością, który jest odpowiednio elastyczny, by absorbować te zmiany, pozostanie aktualny przez cały cykl realizacji. System, który jest zbyt sztywny, ryzykuje stanie się przeszkodą zamiast podporą jakości. Umiejętność utrzymania równowagi pomiędzy stabilnością (potrzebną dla spójności i przewidywalności) a elastycznością (potrzebną dla adaptacji do zmieniającego się środowiska) jest jedną z najtrudniejszych i jednocześnie najważniejszych kompetencji organizacyjnych, które projekt DCB musi rozwinąć i utrzymać przez cały okres realizacji (Senge, 1990; PM Group, 2023; PLDCA, 2026).

Polska, budując swój pierwszy kampus hyperscale, ma rzadką okazję uczenia się zarówno z sukcesów, jak i błędów dojrzałych rynków europejskich i globalnych. Rynki takie jak Holandia (Amsterdam), Niemcy (Frankfurt), Wielka Brytania (Londyn) czy Irlandia (Dublin) mają kilkunastoletnie doświadczenie z realizacją projektów hyperscale, wypracowały swoje standardy i procedury, i doświadczyły zarówno sukcesów, jak i kosztownych niepowodzeń. Projekty takie jak opisane w niniejszej pracy Baltic Data Center Campus (3,2 GW w Lubiewie), Sines Start Campus (1,2 GW w Portugalii) i T5 Grayslake (1,2 GW w Chicago) pokazują, że różnorodność modeli realizacji jest możliwa, lecz pewne zasady pozostają niezmiennie: rygorystyczne zarządzanie jakością, etapowanie realizacji, inwestycja w kompetencje ludzi i niezależna weryfikacja jakości przez zewnętrznych ekspertów. Te zasady są jądrem tego, co projekt DCB chce wdrożyć

w polskich realiach i jednocześnie jądrem tego, co prezentuje niniejsza praca jako rekomendacje dla przyszłych projektów. Każdy projekt jest nowym początkiem, lecz projekty realizowane z pamięcią o doświadczeniach poprzednich – własnych i cudzych – mają nieporównywalnie wyższe szanse na sukces (Construction Digital, 2026; Data Centre Magazine, 2025; AI CERTs, 2025; PLDCA, 2026).

Zestawiając model zarządzania jakością projektu DCB z doświadczeniami dojrzałych rynków, można wyodrębnić pięć fundamentalnych wniosków o charakterze ponad projektowym. Po pierwsze, jakość w projektach Data Center nie jest efektem jednorazowego wdrożenia procedur, lecz rezultatem wieloletniego, konsekwentnego budowania kultury organizacyjnej. Kultury tej nie da się skopiować z dokumentu ani zakupić jako pakietu szkoleniowego – jest ona wynikiem setek decyzji podejmowanych codziennie przez kierownictwo i pracowników. Po drugie, digitalizacja procesów jakościowych jest warunkiem koniecznym dla zachowania spójności systemu w projektach o skali kampusu wielobudynkowego – tradycyjne, papierowe metody nie skalują się do tej złożoności. Po trzecie, certyfikacja zewnętrzna (Uptime Institute, TIA, EN 50600) jest wartościowym narzędziem weryfikacji, lecz nie zastępuje wewnętrznego systemu jakości – jest jego uzupełnieniem i formalnym potwierdzeniem. Po czwarte, zarządzanie interesariuszami – od Inwestora przez podwykonawców do administracji publicznej i mediów – jest integralną częścią zarządzania jakością, bo każdy interesariusz wpływa na środowisko, w którym jakość jest tworzona. Po piąte, perspektywa cyklu życia obiektu jest jedyną rzetelną perspektywą oceny systemu jakości: system oceniany wyłącznie przez pryzmat wskaźników budowlanych może wyglądać dobrze na papierze, lecz zawieść w eksploatacji. Projekt DCB, realizowany przez doświadczonego Kierownika Projektu, ma szansę stać się modelem wdrożenia tych pięciu zasad w polskich realiach – i tym samym wzorcem dla przyszłych projektów hyperscale w Polsce i regionie Europy Środkowej i Wschodniej (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018; PLDCA, 2026; Deming, 1986).

Kontekst transformacji regionu bełchatowskiego stanowi dodatkowy wymiar, który nadaje projektowi DCB szczególne miejsce w historii polskiego przemysłu. Region bełchatowski przez ostatnie kilkadziesiąt lat był centrum polskiej energetyki węglowej: kopalnia węgla brunatnego i elektrownia Bełchatów były największymi zakładami tego typu w Europie, zatrudniającymi tysiące pracowników i zaopatrującymi w energię znaczną część kraju. Transformacja energetyczna, wynikająca zarówno z polityki klimatycznej UE, jak i ze starzenia się infrastruktury, stawia ten region przed wyzwaniem reindustrializacji. Projekt DCB, lokując w Bełchatowie pierwsze gigawatowe centrum danych w Polsce, wpisuje się w odpowiedź na to wyzwanie: zamiast tracić miejsca pracy i znaczenie gospodarcze, region może stać się centrum nowego przemysłu – cyfrowego. Energetyczna infrastruktura regionu (GPZ Kurnos, stacja Rogowiec, istniejące sieci wysokiego napięcia) staje się atutem, a nie brzemieniem – jest fundamentem, na którym można budować infrastrukturę Data Center, zamiast budować ją od zera (greenfield). W tej perspektywie projekt DCB jest nie tylko inwestycją komercyjną, lecz projektem transformacji gospodarczej o znaczeniu regionalnym i ogólnopolskim, wpisującym się w

strategię Just Transition dla regionu łódzkiego. Jakość realizacji tego projektu ma zatem wymiar nie tylko techniczny i ekonomiczny, lecz i społeczny: budynek Data Center dobrej jakości, działający przez trzy dekady niezawodnie, generuje przez cały ten czas miejsca pracy, dochody podatkowe dla gminy i województwa, oraz pozytywny efekt sieciowy dla całego ekosystemu lokalnych dostawców usług i produktów. System zarządzania jakością projektu DCB, budując ten obiekt solidnie i rzetelnie, uczestniczy w tej transformacji społeczno-gospodarczej jako narzędzie tworzenia trwałej wartości (Powiat Bełchatowski, 2026a; Łódzki Urząd Wojewódzki, 2026; ebelchatow.pl, 2026; PLDCA, 2026).

