

dr Anna M. ZARZYCKA

Szkoła Główna Handlowa  
w Warszawie  
Kolegium Nauka  
o Przedsiębiorstwie  
azarzyc@sgh.waw.pl  
ORCID: 0000-0002-1726-5158

# Cyfrowe bliźniaki a funkcjonowanie przedsiębiorstwa w turbulentnym otoczeniu

## Digital twins and the operation of the enterprise in a turbulent environment

**Słowa kluczowe:**  
przedsiębiorstwo, cyfrowe  
bliźniaki, otoczenie

**Streszczenie:** Cyfrowe bliźniaki (CB) są obecnie ważnym trendem technologicznym, jednak jeszcze niedostatecznie rozpoznany w literaturze przedmiotu. Celem niniejszego artykułu jest identyfikacja tego zjawiska, obszarów jego zastosowania oraz wpływu na funkcjonowanie przedsiębiorstwa w turbulentnym otoczeniu. Cel ten został zrealizowany za pomocą analizy literatury, baz danych i zasobów elektronicznych oraz studium przypadku. Technologia cyfrowych bliźniaków, będąca cyfrowym odpowiednikiem rzeczy, obiektów i procesów ze świata realnego, znajduje zastosowanie głównie w procesie produkcji, ale także w obszarze projektowania i testowania produktów, dystrybucji oraz obsłudze klienta. Rozważania potwierdzają tezę o pozytywnym wpływie CB na funkcjonowanie przedsiębiorstwa w szybko zmieniającym się otoczeniu poprzez zwiększenie elastyczności strategicznej.

**Keywords:**  
enterprise, digital twins,  
environment

**Abstract:** Digital twins (DT) are currently an important technological trend, but still insufficiently recognized in the literature on the subject. The aim of this article is to identify this phenomenon, the areas of its application and the impact on the operation of the company in a turbulent environment. This goal was achieved through the analysis of literature, databases and electronic resources as well as a case study. The technology of digital twins, which is the digital equivalent of things, objects and processes from the real world, is used mainly in the production process, but also in the areas of product design and testing, distribution and customer service. The considerations confirm the thesis about the positive impact of DT on the functioning of the company in a rapidly changing environment by increasing strategic flexibility.

**JEL:**  
G34, M14, Q01, Q56

## Wprowadzenie

Problem turbulencji otoczenia, czyli zmian zachodzących coraz szybciej oraz coraz bardziej nieprzewidywalnych nabiera ostatnio szczególnego znaczenia w realiach najpierw pandemii COVID-19, a następnie wojny w Ukrainie. To powoduje, że przedsiębiorstwa stają wobec szczególnych wyzwań związanych już nie tylko z ich rozwojem, co z przetrwaniem. Postęp technologiczny i cyfryzacja stwarzają innowacyjne modele i instrumenty pozwalające zmierzyć się podmiotom z nowymi uwarunkowaniami. Jednym z takich modeli są tzw. cyfrowe bliźniaki (bazujące m.in. na sensoryce, internecie rzeczy i sztucznej inteligencji) jeszcze niedostatecznie rozpoznane w literaturze przedmiotu. Stąd też celem badawczym niniejszego artykułu jest identyfikacja tego zjawiska, obszarów jego zastosowania oraz wpływu na funkcjonowanie przedsiębiorstwa w turbulentnym otoczeniu.

Problem badawczy dotyczy nowych rozwiązań technologicznych, umożliwiających przedsiębiorstwu przygotowanie się do zmian w otoczeniu poprzez modyfikację strategii na podstawie zebranych danych i symulacji. Teza zaś została sformułowana następująco: nowy model łączący świat cyfrowy z fizycznym – cyfrowe bliźniaki zwiększa elastyczność strategiczną przedsiębiorstwa w warunkach turbulencji otoczenia. Metodą badawczą służącą do realizacji celu badania oraz do rozwiązania problemu badawczego, a także do weryfikacji tezy była analiza literatury, baz danych i zasobów elektronicznych oraz studium przypadku.

