

Marcin Szost*

PARADYGMATY I TRAJEKTORIE TECHNOLOGICZNE – STUDIUM PRZYPADKU BRONI PANCERNEJ

TECHNOLOGICAL PARADIGMS AND TRAJECTORIES – TANKS CASE STUDY

Abstract

This article presents and verifies an idea of technological paradigm and technological trajectory. According to this theory technological progress is not a random process, but its regular and stable course is set by a technological trajectory. This regularity results from the application of similar methods to solve technological problems. The set of these methods is established by existing technological paradigm.

The study of the process of changes in tanks technical characteristics confirms the existence of such regularity. Turning points and consecutive phases of progress related to changes in technological paradigm are identified. History of these changes also fits to a classical product life cycle.

Keywords: evolutionary economics, neo-schumpeterian economics, innovation, technological paradigm, technological trajectory, product life cycle

JEL classification: B52, O30, O33, N40, N70

Wstęp

Opracowanie to jest inspirowane tekstem „*Chariots of Fire*”: *The Evolution of Tank Technology, 1915–1945* [Castaldi, Fontana, Nuvolari 2006], w którym na przykładzie rozwoju czołgów zobrażowana została idea paradygmatu i trajektorii technologicznej, którą sformułował Giovanni Dosi [Dosi 1982, 1988]. Celem niniejszego opracowania jest weryfikacja wyżej wymienionego badania i poszerzenie jego zakresu – poprzez uwzględnienie rozwoju tej technologii po 1945 roku, wskazanie różnic pomiędzy poszczególnymi krajami oraz uwzględnienie innowacji organizacyjnych i koncepcyjnych, towarzyszących rozwojowi technicznemu. Zasadniczym zadaniem jest weryfikacja tezy, iż rozwój technologii przebiega

* Adres do korespondencji: marcin.szost@animex.pl.

regularnie wzdłuż określonej trajektorii, a zmiany parametrów nie mają charakteru losowego, lecz wyznaczają istotne momenty przejścia między kolejnymi paradygmatami technologicznymi.

Część 1 opracowania zawiera rys teorii ekonomii ewolucyjnej, z której wyprowadzone zostały pojęcia paradygmatu i trajektorii technologicznych. Opisane zostaną też najważniejsze konkluzje badania zawartego w „*Chariots of Fire*”. W części 2 przedstawiona zostanie historia rozwoju broni pancernej zarówno pod względem technicznym, jak i organizacyjnym. Dla weryfikacji postawionej tezy, w oparciu o bazę danych parametrów technicznych czołgów, przeprowadzona została analiza czynnikowa – opis tego badania oraz jego rezultaty zostały zawarte w części 3, podsumowanie zaś w części 4.

Podstawowe pojęcia

Idea paradygmatu technologicznego została sformułowana w ramach tzw. ekonomii ewolucyjnej (neo-schumpeterowskiej), wywodzącej się z teorii ekonomicznej Josepha Schumpetera. Jądrem myśli Schumpetera było przeświadczenie, że system społeczny podlega ciągłemu procesowi przemian ewolucyjnych, który przekształca wszystkie jego elementy – m.in. życie społeczne, instytucje, sferę nauki czy gospodarki. Głównym czynnikiem napędzającym przemiany podsystemu ekonomicznego mają być zaś nowe technologie – ich wprowadzanie oraz eksploatacja prowadzą do transformacji struktur ekonomicznych oraz nadają gospodarce nową dynamikę. Za pomocą takiego modelu rozwoju Schumpeter tłumaczył zjawisko wahań cyklicznych w gospodarce – okres prosperity miał być więc wynikiem pojawienia się fali innowacyjnych przedsiębiorstw, następujący zaś później moment adaptacji innowacji w całym systemie ekonomicznym prowadził do spowolnienia gospodarczego. Eliminacja nietrafionych, błędnych inwestycji poczynionych w okresie wzrostu odpowiadać miała z kolei okresowi depresji.¹ Jak opisują to Dosi i Nelson: „(...) procesy akumulacji i dyfuzji wiedzy tworzą zwycięzców i przegranych, zmieniają rozkład zdolności konkurencyjnych pomiędzy różnymi firmami i, co za tym idzie, zmieniają strukturę gospodarki. Cechy technologii, specyficzne w poszczególnych sektorach, oraz ich stopień dojrzałości w ramach cyklu życia, wpływają na sposób organizacji gospodarki” oraz „(...) współczesny kapitalizm opiera się na ewolucji wielu technologii oraz branż, połączonych ze sobą poprzez przepływy materiałów i wiedzy. Niektóre sektory zanikają, inne rozrastają się, a zupełnie nowe powstają wraz z pojawieniem się radykalnie nowych technologii. Wzorzec rozwoju nowoczesnej gospodarki – zarówno jeśli chodzi o wzrost wydajności per capita