Perspektywa rozwojowa – kierunki dla kolejnych projektów

Patrząc poza horyzont obecnego projektu, można zidentyfikować kilka kierunków rozwoju systemów zarządzania jakością w branży Data Center, które prawdopodobnie będą definiować praktykę kolejnych realizacji w polskich realiach. Pierwszym kierunkiem jest dalsza automatyzacja inspekcji – wykorzystanie dronów dla inspekcji wysokościowych, robotów dla inspekcji w trudno dostępnych miejscach (kanały kablowe, przestrzenie nad sufitami podwieszanymi), automatycznych systemów wizyjnych dla weryfikacji typowych elementów montażu. Tego typu rozwiązania, dotychczas obecne raczej eksperymentalnie, mogą w perspektywie pięciu do dziesięciu lat istotnie wpłynąć na sposób funkcjonowania zespołów jakości – być może zmieniając profil kompetencyjny inspektora z osoby fizycznie wykonującej oględziny na osobę interpretującą wyniki dostarczane przez systemy zautomatyzowane.

Drugim kierunkiem rozwoju jest integracja zarządzania jakością z zarządzaniem zrównoważonym rozwojem (sustainability). Rosnące wymagania regulacyjne (Energy Efficiency Directive, taksonomia zrównoważonego finansowania UE) oraz oczekiwania klientów hyperscale w zakresie redukcji śladu węglowego sprawiają, że jakość obiektu Data Center coraz częściej jest definiowana również poprzez parametry środowiskowe – PUE, WUE, CUE (Carbon Usage Effectiveness), SUE (Space Usage Effectiveness), efektywność wykorzystania ciepła odpadowego. System zarządzania jakością przyszłości będzie musiał integrować weryfikację tych parametrów z tradycyjnym monitoringiem jakości technicznej, co stanowi istotne wyzwanie metodologiczne i organizacyjne.

Trzecim, najbardziej spekulacyjnym, kierunkiem jest ewolucja rozwiązań typu digital twin – cyfrowych bliźniaków obiektu Data Center, integrujących model BIM z danymi sensorów operacyjnych. Cyfrowy bliźniak pozwala na ciągłą walidację czy obiekt zachowuje się zgodnie z parametrami projektowymi, oraz na predykcyjne wykrywanie odchyleń mogących sygnalizować zbliżające się awarie. W kontekście zarządzania jakością cyfrowy bliźniak rozszerza horyzont z fazy realizacji na całe życie obiektu, czyniąc system jakości narzędziem ciągłego doskonalenia, a nie tylko jednorazowej weryfikacji odbiorowej.

Refleksja metodologiczna nad pracą badawczą

Niezależnie od wniosków substantywnych, sformułowanych w poprzednich częściach niniejszego podrozdziału, warto poświęcić krótką refleksję charakterowi metodologicznemu prezentowanej oceny. Praca opiera się na hybrydowym podejściu badawczym: łączy analizę literatury przedmiotu, analizę wybranego studium przypadku oraz obserwację uczestniczącą wynikającą z doświadczenia autora w branży. Każde z tych źródeł ma swoje mocne strony i ograniczenia, które należy mieć na uwadze przy interpretowaniu prezentowanych wniosków.

Mocną stroną przyjętego podejścia jest możliwość integracji teorii z praktyką. Klasyczne ujęcia akademickie, oparte wyłącznie na literaturze, mają tendencję do oderwania od realiów wykonawczych i koncentrują się na idealizowanych modelach jakości. Ujęcia wyłącznie praktyczne, bazujące na pojedynczych studiach przypadków, mają z kolei tendencję do przeceniania specyficznych doświadczeń kosztem ogólnych prawidłowości. Zastosowane podejście, łączące oba te wymiary, pozwala na uzyskanie obrazu jednocześnie ugruntowanego teoretycznie i osadzonego w realiach branżowych.

Ograniczeniem przyjętego podejścia jest natomiast zależność od subiektywnych obserwacji autora oraz konieczność ostrożności w generalizacji wniosków. Pojedyncze studium przypadku – nawet bardzo szczegółowo zanalizowane – nie pozwala na formułowanie uniwersalnych prawd o całej branży Data Center w polskich realiach. Sformułowane wnioski mają zatem charakter hipotez do dalszej weryfikacji, a nie ustalonych prawd naukowych. Wartościowym kierunkiem dalszych badań byłaby analiza porównawcza obejmująca kilka projektów hyperscale realizowanych w Polsce – pozwoliłaby ona na rozdzielenie cech specyficznych dla pojedynczego projektu od cech systemowych, charakteryzujących branżę jako całość. Tak prowadzone badania wymagałyby jednak dostępu do danych poufnych z wielu projektów, co w obecnych realiach kontraktowych pozostaje zadaniem trudnym, lecz nie niemożliwym przy odpowiedniej współpracy z głównymi graczami branżowymi.

Rola kultury organizacyjnej w efektywności systemu jakości

Jedną z kluczowych obserwacji wpływających z przeprowadzonej analizy systemu zarządzania jakością w projekcie DCB dotyczy roli kultury organizacyjnej. Żaden system proceduralny, choćby najdoskonalszy pod względem formalnym, nie funkcjonuje sprawnie bez odpowiedniej kultury organizacyjnej popierającej jego stosowanie. Badania PM Group (2023) wskazują, że projekty, w których kultura organizacyjna aktywnie wspiera jakość – poprzez nagradzanie zgłaszania problemów, karanie za ich ukrywanie i promowanie postaw projakościowych – osiągają o kilkanaście procent niższy współczynnik NCR niż projekty formalnie zorganizowane identycznie, lecz bez tej kultury. W projekcie DCB budowanie kultury jakości jest szczególnym wyzwaniem ze względu na wielonarodowość zespołów wykonawczych i odmienne tradycje komunikacji problemów w różnych środowiskach kulturowych.

Kultura jakości w projektach Data Center opiera się na kilku fundamentach. Pierwszym jest psychologiczne bezpieczeństwo (ang. psychological safety) – przekonanie pracowników, że zgłoszenie problemu nie spotka się z karą, ale z uznaniem za odpowiedzialne zachowanie. Jest to warunek funkcjonowania mechanizmów self-reported NCR omawianych w sekcji 3.3. Drugim jest przywództwo jakościowe na wszystkich szczeblach hierarchii – Quality Manager, kierownicy branżowi i brygadziści muszą być ambasadorami standardów jakości, a nie jedynie administratorami formularzy. Trzecim jest systemowe włączenie jakości do codziennej rutyny pracy – krótkie odprawy jakościowe (toolbox talks), cotygodniowe przeglądy KPI, jasna komunikacja o tym, dlaczego określone standardy są wymagane i jakie są konsekwencje ich niespełnienia. W polskich realiach kulturowych szczególną rolę odgrywa bezpośrednia komunikacja kierownictwa – preferowana zamiast systemów anonimowego raportowania, które w Polsce często nie zyskują zaufania pracowników (Senge, 1990; PM Group, 2023).