## Cyfrowe bliźniaki jako ważny trend technologiczny

Po takich technologiach jak Big Data czy sztuczna inteligencja (*Artificial Intelligence*) pojawiła się kolejna obiecująca – tzw. cyfrowe bliźniaki (*Digital Twins*), która jest zalecana, budowana i sprzedawana przez różne firmy informatyczne [Helbing, Argota, 2022]. Accenture, IBM, Gartner i wiele innych firm wymieniają koncepcję cyfrowych bliźniaków jako jeden z ważniejszych trendów technologicznych [Tech Vision, 2021, Mazurek, 2022].

Idea cyfrowej technologii bliźniaczej została po raz pierwszy zidentyfikowana w 1991 r. przez D. Gelerntera, który zdefiniował ją wówczas jako „lustrzane światy” (*Mirror worlds*), co oznacza stopniowe zastępowanie rzeczywistości przez imitację za pomocą odpowiedniego oprogramowania komputerowego [Gelernter, 1991]. Wątek ten był kontynuowany przez innych autorów, którzy użyli sformułowania „lustrzany świat” oraz „rzeczywistość mieszana”, nawiązując do koncepcji rozszerzonej rzeczywistości [Ricci i in., 2015], czyli połączenia obrazu świata rzeczywistego z wirtualnymi elementami stworzonymi za pomocą technologii informatycznej [Lis, 2020].

Za prekursora definicji cyfrowych bliźniaków (CB) uznaje się M. Grievesa [2002]. Od tamtego czasu literatura przedmiotu, głównie zagraniczna, doczekała się kolejnych definicji tego zjawiska, co zaprezentowano w tabeli 1.

**Tabela 1** Przegląd definicji cyfrowych bliźniaków

Autor	Definicja
M. Grieves [2002]	Cyfrowy konstrukt fizycznego systemu stworzony jako podmiot samodzielny i powiązany z jego fizycznym odpowiednikiem
S. Haag, R. Anderl [2018]	Zbiór wszystkich cyfrowych artefaktów <sup>1</sup> gromadzonych podczas rozwoju produktu powiązanych z danymi generowanymi w trakcie jego użytkowania
E.H. Glaessgen, D.S. Stargel [2012]	Zintegrowana symulacja złożonego produktu wykorzystująca najlepsze dostępne modele fizyczne, aktualizację czujników itp., aby odzwierciedlić życie odpowiadającego mu bliźniaka
E. Negri, L. Fumagalli, M. Macchi [2017]	Lustrzane odbicie produktu z wykorzystaniem technologii, które pozwalają procesom (m.in. wytwarzania) na reprodukcję w wirtualnej przestrzeni ( <i>twinning</i> ) w celu uzyskania tych samych korzyści
T. Kuhn [2017]	Cyfrowa reprezentacja rzeczy z realnego świata

<sup>1</sup> Łac. *arte factum* – sztucznie wytworzone [Słownik wyrazów obcych, 2002, s. 77].

Źródło: opracowanie własne.

Powyższe definicje wskazują na istotę cyfrowych bliźniaków, jaką jest zacieranie się granic między cyfrowym a fizycznym światem, gdyż każdy przedmiot może posiadać swój cyfrowy odpowiednik. Tworzenie cyfrowych bliźniaków stało się możliwe dzięki rozwojowi sensoryki i internetu rzeczy, który zapewnia pozyskiwanie i przesyłanie danych w ilościach liczonych w exabajtach, co pozwala generować w czasie rzeczywistym informacje zwrotne między obiektami fizycznymi i ich cyfrowymi replikami. W tym obszarze coraz częściej wykorzystuje się sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe [Mazurek, 2019], bowiem CB to nie tylko różnego rodzaju informacje, ale również algorytmy.