¹ E.S. Andersen, *Schumpeters core work revisited. Resolved problems and remaining challenges*, Journal of Evolutionary Economics manuscript, 2012, s. 11.

czy dochody, jak i ich zmienność oraz nieciągłość – jest znacząco kształtowany poprzez znajdujące się u jej podstaw mechanizmy ewolucji technologicznej i organizacyjnej”².

Paradygmat i trajektoria technologiczna

Giovanni Dosi wprowadził pojęcie paradygmatu technologicznego jako analogię do paradygmatu naukowego (w rozumieniu Kuhna). Paradygmat technologiczny jest perspektywą, poprzez którą definiowane są problematyczne kwestie technologiczne oraz metody ich rozwiązywania, dzieloną przez specjalistów z danej dziedziny. Sam Dosi zdefiniował go jako „model lub wzorzec rozwiązywania *określonych* problemów technologicznych, w oparciu o *określone* zasady wyprowadzone z nauk przyrodniczych, na *określonych* technologiach materiałowych”³. Podobieństwo sposobów rozwiązywania zagadnień technologicznych powoduje, że ścieżka rozwoju technologii charakteryzuje się stabilnym i regularnym przebiegiem, który wyznacza trajektorię technologiczną. Istotne zmiany kierunku trajektorii związane są zaś ze zmianą samego paradygmatu technologicznego. Podobną koncepcję „naturalnych trajektorii” przedstawili również Nelson i Winter⁴.

W nawiązaniu do idei Schumpetera i Dosi’ego, Carlota Perez przedstawiła koncepcję rewolucji technologicznej oraz paradygmatu techno-ekonomicznego. Wg niej „(...) *rewolucja technologiczna* może być zdefiniowana jako zespół powiązanych ze sobą przełomowych innowacji, tworzących istotny zestaw współzależnych technologii (...)”⁵. Własnością rewolucji technologicznych jest „(...) zdolność do transformacji gospodarki i innych dziedzin życia, wynikająca z oddziaływania powiązanego z nią *paradygmatu techno-ekonomicznego* – modelu najlepszych praktyk, służącemu efektywnemu wykorzystaniu nowych technologii w ramach i poza nowymi gałęziami gospodarki”⁶. Perez wyróżniła pięć rewolucji technologicznych począwszy od czasów angielskiej rewolucji przemysłowej. Na potrzeby tego opracowania istotne jest wyróżnienie dwóch ostatnich, opisanych jako „wiek ropy, samochodów i produkcji masowej” (od 1908 r.) oraz „wiek informacji i telekomunikacji” (od 1971 r.)⁷.

² G. Dosi, R. Nelson, *Technical change and industrial dynamics as evolutionary processes*, LEM Working Papers 2009/07, 2009, s. 3, tłumaczenie własne.

³ G. Dosi, *Technological paradigms and technological trajectories*, Research Policy 11, 1982, s. 182, tłumaczenie własne, podkreślenia jak w oryginale.

⁴ R. Nelson, S. Winter, *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, 1982, s. 258.