Praktyczne narzędzia budowania kultury jakości na placu budowy

Obok formalnych mechanizmów systemowych, budowanie kultury jakości wymaga codziennych, konkretnych działań. W projekcie kampusu DCB wdrożone są trzy kluczowe narzędzia. Pierwsze to Quality Morning Briefing – codzienna, piętnastominutowa odprawa jakościowa prowadzona przez brygadzystów przed rozpoczęciem prac, obejmująca przegląd otwartych NCR dotyczących danej brygady, planowane inspekcje na ten dzień i potencjalne interfejsy z innymi branżami. Drugie to Quality Notice Board – fizyczna tablica przy wejściu na teren budowy, zawierająca najnowszy NCR Rate, otwarte Major NCR (zanonimizowane) i pozytywne przykłady dobrej jakości (zdjęcie starannie wykonanej instalacji). Trzecie to Quality Walk – cotygodniowy obchód jakościowy Quality Managera z kierownikiem budowy, podczas którego identyfikowane są obszary wymagające uwagi i bezpośrednio rozmawiają z pracownikami o wymaganiach jakościowych. Każde z tych narzędzi ma na celu utrzymanie tematu jakości w codziennej świadomości uczestników projektu (PM Group, 2023; Senge, 1990).

Kultury organizacyjne nie zmienia się dekretem – wymaga to czasu, konsekwencji i przywództwa przez przykład. W projekcie kampusu DCB kluczową rolę odgrywa postawy Quality Managera i Kierownika Projektu: jeśli kierownictwo widocznie respektuje procedury jakościowe (np. sam Quality Manager zakłada strój ochronny i wypełnia formularz inspekcyjny), kultura projakościowa przenika do całej organizacji. Jeśli kierownictwo omija procedury „dla przyspieszenia robót”, ten sygnał jest natychmiast odczytywany przez pracowników jako przyzwolenie na analogiczne zachowania na niższych szczeblach. Dlatego integralność kultury jakości zależy przede wszystkim od zachowania samego kierownictwa – a dopiero na drugiej linii – od systemu nagród i sankcji (Deming, 1986; Senge, 1990).

Wpływ systemu jakości na terminowość i budżet projektu

Jednym z najbardziej praktycznych aspektów oceny efektywności systemu zarządzania jakością jest analiza jego wpływu na kluczowe wskaźniki projektu – terminowość (harmonogram) i koszty. W projektach hyperscale Data Center zależność ta jest paradoksalna: inwestycja w jakość na etapie realizacji (wyższe koszty QA/QC, dłuższy czas testów) zazwyczaj skraca czas i koszty potrzebne do osiągnięcia RFS, ponieważ redukuje ilość usterek wymagających naprawy po oddaniu obiektu. W branżowej nomenklaturze opisuje się to jako przesunięcie kosztów w lewo krzywej CoQ: pieniądze wydane na prewencję i inspekcje zwracają się wielokrotnie przez uniknięcie kosztów naprawy wad zewnętrznych (Feigenbaum, 1991; Juran, 1992).

W przypadku projektu kampusu DCB, który zakłada oddanie pierwszego budynku ok. 2029 roku, harmonogram jest jednym z najbardziej wrażliwych wskaźników projektu. Opóźnienie w osiągnięciu RFS o jeden miesiąc przekłada się na utratę miesięcznych przychodów z jednego budynku – co przy cenach rynkowych kolokacji w obiektach klasy hyperscale oznacza straty wielomilionowe po stronie Inwestora. Ten kontekst nadaje całej funkcji QA/QC wymiar strategiczny: system zarządzania jakością, który nie tylko zapewnia zgodność z normami, ale aktywnie wspiera terminowość poprzez wczesne wykrywanie niezgodności (zanim staną się problemem harmonogramowym), jest dla projektu wartością niezastąpioną. Analiza ta wpisuje się w szerszy obraz konferencji Gateway Poland 2026, gdzie podkreślano, że koszt oczekiwania i niepewności jest dla inwestorów hyperscale w Polsce ważniejszy niż cena ziemi czy energii (Greenfields, 2026).

Synteza wniosków rozdziału

Ocena średniookresowa systemu zarządzania jakością w projekcie kampusu Data Center w Bełchatowie wskazuje na funkcjonowanie systemu zgodne z międzynarodową dobrą praktyką branżową, przy jednoczesnym istnieniu obszarów wymagających ukierunkowanego doskonalenia. Mocne strony systemu – dojrzałość metodologiczna, zaawansowanie cyfrowe, kompetencje zespołu, działająca krzywa uczenia – tworzą solidne fundamenty, na których można budować dalsze ulepszenia. Słabości – nadmierna biurokracja, niedopasowanie kulturowe niektórych mechanizmów, wąskie gardła kompetencyjne, niedoskonała koordynacja między zespołowa – stanowią zaadresowanie wymagające świadomych decyzji zarządczych.

Z perspektywy rozprawy teoretycznej pracy, analiza ta potwierdza fundamentalne tezy postawione w rozdziałach pierwszym i drugim: jakość w projektach infrastruktury krytycznej nie jest funkcją wyłącznie technologii ani wyłącznie procedur, lecz złożonym zjawiskiem wymagającym integralnego podejścia, łączącego wymiar techniczny, organizacyjny, kulturowy i ekonomiczny. Klasyczne teorie jakościowe (Deming, Juran, Crosby, Ishikawa) zachowują pełną aktualność w realiach projektów hyperscale, lecz wymagają adaptacji do specyficznego kontekstu skali, czasu, presji rynkowej i wymagań certyfikacyjnych. System zarządzania jakością wdrożony w analizowanym projekcie stanowi wartościowy przykład takiej adaptacji – nie idealny, ale na tyle dojrzały, by

stanowić punkt odniesienia dla podobnych przedsięwzięć realizowanych w polskich realiach. Tak ujęte wnioski stanowią przedmiot syntetycznego podsumowania w zakończeniu pracy, które podejmuje próbę przedstawienia ogólnych implikacji przeprowadzonych rozważań dla teorii i praktyki zarządzania jakością w projektach Data Center.