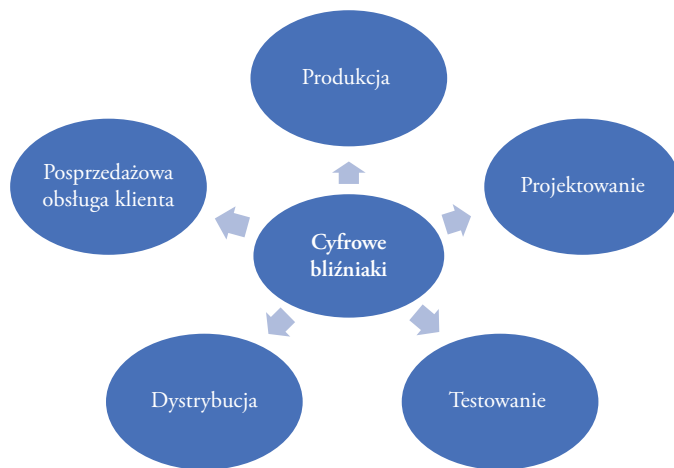
W literaturze przedmiotu wskazuje się na kilka typów cyfrowych bliźniaków ze względu na zakres zastosowań:

- bliźniaki komponentów – podstawowa jednostka CB,
- bliźniaki zasobów – odnoszą się do wydajności współzależnych komponentów,
- bliźniaki systemowe lub jednostkowe – pokazują jak różne zasoby łączą się tworząc cały funkcjonujący system,
- bliźniaki procesów – ujawniają, w jaki sposób systemy współpracują ze sobą, tworząc cały zakład produkcyjny [IBM, 2022].

## Obszary zastosowań CB

Technologia cyfrowych bliźniaków najczęściej wdrażana jest w sferze produkcji, ale z czasem pojawiają się nowe obszary, w których może ona wspierać funkcjonowanie przedsiębiorstw w obliczu nowych wyzwań (Rysunek 1).

**Rysunek 1** Obszary zastosowań Cyfrowych Bliźniaków



Źródło: opracowanie własne.

W przypadku przedsiębiorstw produkcyjnych cyfrowe bliźniaki znajdują zastosowanie na kilku etapach: wyboru dostawcy, planowania produkcji, projektowania produktów, samego procesu produkcji, testowania nowego produktu oraz posprzedażowej obsługi klienta.

Dzięki CB producent może sprawdzić, czy oferowane przez danego dostawcę części posiadają wymagane właściwości jeszcze przed ich wyprodukowaniem. Następnie ma on możliwość wirtualnego planowania produkcji, gdyż wszystkie jej etapy są przechowywane w cyfrowym bliźniaku. Jeszcze przed rozpoczęciem produkcji linie produkcyjne poddawane są próbom w świecie cyfrowym i tam też optymalizowane [Kuhn, 2017; Kritzinger i in., 2018]. Kolejny etap to testowanie nowych produktów przed wprowadzeniem ich do seryjnej produkcji i użytkowania.

Tworzenie cyfrowej kopii produktu wprowadzanego na rynek może być bardzo pomocne na etapie posprzedażowej obsługi klienta, ponieważ możliwe jest przewidywanie, jak dane urządzenie będzie działać w ciągu np. roku od wyprodukowania, jaki serwis i działania konserwacyjne będą potrzebne, jaka część może się zepsuć lub wymagać wymiany. W tym przypadku zastosowanie znajdują naprawy zdalne, polegające na odna-

lezeniu bliźniaka produktu zakupionego przez klienta, praktycznie natychmiastowym znalezieniu przyczyny problemu i albo usunięciu ją zdalnie, albo wskazaniu klientowi, jakie kroki powinien podjąć [Digital Innovation Hub, 2021].

W przypadku dystrybucji symulacja to wirtualne odwzorowanie całego procesu logistycznego, czyli drogi, jaką od momentu wytworzenia pokonuje produkt, aby dotrzeć do odbiorcy końcowego. Składa się na nią m.in. cyfrowa kopia centrum dystrybucji, gdzie algorytm uczy się, jak optymalnie zarządzać magazynem metodą prób i błędów, może przetworzyć setki tysięcy potencjalnych scenariuszy pracy magazynu oraz wybrać te najlepsze [Kaizen&Lean, 2022]. Innym rozwiązaniem w obszarze dystrybucji jest cyfrowy bliźniak wszystkich paczek, zasobów i procesów terminalu tranzytowego. Przyspiesza on procesy przychodzące i wychodzące oraz zapewnia ciągłą aktualizację informacji o położeniu każdej paczki, z korzyścią nie tylko dla operatorów logistycznych i kierowców, lecz także dla pracowników działów planowania i obsługi klienta [Dachser, 2022].