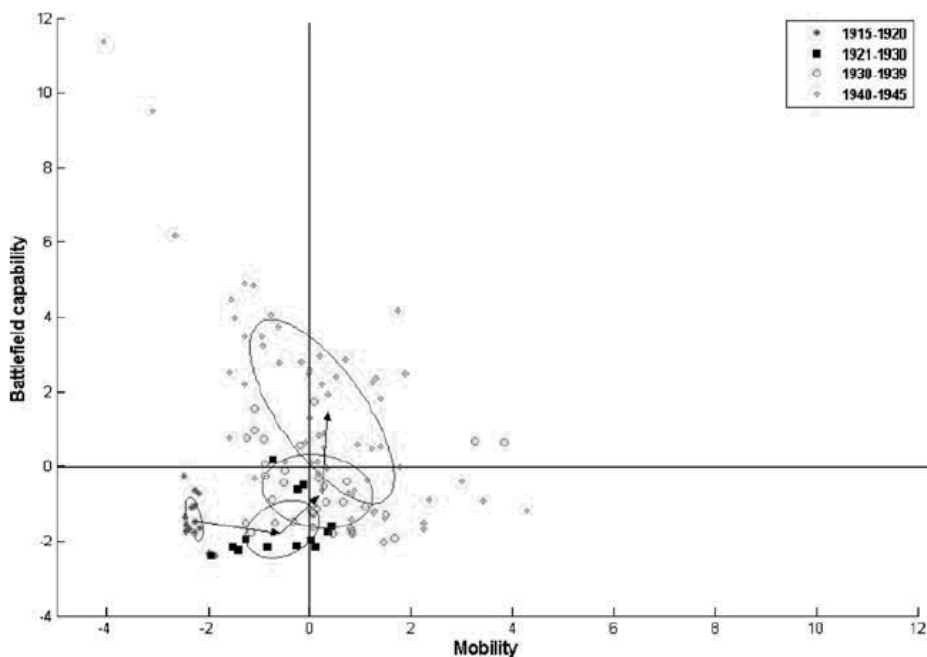
⁵ C. Perez, *Technological revolutions and techno-economic paradigms*, Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics no. 20, Tallinn University of Technology, 2009, s. 8, tłumaczenie własne, podkreślenia jak w oryginale.

⁶ Tamże, s. 9.

⁷ Tamże, s. 9.

Rydwany ognia

Opracowanie „*Chariots of Fire*” [Castaldi, Fontana, Nuvolari, 2006] jest studium przypadku, obrazującym ideę paradygmatu i trajektorii technologicznej na przykładzie rozwoju technologii czołgów. Autorzy wyodrębnili dwie zasadnicze kategorie, opisujące cechy techniczne czołgów, zdefiniowane jako „zdolność bojowa” oraz „mobilność”. Na podstawie przebiegu zmian wartości tych czynników w czasie wykreślili trajektorię technologiczną, wzdłuż której postępował rozwój technologii czołgów (przedstawiony na wykresie 1). Uzyskane wyniki wskazały na następującą sekwencję rozwoju konstrukcji czołgów – począwszy od okresu I wojny światowej, przez lata 20. ulepszano przede wszystkim własności mobilne czołgów (np. prędkość). Od lat 30. równie dużą wagę zaczęto przywiązywać do ich zdolności bojowych (jak kaliber broni). Okres II wojny światowej pokazuje już zmianę trendu – poprawianie charakterystyk związanych z mobilnością stało się nieistotne w stosunku do skuteczności czołgu.



Wykres 1. trajektoria technologiczna rozwoju czołgów

Objaśnienia: na osi wartości cechy Mobilność i Zdolność bojowa. Punkty odpowiadają poszczególnym konstrukcjom czołgów, strzałki wyznaczają przebieg trajektorii.

Źródło: C. Castaldi, R. Fontana, A. Nuvolari, *Chariots of Fire: The Evolution of Tank Technology, 1915–1945, ECIS, Working Paper 06.02, 2006, s. 31.*

Według autorów doktryny poszczególnych krajów nie miały wpływu na rozwiązania konstrukcyjne czołgów. Konkurencja między różnymi maszynami miała eliminować rozwiązania nieefektywne, selekcyjując najlepsze i prowadząc do upodobniania się charakterystyk kolejnych modeli. Jednakże badanie rozwoju technologii tylko poprzez analizę cech technicznych gotowego produktu jest zbyt dużym uproszczeniem, gdyż jakość produktu nie determinuje tego, czy jego potencjał zostanie w pełni wykorzystany. Potrzebna jest więc także analiza aspektów koncepcyjnych i organizacyjnych, związanych z eksploatacją technologii. Innowacja techniczna, jaką były czołgi, wpłynęła istotnie na sposób zorganizowania całych sił zbrojnych, co znalazło swój wyraz w przemianach doktryn militarnych – opis tych innowacji procesowych jest więc dopełnieniem całego badania.