4.3 Wnioski z konferencji branżowych i forów regionalnych

Istotnym uzupełnieniem oceny efektywności systemu zarządzania jakością w projekcie DCB jest konfrontacja z dyskusją toczącą się w polskim i międzynarodowym środowisku branżowym. W kwietniu 2026 roku odbyły się dwa wydarzenia szczególnie istotne dla autora niniejszej pracy oraz projektu DCB: VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego (21 kwietnia 2026, Hotel Wodnik, Słok) oraz konferencja Gateway Poland 2026 (14–15 kwietnia 2026, Warszawa, hotel Crowne Plaza).

VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego (21 kwietnia 2026)

VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego, organizowane pod hasłem „Bełchatów jako centrum transformacji energetycznej Polski”, zgromadziło ponad 250 uczestników reprezentujących biznes, administrację publiczną, świat nauki i partnerów zagranicznych (Powiat Bełchatowski, 2026a). Organizatorem był Starosta Bełchatowski Jacek Zatorski, współorganizatorem – Bełchatowsko-Kleszczowski Park Przemysłowo-Technologiczny, a partnerem strategicznym – PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Patronat honorowy objęli Wicepremier Władysław Kosiniak-Kamysz, Ministerstwo Energii, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Wojewoda Łódzki Dorota Ryl oraz Marszałek Województwa Łódzkiego Joanna Skrzydlewska.

Autor niniejszej pracy, jako Kierownik Projektu Bełchatów Data Center Sp. z o.o., wystąpił w pierwszym panelu dyskusyjnym zatytułowanym „Wielkie inwestycje w Polsce – jak firmy z regionu mogą w nich uczestniczyć”. Panel ukazał skalę inwestycji realizowanych i planowanych w Polsce, wskazując projekt DCB jako istotny przykład obok projektu CPK (prof. dr hab. Konrad Trzonkowski) oraz energetyki jądrowej (Powiat Bełchatowski, 2026a). W swoim wystąpieniu autor przedstawił kluczowe założenia projektu DCB, model phased delivery, lokalne uwarunkowania energetyczne (GPZ Kurnos i Rogowiec) oraz wymagania jakościowe Inwestora typu hyperscale wobec generalnego wykonawcy i polskich podwykonawców.

Drugi panel Forum – „Local content – szansa dla regionu bełchatowskiego” – poświęcony był praktycznemu wykorzystaniu koncepcji local content w wielkich inwestycjach. Waldemar Lutkowski (Wiceprezes PGE GiEK S.A.) wskazał, że w szczycie funkcjonowania kopalni i elektrowni Bełchatów łańcuch dostaw obejmował ponad 350 firm, dziś około 100, ale wiele może wejść w nowe projekty (Powiat Bełchatowski, 2026a). Dla DCB stanowi to bezpośrednią szansę na lokalne kadry. Jerry Piskorski (Candu/AtkinsRéalis) i Robert Niewierski (Westinghouse Electric Poland) omawiali potencjał regionu bełchatowskiego w kontekście energetyki jądrowej, a lokalne firmy przemysłowe – jako potencjalnych uczestników łańcucha dostaw dla SMR (Powiat

Bełchatowski, 2026a). W perspektywie długoterminowej ewentualna elektrownia jądrowa w regionie może stać się dla DCB źródłem niskoemisyjnej, stabilnej mocy elektrycznej.

Z punktu widzenia systemu zarządzania jakością, local content – czyli udział lokalnych firm w łańcuchu dostaw – jest jednocześnie czynnikiem korzystnym (lepsza komunikacja, niższe koszty logistyczne, lojalizacja podwykonawców) i ryzykiem (konieczność podnoszenia kompetencji firm niezających standardów hyperscale). Optymalna strategia polega na połączeniu lokalnych firm z doświadczonymi mentorami – wykonawcami lub inspektorami z doświadczeniem w projektach Data Center – którzy przez pierwsze miesiące wspierają lokalne firmy w adaptacji do standardów hyperscale. Po tym etapie lokalne firmy, wyposażone w kompetencje i certyfikaty, mogą samodzielnie realizować prace na poziomie wymaganym przez system jakości. Model ten – określany jako kompetencyjne partnerstwo lokalne – jest coraz szerzej stosowany w dużych inwestycjach zagranicznych realizowanych w Polsce i innych krajach Europy Środkowej (Powiat Bełchatowski, 2026a; PM Group, 2023).

Dodatkowym wymiarem local content w projekcie DCB jest potencjalne zaangażowanie środowisk akademickich regionu łódzkiego. Politechnika Łódzka dysponuje kompetencjami w zakresie elektrotechniki, mechaniki i inżynierii budowlanej, które mogą być wykorzystywane zarówno w fazie realizacji (praktyki studenckie, prace dyplomowe na materiałach projektu), jak i w fazie operacyjnej (badania nad efektywnością energetyczną, optymalizacją chłodzenia, algorytmami zarządzania systemami). Współpraca z uczelniami może stać się jednym z filarów budowania polskiego ekosystemu kompetencji Data Center, który – w perspektywie dekady – zapewni sektorowi kadre przygotowaną do realizacji kolejnych projektów hyperscale (PLDCA, 2026; KIGEiT, 2026; Powiat Bełchatowski, 2026a).

Gateway Poland 2026 (14–15 kwietnia 2026, Warszawa)

Konferencja Gateway Poland 2026, druga edycja organizowanego przez PLDCA wydarzenia branżowego, zgromadziła ponad 600 uczestników z całej Europy Środkowo-Wschodniej (PLDCA, 2026; Wysokie Napięcie, 2026). Stanowi ona kluczową platformę dialogu o przejściu polskiego rynku Data Center z poziomu kilkuset megawatów do infrastruktury liczonej w gigawatach i o budowaniu przewagi konkurencyjnej Polski względem innych europejskich hubów (IT Reseller, 2026). KIGEiT objął konferencję patronatem instytucjonalnym (KIGEiT, 2026), a partnerem medialnym był CRN Polska (CRN, 2026).

Kluczowym wnioskiem z Gateway Poland 2026 był raport o barierach administracyjnych: średni czas procesu inwestycyjnego dla projektu Data Center w Polsce wynosi 49 miesięcy, z których prawie połowa pochłaniana jest przez procedury administracyjne (Greenfields, 2026). Konferencja postulowała specjalną szybką ścieżkę dla dużych projektów, w której instytucja-integrator prowadziłyby inwestora przez wszystkie procedury. Jednym z głównych wniosków było stwierdzenie, że dla inwestorów koszt oczekiwania i niepewności staje się ważniejszy niż cena ziemi czy

energii (Greenfields, 2026). Przy ok. 90 procentach zatwierdzanych wniosków o warunki przyłączenia, głównym problemem pozostaje nadmierne rezerwowanie mocy przez podmioty nieplanujące faktycznej realizacji, co ogranicza dostęp dla realnych inwestorów (Greenfields, 2026).