## **Próba oceny wpływu technologii cyfrowych bliźniaków na funkcjonowanie przedsiębiorstwa**

Opisane sposoby i obszary wdrażania technologii cyfrowych bliźniaków w przedsiębiorstwach pozwalają twierdzić, iż dzięki nim podmioty mogą szybciej reagować na zmiany zachodzące w otoczeniu, co przekłada się na większą elastyczność strategiczną.

Przemawiają za tym następujące korzyści i zalety CB:

- udoskonalenie procesu badania i rozwoju – zastosowanie technologii CB umożliwia skuteczniejsze badania i projektowanie produktów dzięki dużej ilości danych dotyczących prawdopodobnych wyników wydajności. Dane te mogą okazać się przydatne firmom w udoskonaleniu produktu przed rozpoczęciem produkcji [IBM, 2022];
- większa wydajność – nawet po wprowadzeniu nowego produktu do produkcji cyfrowe bliźniaki mogą pomóc odzwierciedlać i monitorować systemy produkcyjne, mając na celu osiągnięcie i utrzymanie najwyższej wydajności w całym procesie produkcyjnym;
- efektywne zdalne zarządzanie – zrozumienie procesów w trakcie użytkowania rzeczywistego obiektu, co wiąże się z funkcją nadzorczą i diagnostyczną. W zakresie nadzorowania bliźniak naśladuje przebieg rzeczywistych procesów na poziomie operacyjnym i biznesowym, a dzięki emulacji wizualnej lub animacji, użytkownik może łatwiej zrozumieć statyczne i dynamiczne charakterystyki operacyjne oraz ich wpływ na wydajność. Natomiast realizując funkcję diagnostyczną, bliźniakowi pozwala to na generowanie alertów szybkiego monitorowania i diagnozowania aktualnych problemów, co w efekcie przyczynia się niezawodności działania rzeczywistego obiektu [Mazurek, 2019];

- funkcja prognostyczna – polega na przewidywaniu zachowania danego obiektu w różnych warunkach [Maciążek, 2021]. Cyfrowy bliźniak wykorzystuje oprogramowanie do symulacji predykcyjnej. Użytkownik może testować i analizować wpływ na wynik różnych scenariuszy, identyfikując szanse i zagrożenia bez ponoszenia ryzyka i kosztów. Pozwala też na wczesne wykrywanie awarii.

Przedstawione dotychczas teoretyczne rozważania dotyczące obszarów zastosowań cyfrowych bliźniaków oraz ich wpływu na działalność przedsiębiorstw znajdują odzwierciedlenie w opisanym przypadku polskiej firmy.

## CIECH Soda Polska/Siemens – analiza przypadku

Fabryka CIECH Soda Polska powstała w 1879 r. w Inowrocławiu. Obecnie należy do Grupy CIECH SA, jest jedynym w Polsce i drugim w Europie producentem sody kalcyonowanej, ciężkiej i lekkiej, oraz soli warzonej. Produkuje także sól warzoną mokrą i suchą.

Na rodzimym rynku firma jest największym wytwórcą tego asortymentu i właścicielem znanej marki konsumenckiej Sól Kujawska. W portfolio spółki znajdują się także inne wyroby chemiczne – soda oczyszczona, chlorek wapnia, hopkalit, mieszanki solne, peklosól oraz tabletki solne [CIECH SA].

Siemens to globalny lider technologiczny, którego lokalna spółka – Siemens Polska – od 1991 r. wspiera polskie przedsiębiorstwa w zakresie innowacyjnych rozwiązań i produktów. Obecnie oferuje pomoc w procesie digitalizacji ich działalności, w tym we wdrażaniu konceptu cyfrowych bliźniaków [Siemens AG].