Historia rozwoju technologii czołgu

Powstanie czołgu

Niespotykane dotąd warunki wojny pozycyjnej w trakcie I wojny światowej wykazały nieskuteczność dotychczasowych metod walki. Dla przełamania powstałego impasu zaczęto szukać nowych rozwiązań, w tym m.in. zaczęto stosować maszyny bojowe. We Francji i Wielkiej Brytanii powstało wiele nieudanych prototypów takich maszyn, rzadko przypominających współczesne czołgi. Prace nad czołgiem brytyjskim zostały wręcz zarzucone, wznowione zostały z inicjatywy dowódcy marynarki Winstona Churchilla, pod pretekstem budowy „okrętów lądowych” – jeden z opracowanych w 1915 r. takich modeli stał się podstawą pierwszych seryjnych czołgów Mark I. Nie wiedząc nawet, jak nazwać nową broń, przez przypadek przyjęto nazwę *tank*. Także dopasowanie jej do istniejącego systemu organizacji armii było kłopotliwe – brytyjska jednostka początkowo stała się Sekcją Ciężką Karabinów Maszynowych, zaś Francuzi uznali czołgi za Artylerię Specjalną.

Pierwsze czołgi były zawodne i powolne, a ich wpływ na przebieg walk był ograniczony. Głównym problemem, oprócz prymitywnej techniki, był jednak sposób ich wykorzystania. Nie istniały żadne zasady ani procedury użycia czołgów. Brak tej wiedzy powodował, że nowych maszyn używano wedle starych, tradycyjnych reguł. Czołg był więc traktowany jak wyposażenie piechoty i jego potencjał pozostawał niewykorzystany. Sytuacja uległa zmianie, gdy szefem sztabu brytyjskiej jednostki został płk Fuller, który stworzył pierwsze instrukcje dla załóg i sformułował podstawowe zasady działania jednostki pancernej. Prawdopodobnie też przewidział przyszłą rolę tego rodzaju broni⁸.

⁸ J.F.C. Fuller, *Memoirs of Unconventional Soldier*, Ivor Nicholson and Watson, Londyn, 1936, s. 322–324.

Niemcy nie prowadzili właściwie prac nad czołgami, co wynikało z różnicy doktrynalnej między nimi a aliantami. Alianci polegali głównie na sile ognia swej broni – stąd też kluczową rolę przypisywali oni artylerii. W ramach tej doktryny czołgi miały spełniać rolę ruchomej artylerii, zdolnej do powolnego poruszania się za piechotą. Dla Niemców najważniejsza była mobilność ich armii⁹, więc czołgi osiągające wówczas prędkość piechura nie budziły ich zainteresowania. W zamian rozwinęli bardzo skuteczną taktykę drużyn szturmowych, i pomimo klęski zachowali przekonanie o wyższości walki manewrowej, co miało swoje późniejsze konsekwencje dla rozwoju sił zbrojnych, w tym pancernych.

Okres międzywojenny

Doświadczenia I wojny światowej oraz warunki Traktatu Wersalskiego stały się punktami odniesienia kształtującymi dalszą ewolucję armii poszczególnych krajów. Głównym wyzwaniem modernizacyjnym tego czasu było odejście od zaprzęgu konnego i motoryzacja sił zbrojnych. W związku z tym pojawił się problem dotyczący przyszłej roli czołgów. Sposób jego rozwiązania, tj. umiejscowienie broni pancernej w ramach całej struktury armii, zdefiniowanie taktyki użycia czołgów oraz związany z tym wybór określonych rozwiązań technologicznych, był różny w poszczególnych krajach i zależny w dużym stopniu od lokalnych uwarunkowań. Cechą wspólną był jednak konflikt między wąską grupą entuzjastów motoryzacji i broni pancernej, a bardziej tradycyjnie nastawioną większością korpusu oficerskiego – za wyjątkiem rewolucyjnej Rosji, która w znacznym stopniu „wymieniła” swą kadre wojskową.