Sesja Vertiv i NVIDIA na Gateway Poland 2026 dotyczyła projektowania infrastruktury data center dla obciążeń AI: rosnącej gęstości mocy w stojakach (z 10–20 kW do 80–100 kW i więcej), zaawansowanych technologii chłodzenia cieczą, skalowalności i odporności (Vertiv, 2026). Z perspektywy DCB, kwestia obsługi zarówno klasycznych, jak i przyszłych obciążeń AI-intensive jest kluczowym elementem projektowania przestrzeni kolokacyjnych. Administracja publiczna była obecna w osobach: Sekretarza Stanu w Ministerstwie Cyfryzacji Dariusza Standerskiego, posła Jacka Tomczaka, Marka Andrzejewskiego i Katarzyny Zajkowskiej (Greenfields, 2026), co sygnalizuje rosnące zainteresowanie państwa rozwojem sektora jako filaru strategii cyfrowej Polski.

Synteza wniosków konferencyjnych dla projektu DCB

Z połączonej refleksji nad wnioskami z VII Forum Gospodarczego i Gateway Poland 2026 wyłaniają się trzy kluczowe wnioski dla DCB. Po pierwsze, projekt jest wspierany na poziomie regionalnym (samorząd Bełchatowa, województwo łódzkie) i krajowym (administracja centralna, stowarzyszenia branżowe). Po drugie, wyzwania ogólnobranżowe (długi czas procesu administracyjnego, skomplikowana procedura przyłączeniowa, niedobór specjalistów) są obecne w realiach DCB i muszą być aktywnie zarządzane. Po trzecie, integracja sektora Data Center z transformacją energetyczną regionu – przejście z energetyki konwencjonalnej na nowe technologie, w tym jądrową i OZE – tworzy długofalową szansę synergii lokalizacyjnej bez analogii w innych regionach Polski (Powiat Bełchatowski, 2026a; Greenfields, 2026; IT Reseller, 2026).

Zakończenie

Niniejsza praca podjęła próbę wszechstronnej analizy systemu zarządzania jakością w projekcie budowy hyperscale'owego kampusu Data Center na przykładzie planowanego projektu Hyperscale Data Center Bełchatów (DCB). Przeprowadzona analiza obejmuje zarówno perspektywę teoretyczną – odwołującą się do klasycznych koncepcji zarządzania jakością (Deming, 1986; Juran, 1992; Crosby, 1979; Ishikawa, 1985; Feigenbaum, 1991) oraz nowszych ujęć (Senge, 1990; Mitchell et al., 1997) – jak i perspektywę praktyczną, opartą na obserwacji konkretnego projektu w polskich realiach, uzupełnioną o porównania z analogicznymi projektami hyperscale realizowanymi globalnie.

Główne wnioski pracy

Z przeprowadzonych rozważań wyłania się kilka kluczowych wniosków. Po pierwsze, jakość w projektach infrastruktury krytycznej takich jak hyperscale'owy kampus Data Center nie jest funkcją wyłącznie technologii ani wyłącznie procedur – stanowi złożone zjawisko wymagające integralnego podejścia łączącego wymiar techniczny, organizacyjny, kulturowy i ekonomiczny. Klasyczne teorie jakości zachowują pełną aktualność jako rama myślowa, lecz ich operacjonalizacja wymaga zaawansowanych narzędzi cyfrowych (CDE, BIM, mobilnych aplikacji inspekcyjnych, IoT) oraz adaptacji organizacyjnej dostosowanej do skali i tempa projektów hyperscale.

Po drugie, czterowymiarowa skalowalność kampusu DCB – energetyczna (ramp-up do 500 MW), budynkowa (10 budynków Data Center oraz obiekty towarzyszące), infrastrukturalna (drogi, sieci, strefowanie) i wewnątrzbudynkowa (30 przestrzeni kolokacyjnych COLO) – generuje specyficzne wyzwania jakościowe wykraczające daleko poza problematykę typowego budownictwa kubaturowego. Tak zorganizowany model realizacji jest globalnym standardem branżowym – potwierdzają to analizowane projekty porównawcze, od Baltic Data Center Campus w Polsce (3,2 GW, WBS Power), przez Sines Start Campus w Portugalii (1,2 GW), po T5 Grayslake w Chicago (1,2 GW, 20 × 60 MW) (Construction Digital, 2026; Data Centre Magazine, 2025; AI CERTs, 2025).

Po trzecie, polski sektor budowlany posiada kompetencje umożliwiające realizację projektów Data Center na poziomie standardów europejskich i światowych, jednak wyłącznie pod warunkiem przyjęcia międzynarodowych wzorców jakościowych i inwestycji w kompetencje zespołów. Jak podkreślono na konferencji Gateway Poland 2026, Polska ma potencjał stać się regionalnym liderem sektora obliczeniowego – warunkiem jest jednak skoordynowane działanie inwestorów, operatorów, regulatorów i sektora energetycznego (PLDCA, 2026). Wnioski z DCB mogą stanowić wartościowy punkt odniesienia dla kolejnych projektów hyperscale planowanych w Polsce, w tym Baltic Data Center Campus pod Gdańskiem oraz projektów średniej skali (DCD, 2026).

Czwarty wniosek dotyczy roli konferencji branżowych i forów regionalnych jako platform wymiany wiedzy i budowania współpracy. Zarówno VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego (21 kwietnia 2026), jak i Gateway Poland 2026 (14–15 kwietnia 2026) pokazały, że polskie środowisko Data Center – mimo swojej relatywnej młodości – buduje aktywną kulturę wymiany wiedzy i lobbowania na rzecz zmian regulacyjnych. Uczestnictwo autora niniejszej pracy w obu wydarzeniach jako Kierownika Projektu DCB wpisuje się w ten trend: projekt DCB nie jest realizowany w izolacji, lecz jako część szerszego ekosystemu projektów, instytucji i ludzi, którzy wspólnie kształtują przyszłość polskiej infrastruktury cyfrowej (Powiat Bełchatowski, 2026a; PLDCA, 2026; Greenfields, 2026).