Współpraca obu firm w kontekście niniejszego artykułu polega na stworzeniu wirtualnego symulatora linii produkcyjnej sody, czyli oprogramowania Siemens gPROMS odzwierciedlającego w pełni proces jej produkcji – cyfrowego bliźniaka zakładu. Przy czym nie ogranicza się on tylko do odtworzenia samej linii produkcyjnej, ale również wspiera działania całego zakładu produkcyjnego. Analizuje i wskazuje najlepsze parametry pracy instalacji oraz optymalne stężenie mediów, konieczne dla uzyskania solanki (produktu) o określonej czystości. Takie wirtualne rozwiązanie pozwala odwzorować całą instalację albo jej fragment, przeprowadzić pilotaż czy też dostarczyć tzw. *proof of concept* (czyli realizację pomysłu mającą zademonstrować, że jest on wykonalny) przed jego wdrożeniem. Jednocześnie może być ono skalowane na całą fabrykę, a nawet kilka fabryk [„Rzeczpospolita”, 2022].

Wpływ zastosowania CB w firmie Ciech na jej funkcjonowanie w turbulentnym otoczeniu przejawia się w czterech obszarach: testowania, zwiększenia wydajności procesu produkcji, reakcji na pojawiające się wyzwania oraz zasobów ludzkich. Nowe rozwiązanie stwarza możliwość przetestowania sytuacji awaryjnych w bezpiecznych, wirtualnych okolicznościach. Spodziewanym rezultatem zastosowania narzędzi do symulacji

jest bardziej efektywny sposób wykorzystania surowców i półproduktów do produkcji. Przewidywane jest także wydajniejsze odzyskiwanie mediów w instalacji procesowej [Chemia i Biznes, 2022]. Cyfrowe wyniki pomiarów zawsze są jednoznaczne, co pozwala na pewną stabilność w ocenie sytuacji oraz większą precyzję w podejmowanych decyzjach. Niektóre aspekty procesów produkcyjnych są też analizowane automatycznie, co skraca czas reakcji na pojawiające się wyzwania. Wszystko to przekłada się na mniejszą liczbę awarii, a zatem lepszą produktywność.

W realiach firm, które działają od wielu dekad, coraz trudniej o kontynuację przekazywania wiedzy przez odchodzących wieloletnich pracowników nowo zatrudnianym specjalistom. Ponadto coraz trudniej jest obecnie znaleźć wykwalifikowanych inżynierów i techników przemysłowych. Cyfrowy bliźniak pozwala w pewnym stopniu rozwiązać ten problem, ponieważ oprogramowanie uczy nowo zrekrutowanych pracowników, jak działa zakład, jak funkcjonują jego poszczególne instalacje czy urządzenia. Finalnie zaś w wielu sytuacjach wskazuje, jakie działania użytkownik powinien podjąć w określonych sytuacjach. Błędy popełniane podczas takich wirtualnych prób nie przełożą się na realne straty czy przestoje w produkcji.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono definicje pojęcia cyfrowych bliźniaków, które wskazują na ich istotę, czyli zacieranie się granic między cyfrowym a fizycznym światem, gdyż każdy przedmiot może posiadać swój cyfrowy odpowiednik. Następnie zidentyfikowano obszary zastosowania tej technologii w przedsiębiorstwach, do których należą: produkcja, projektowanie i testowanie, dystrybucja oraz posprzedażowa obsługa klienta. Wskazano również pozytywne aspekty wdrożenia CB, takie jak: udoskonalenie procesu badania i rozwoju, większa wydajność, efektywne zdalne zarządzanie, większe możliwości prognostyczne. To z kolei przekłada się na elastyczność strategiczną podmiotów funkcjonujących obecnie w bardzo zmiennym i nieprzewidywalnym otoczeniu. Powyższe wywody poparto analizą przypadku CIECH Soda Polska/Siemens. Niniejsze opracowanie może stanowić przyczynek do dalszych badań nad fenomenem cyfrowych bliźniaków, jakimi wydaje się m.in. wdrażanie tego rozwiązania w kontekście branżowym.