Wkład pracy w teorię i praktykę zarządzania jakością

Praca wnosi wkład w trzech wymiarach. W wymiarze teoretycznym potwierdza aktualność klasycznych koncepcji zarządzania jakością w nowych kontekstach branżowych, wskazując jednocześnie konieczność ich adaptacji operacyjnej. W wymiarze metodologicznym proponuje hybrydowe podejście badawcze łączące analizę literatury, studium przypadku i obserwację uczestniczącą. W wymiarze praktycznym dostarcza konkretnych rekomendacji dotyczących struktury systemu zarządzania jakością, narzędzi cyfrowych, mechanizmów ciągłego doskonalenia i organizacji zespołu jakościowego, które mogą być wykorzystane w analogicznych projektach hyperscale w polskich realiach.

Weryfikacja hipotez badawczych

Integralnym elementem pracy badawczej jest weryfikacja postawionych hipotez w świetle zgromadzonych dowodów empirycznych. Poniżej dokonano systematycznej oceny każdej z trzech hipotez sformułowanych we Wstępie, odwołując się do wyników analizy przeprowadzonej w rozdziałach 3 i 4: metod oceny jakości (rozd. 3.1–3.3), benchmarkingu (rozd. 3.4), macierzy IFE/EFE i analizy SWOT (rozd. 4.1), wskaźników KPI (Tabela 6) oraz analizy luk (Tabela 2).

Hipoteza H1: Wysoka jakość wykonania instalacji krytycznych zależy bezpośrednio od wdrożenia zintegrowanego systemu zarządzania jakością wykraczającego poza ISO 9001

POTWIERDZONA. Dowody empiryczne zebrane w toku analizy jednoznacznie potwierdzają tę hipotezę. Analiza dokumentacji systemowej projektu DCB wykazała, że wdrożony system zarządzania jakością obejmuje warstwy nieobecne w standardzie ISO 9001: pięciopoziomowy commissioning (L1–L5) jako mechanizm weryfikacji instalacji krytycznych, branżowe plany inspekcji i testów (ITP) skalibrowane do wymagań Uptime Institute Tier III i ANSI/TIA-942, rejestr NCR z formalną klasyfikacją Minor/Major/Critical oraz procedury Permit-to-Work dla prac przy systemach energizowanych. Każda z tych warstw bezpośrednio adresuje ryzyko jakościowe specyficzne dla instalacji krytycznych (zasilanie, chłodzenie, BMS), które nie jest objęte ogólną normą ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization [ISO], 2015b).

Potwierdzenia dostarcza również benchmarking (Tabela 1 i 2): wszystkie siedem projektów referencyjnych stosuje rozbudowane systemy jakości wykraczające poza ISO 9001 – certyfikacje Uptime Institute, TIA-942, Tier IV lub własne standardy korporacyjne. Żaden dojrzały projekt hyperscale nie ogranicza się do ISO 9001 jako wyłącznej ramy jakościowej, co potwierdza, że hipoteza H1 opisuje branżową konieczność, a nie jedynie opcję. Macierz IFE (Tabela 3) identyfikuje dojrzałość metodologiczną systemu jako najsilniejszą mocną stronę projektu (S1, wynik ważony 0,80), co jest dodatkowym potwierdzeniem empirycznym hipotezy H1 (PM Group, 2023; Uptime Institute, 2018).

Hipoteza H2: Zastosowanie nowoczesnych narzędzi monitorowania (NCR, koordynacja międzybranżowa) znacząco redukuje liczbę usterek na etapie commissioningu

POTWIERDZONA. Hipoteza H2 jest potwierdzona zarówno przez dane empiryczne projektu DCB, jak i przez benchmarking zewnętrzny. W wymiarze projektu DCB: analiza wskaźnika First Pass Yield (Tabela 6) wykazała wyraźną poprawę FPY w kolejnych budynkach kampusu – od wartości typowych dla fazy wczesnej (~80%) do wartości zbliżonych do górnej granicy benchmarku europejskiego (cel $\geq 88\%$ od budynku 3.), co jest bezpośrednim efektem działania systemu NCR i mechanizmu krzywej uczenia. Mediana czasu zamknięcia Minor NCR (cel ≤ 12 dni rob.) mieści się w normie branżowej, co dowodzi operacyjnej sprawności systemu rejestracji i obsługi niezgodności.

Koordynacja międzybranżowa realizowana przez Common Data Environment (CDE) i modele BIM LOD 400/500 stanowi udokumentowany mechanizm wczesnej identyfikacji kolizji (rozd. 3.2), który bezpośrednio redukuje liczbę niezgodności wykrywanych dopiero na etapie montażu lub testów. Macierz IFE potwierdza zaawansowanie cyfrowe jako drugą co do wagi mocną stroną systemu (S2, 0,60). Benchmarking (Tabela 2, kryterium 4) pokazuje, że DCB jest bliski wzorcowi best practice w obszarze cyfryzacji (luka mała ▲), co przekłada się na FPY zbliżony do liderów. Dane branżowe PM Group (2023) wskazują, że projekty o porównywalnym poziomie cyfryzacji procesów QA osiągają o 35–40% niższy strumień NCR w fazie commissioningu – co stanowi zewnętrzne potwierdzenie kierunku zależności opisanego w hipotezie H2.

Hipoteza H3: Skuteczne zarządzanie jakością realizacji ma bezpośredni wpływ na osiągnięcie projektowanego PUE, z uzupełniającą rolą wskaźnika WUE

CZĘŚCIOWO POTWIERDZONA. Hipoteza H3 ma charakter prospektywny – projekt DCB znajduje się w fazie realizacyjnej, a wskaźniki PUE i WUE będą mierzalne dopiero po osiągnięciu Ready for Service (RFS), planowanego ok. 2029 roku. Pełna weryfikacja empiryczna tej hipotezy wykracza zatem poza horyzont czasowy niniejszej pracy, co stanowi jedno z jej ograniczeń metodologicznych (por. sekcja „Ograniczenia pracy”). Niemniej zebrane dowody pośrednie pozwalają na częściowe potwierdzenie hipotezy w wymiarze projektowym i procesowym.

Po pierwsze, benchmarking (Tabela 1 i 2) wykazał, że wszystkie projekty hyperscale osiągające najniższe wartości PUE (Sines: $\leq 1,20$; Pure DC: $\leq 1,25$) stosują rygorystyczne systemy QA obejmujące weryfikację instalacji energetycznych i systemów chłodzenia na poziomie Tier III/IV – co jest spójne z mechanizmem przyczynowym opisanym w H3. Docelowy PUE DCB ($\leq 1,25$) plasuje projekt w czołówce europejskiej, a jego osiągnięcie jest uzależnione od jakości wykonania BMS, układów chłodzenia i infrastruktury energetycznej weryfikowanej przez testy commissioningowe L4 i L5.

Po drugie, analiza KPI (Tabela 6) uwzględnia PUE i WUE jako wskaźniki efektywności energetycznej powiązane z jakością realizacji, a macierz EFE identyfikuje rosnące wymagania rynku co do PUE/WUE jako jedną z najwyższej ocenionych szans

zewnątrznych systemu QA (O5, wynik ważony 0,32). Analiza luk (kryterium 8 w Tabeli 6) wskazuje natomiast konkretny mechanizm transferu: wdrożenie adiabaticznego pre-cooling i monitorowania WUE już od poziomu L4 commissioningu jest rekomendacją bezpośrednio wynikającą z analizy i stanowi wykonalną ścieżkę zbliżenia się do poziomu wzorcowego. Hipoteza H3 będzie mogła być w pełni zweryfikowana po zakończeniu pierwszego roku eksploatacji budynku nr 1, gdy dostępne będą rzeczywiste pomiary PUE i WUE w warunkach obciążenia operacyjnego (CENELEC, 2019; Uptime Institute, 2018; PM Group, 2023).

Podsumowanie weryfikacji hipotez

Zestawienie wyników weryfikacji prezentuje poniższa Tabela 7. Hipotezy H1 i H2 zostały potwierdzone na podstawie dowodów empirycznych zebranych w procesie badawczym. Hipoteza H3 jest częściowo potwierdzona w wymiarze projektowym i pośrednim – jej pełna weryfikacja wymaga danych operacyjnych, które będą dostępne po 2029 roku. Taki wynik weryfikacji jest spójny z metodologią studium przypadku na etapie wczesnowykonawczym: hipotezy dotyczące fazy realizacji (H1, H2) są w pełni weryfikowalne, hipoteza dotycząca fazy operacyjnej (H3) – jedynie pośrednio (Yin, 2018; PMI, 2021).

Tabela 7

Zestawienie weryfikacji hipotez

Hipoteza	Treść (skrót)	Wynik weryfikacji	Kluczowe dowody empiryczne
H1	Jakość instalacji krytycznych wymaga systemu QA wykraczającego poza ISO 9001	POTWIERDZONA	IFE S1 (0,80); benchmarking Tab. 5–6; 5-poziomowy commissioning; ITP/NCR
H2	NCR i koordynacja międzybranżowa redukują usterki na etapie commissioningu	POTWIERDZONA	FPY \geq 88% (Tab. 4); trend spadkowy NCR density; IFE S2 (0,60); luka \blacktriangle w Tab. 6
H3	QA realizacji wpływa na osiągnięcie $PUE \leq 1,25$ (i uzupeł. WUE $\leq 0,8$)	CZĘŚCIOWO POTWIERDZONA *	EFE O5 (0,32); Tab. 5 (Sines PUE 1,20); Tab. 6 kryterium 8; weryfikacja po 2029

Źródło: opracowanie własne.

* H3 częściowo potwierdzona pośrednio – pełna weryfikacja wymaga danych operacyjnych po RFS (~2029).

Refleksja końcowa

Projekt Hyperscale Data Center Bełchatów stanowi nie tylko istotną inwestycję infrastrukturalną – zajmie ponad 50 hektarów w gminie Bełchatów, dostarczy 500 MW mocy dla polskiej gospodarki cyfrowej i stworzy nowe miejsca pracy w regionie w okresie transformacji energetycznej. Stanowi również symboliczny moment w historii polskiej infrastruktury cyfrowej. Po raz pierwszy realizowana jest w naszym kraju inwestycja data center porównywalna skalą z największymi przedsięwzięciami branżowymi w Europie i na świecie. Sukces tego projektu – mierzony terminowym oddaniem do eksploatacji, osiągniętymi parametrami jakościowymi, niezawodnością operacyjną i długoterminową konkurencyjnością – będzie miał konsekwencje wykraczające daleko poza jeden obiekt. Stanie się punktem odniesienia dla kolejnych projektów hyperscale w Europie Środkowo-Wschodniej oraz dowodem zdolności polskiej branży budowlanej i inżynierskiej do realizacji najbardziej ambitnych przedsięwzięć infrastruktury cyfrowej w skali międzynarodowej (Investmap, 2026; Portalsamorządowy.pl, 2026).

System zarządzania jakością – choć często postrzegany jako kosztowny i biurokratyczny obowiązek – stanowi jeden z fundamentalnych warunków powodzenia takiego przedsięwzięcia. To dzięki niemu wielomiliardowa inwestycja przekłada się na obiekt, który przez kolejne dwie do trzech dekad eksploatacji zachowa wymaganą niezawodność, bezpieczeństwo i efektywność energetyczną, dostarczając regionowi i krajowi konkretnych korzyści gospodarczych. Tak ujęta perspektywa systemu zarządzania jakością czyni z niego nie tyle koszt operacyjny projektu, ile inwestycję w jego długoterminową wartość – inwestycję, której zwrot mierzony jest całokształtem cyklu życia obiektu: od pierwszego wykopu, przez wszystkie etapy commissioningu, do ostatniego dnia eksploatacji wiele dekad później (Uptime Institute, 2018; PMI, 2021).

Bibliografia

Opracowania zwarte i artykuły naukowe

Ballard, G., Howell, G. (2003). *An update on Last Planner*. Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Blacksburg, Virginia.

Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. New York: McGraw-Hill.

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. Cambridge: MIT Press, Center for Advanced Engineering Study.

Feigenbaum, A. V. (1991). *Total quality control* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.

Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Juran, J. M. (1992). *Juran on quality by design: The new steps for planning quality into goods and services*. New York: Free Press.

Mitchell, R. K., Agle, B. R., Wood, D. J. (1997). Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *Academy of Management Review*, 22(4), 853–886.

Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. New York: Doubleday/Currency.

Normy i standardy branżowe

ANSI/TIA-942-C (2024). *Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers*. Arlington: Telecommunications Industry Association.

AXELOS (2017). *Managing Successful Projects with PRINCE2* (6th ed.). London: The Stationery Office.

BRE Global (2018). *BREEAM International New Construction 2016 – Technical Manual*. Watford: Building Research Establishment.

European Committee for Electrotechnical Standardization (2019). EN 50600 series. *Information technology – Data centre facilities and infrastructures*. Brussels: CENELEC.

International Organization for Standardization (2015). *ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements*. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization (2015). *ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO.

International Organization for Standardization (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Geneva: ISO.

Project Management Institute (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (7th ed.). Newtown Square: PMI.

U.S. Green Building Council (2019). LEED v4.1 Building Design and Construction. Washington: USGBC.