## Bibliografia

- CIECH SA, <https://ciechgroup.com/grupa-ciech/spolki-grupy-ciech/ciech-soda-polska/> (dostęp: 3.02.2023).
- Cyfrowy bliźniak*, Kaizen&Lean (2022), <https://logistyczny.com/biblioteka/kaizen-lean/item/6779-cyfrowy-blizniak> (dostęp: 8.02.2023).

- Dachser (2022), <https://www.dachser.pl/pl/mediaroom/Cyfrowy-bliniak-Dachser-i-Instytut-Fraunhofer-IML-zwikszaj-przejrzysto-obsugi-adunkow-zbiorowych-19433?search=&bookmarked=false> (dostęp: 9.02.2023).
- Digital Innovation Hub (2021), <https://www.dih4.ai/pl/news/39/do-czego-firmy-wykorzystujacy-frowe-blizniaki> (dostęp: 8.02.2023).
- Gelernter D. (2020), *Mirror Worlds: Or: The Day Software Puts the Universe in a Shoebox... How It Will Happen and What It Will Mean* (on-line edn, Oxford Academic, 12 Nov. 2020), <https://doi.org/10.1093/oso/9780195068122.003.0008> (dostęp: 19.11.2022).
- Glaessgen, E.H., Stargel, D.S. (2012), *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*. In 53 rd Struct. Dyn. Mater. Conf. Special Session: Digital Twin, Honolulu, HI, US.
- Haag S., Anderl R. (2018), *Digital twin – Proof of concept*, “Manufacturing Letters”, Volume 15, Part B, 2018, s. 64–66.
- Helbing D., Argota Sanchez-Vaquerizo, J. (2022), *Digital Twins: Potentials, Ethical Issues, and Limitations* (July 19, 2022). Handbook on the Politics and Governance of Big Data and Artificial Intelligence, Edward Elgar, Forthcoming, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4167963> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4167963>.
- [https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin?mhsrc=ibmsearch\\_a&mhq=digital%20twin](https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=digital%20twin) (dostęp: 18.11.2022).
- Już dziś w przemyśle mamy cyfrową rzeczywistość*, „Rzeczpospolita”, 30.12.2022.
- Kritzinger W., Karner M., Traar G., Hejnes J., Sihn W. (2018), *Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification*, IFAC PapersOnLine Elsevier.
- Kuhn T. (2017), *Digitale Zwillings*, “Informatik Spektrum”, 40(5), s. 440–444.
- Lis P., *Po co mi rozszerzona rzeczywistość?*, 2020, <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/po-co-mi-rozszerzona-rzeczywistosc/> (dostęp: 19.11.2022).
- Maciązek M. (2021), *Cyfrowe bliźniaki/digital twins i ich wpływ na rewolucję w produkcji 3D*, <https://3d.edu.pl/cyfrowe-blizniaki-digital-twins-i-ich-wplyw-na-rewolucje-w-produkcji-3d/> (dostęp: 27.11.2022).
- Mazurek J. (2019), *Cyfrowe bliźniaki*, <https://www.computerworld.pl/news/Cyfrowe-blizniaki,414217.html> (dostęp: 12.11.2022).
- Negri, E., Fumagalli, L., Macchi, M. (2017), *A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems*, “Procedia Manufacturing”, 11, s. 939–948.
- Ricci A., Tummolini L., Castelfranchi C., Piunti M. (2015), *The Mirror World: Preparing for Mixed-Reality Living*, Pervasive Computing, IEEE, 2015, June, s. 60–63.
- Siemens AG, <https://new.siemens.com/pl/pl/o-firmie/o-nas.html> (dostęp: 30.01.2023).
- Siemens tworzy symulator linii do produkcji sody dla Grupy CIECH*, <https://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/siemens-tworzy-symulator-linii-do-produkcji-sody-dla-grupy-ciech> (dostęp: 7.02.2023).
- Tech Vision 2021: Ważne trendy technologiczne*, <https://www.accenture.com/pl-pl/insights/technology/technology-trends-2021> (dostęp: 12.11.2022).