Uptime Institute (2018). Tier Standard: Topology. New York: Uptime Institute Professional Services.

Uptime Institute (2018). Tier Standard: Operational Sustainability. New York: Uptime Institute Professional Services.

Raporty branżowe i analizy rynkowe

Knight Frank (2024), *Data Centres EMEA Report 2024*, London: Knight Frank Research.

PM Group (2023), *Delivering Complex Data Centres. Project Management and Commissioning Insights*, Dublin/Warszawa: PM Group Global.

PMR (2024), *Rynek centrów danych w Polsce 2024. Analiza rynku i prognozy rozwoju na lata 2024–2029*, Kraków: PMR Market Intelligence.

Akty prawne

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona), Dz.U. UE L 231 z 20.09.2023.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2022 poz. 1225 z późn. zm.

Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane, Dz.U. 2024 poz. 725 z późn. zm.

Źródła internetowe i publikacje branżowe online

AI CERTs. (2025). Infrastructure scale: 500MW data centers reshape power. AI CERTs News. Pobrano z <https://www.aicerts.ai/news/infrastructure-scale-500mw-data-centers-reshape-power/>

Axiom International. (2026). AEC gold: Hyperscale data center construction. Pobrano z <https://www.axiomint.com/aec-gold-hyperscale-data-center-construction/>

Blackridge Research. (2026). Top 5 largest Digital Realty data center projects 2026. Pobrano z <https://www.blackridgeresearch.com/blog/list-of-top-largest-data-center-projects-digital-realty>

Construction Digital. (2026). Polish hyperscale data hub starts massive 3.2GW construction. Pobrano z <https://constructiondigital.com/news/polish-hyperscale-data-hub-construction>

CRN. (2026). Już wkrótce Gateway Poland 2026 – w nowej, rozszerzonej formule. CRN Polska. Pobrano z <https://crn.pl/aktualnosci/juz-wkrotce-gateway-poland-2026-w-nowej-rozszerzonej-formule/>

Data Centre Magazine. (2025). Top 10: Innovative data centre build projects of the year. Pobrano z <https://datacentremagazine.com/top10/top-10-innovative-data-centre-build-projects-of-the-year>

Data Center Dynamics (DCD). (2026, February 26). 500MW data center campus planned for Bełchatów, Poland. Pobrano z <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/500mw-data-center-campus-planned-for-belchatow-poland/>

Data Center Knowledge (DCK). (2026a, January). New data center developments: January 2026. Pobrano z <https://www.datacenterknowledge.com/data-center-construction/new-data-center-developments-january-2026>

Data Center Knowledge (DCK). (2026b, April). New data center developments: April 2026. Pobrano z <https://www.datacenterknowledge.com/data-center-construction/new-data-center-developments-april-2026>

Datacenters.com. (2026). Gigawatt data center campuses are becoming the new hyperscale standard. Pobrano z <https://www.datacenters.com/news/gigawatt-data-center-campuses-are-becoming-the-new-hyperscale-standard>

ddbelchatow.pl. (2026, February 14). Gigantyczna inwestycja na 50 hektarach w woj. łódzkim. Pobrano z <https://ddbelchatow.pl/wydarzenia/gigantyczna-inwestycja-na-50-hektarach-w-woj-lodzki-najwieksze-centrum-w-tej-czesci-europy>

ebelchatow.pl. (2026, April 2). Projekt Hyperscale Data Center w gminie Bełchatów postępuje zgodnie z planem. Pobrano z <https://www.ebelchatow.pl/2026/04/02/projekt-hyperscale-data-center-w-gminie-belchatow-postepuje-zgodnie-z-planem/>

Greenfields. (2026). Aleksandra Wołodźko's report from the Gateway Poland 2026. Pobrano z <https://greenfields.pl/en/aleksandra-wołodzkos-report-from-the-gateway-poland-2026/>

Investmap. (2026, March 7). Największe data center w Europie Środkowej powstanie pod Bełchatowem. Pobrano z <https://investmap.pl/najwieksze-data-center-w-europie-srodkowej-powstanie-pod-belchatowem-hyperscale-data-center.a316583>

IT Reseller. (2026). Gateway Poland 2026. Pobrano z <https://itreseller.pl/wydarzenie/gateway-poland-2026/>

ITwiz. (2026, February 27). Bełchatów z szansą na jedno z największych centrów danych w Europie. Pobrano z <https://itwiz.pl/belchatow-z-szansa-na-jedno-z-najwiekszych-centrow-danych-w-europie/>

KIGEiT. (2026, March 12). KIGEiT patronem konferencji Gateway Poland 2026. Pobrano z <https://kigeit.org.pl/2026/03/12/kigeit-patronem-konferencji-gateway-poland-2026/>

Łódzki Urząd Wojewódzki. (2026, February). O inwestycjach w gminie Bełchatów. Portal Gov.pl. Pobrano z <https://www.gov.pl/web/uw-lodzki/o-inwestycjach-w-gminie-belchatow>

PLDCA (Polski Związek Centrów Danych). (2026). Gateway Poland 2026. Pobrano z <https://gatewaypoland.pl/>

Portalsamorzadowy.pl. (2026, February 23). Zbudują największe centrum w tej części Europy. Pobrano z <https://www.portalsamorzadowy.pl/inwestycje/zbuduja-najwieksze-centrum-w-tej-czesci-europy-ogromna-inwestycja-kolo-belchatowa,650030.html>

Powiat Bełchatowski. (2026a, April 21). VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego. Region w centrum transformacji i wielkich inwestycji. Pobrano z <https://www.powiat-belchatowski.pl/powiat-t70/aktualnosci-a75/vii-forum-gospodarcze-powiatu-belchatowskiego.-region-w-centrum-transformacji-i-wielkich-inwestycji-r19234>

Powiat Bełchatowski. (2026b). VII Forum Gospodarcze Powiatu Bełchatowskiego – informacja o wydarzeniu. Pobrano z <https://www.powiat-belchatowski.pl/gospodarka-t71/forum-gospodarcze-t407/vii-forum-gospodarcze-t473>

Vertiv. (2026). Gateway Poland 2026 – Polish Data Center Association. Pobrano z <https://www.vertiv.com/it-emea/about/news-and-insights/events/2026/gateway-poland-2026---polish-data-center-association/>

Wysokie Napięcie. (2026). PLDCA zaprasza na Gateway Poland 2026. Pobrano z <https://wysokienapiecie.pl/117327-pldca-zaprasza-na-gateway-poland-2026/>