Brytyjczycy, pomimo oporu konserwatywnego dowództwa, zalecającego powrót do przedwojennych rozwiązań, podjęli dalsze badania tworząc w 1927 r. eksperymentalną jednostkę pancerną (*Experimental Mechanized Force*). Manewry z jej udziałem były dużym sukcesem i dowiodły one słuszności idei motoryzacji oraz potwierdziły użyteczność czołgów. Brytyjczycy do początku lat 30-tych niewątpliwie byli w awangardzie rozwoju tej broni, dysponując unikalną wiedzą. Przełożyło się to na publikacje artykułów oraz instrukcji wojskowych, które zostały potem skopiowane przez inne kraje. Także konstrukcje brytyjskie były szeroko eksportowane i stanowiły punkt wyjścia do projektowania oraz produkcji lokalnych modeli. Z czasem utworzono też samodzielne jednostki pancerne, mimo to Brytyjczycy utrzymywali klasyfikację czołgów wedle starej struktury sił zbrojnych, dzieląc je na szybkie czołgi kawalerii i silnie uzbrojone czołgi piechoty. W pozostałych krajach stosowano zbliżoną klasyfikację opartą na masie pojazdu – rozróżniano więc czołgi lekkie, średnie i ciężkie.

⁹ R.T. Foley, *Breaking Through: The German Concept of Battle in 1918*, Academia.edu, 2013, s. 3.

Początkowo w podobnej sytuacji znajdowała się Francja, mając do dyspozycji liczne czołgi, rozwinięty przemysł oraz doświadczonych ludzi, by móc kontynuować rozwój broni pancernej. Utrzymano jednak tradycyjną strukturę armii i czołgi spadły do roli broni pomocniczej. Ostateczne usztywnienie myślenia dokonało się w 1936 r., gdy francuskie dowództwo zakazało publikacji wojskowych, krytycznych wobec obowiązującej doktryny¹⁰. Jedną z nielicznych osób, które próbowały się temu przeciwstawić, był płk de Gaulle. W 1934 r. wydał on książkę, w której postulował utworzenie profesjonalnej armii pancernej – nie zyskała ona jednak uznania we Francji, za to cieszyła się powodzeniem w Niemczech. De Gaulle szukał także bezskutecznie poparcia w środowisku politycznym, za co zresztą został ukarany przez marszałka Petaina.

Rozwój konstrukcji czołgów francuskich odpowiadał założeniom doktrynalnym, według których miały one jedynie wspierać piechotę. Nie widziano potrzeby formowania samodzielnych oddziałów – czołgi operowały pojedynczo i nie miały środków łączności. Tradycyjne zaś akcentowanie siły ognia i odporności powodowało, że pod tym względem konstrukcje francuskie były lepsze od swych konkurentów.

Podobną drogą podążała armia amerykańska, od początku swego powstania kopiująca wzorce francuskie. Po I wojnie Amerykanie szybko stracili zainteresowanie czołgami, pomimo wysiłków kilku ich entuzjastów, jak Patton czy Eisenhower. Także czas wielkiego kryzysu oraz polityka izolacjonizmu nie sprzyjały modernizacji sił zbrojnych, dopiero upadek Francji w 1940 r. zmusił USA do rewizji swej doktryny.

Sytuacja dwóch krajów, które poniosły klęskę w trakcie I wojny światowej, czyli Niemiec i Rosji (ZSRR), była diametralnie różna od sytuacji w państwach zwycięskich. Doświadczenie porażki skłoniło oba te kraje do podjęcia wysiłku modernizacyjnego, w tym związanego z wprowadzeniem nowoczesnej broni pancernej.

Traktat Wersalski wymusił na Niemcach ograniczenie wielkości armii, zniesienie poboru oraz zakazał posiadania czołgów. By wyrwać z tej niekorzystnej sytuacji, dowódca Reichswehry gen. von Seeckt zdecydował się na głęboką reorganizację i zwiększenie mobilności skromnych sił niemieckich. Armia stała się całkowicie zawodowa, a nieliczne stanowiska oficerskie obsadzono najbardziej utalentowanymi ludźmi. Zarządzono szerokie badania nad przebiegiem ostatniej wojny, do których skierowano ok. 500 oficerów (we Francji zajmowało się tym 14 ludzi), a wyciągnięte z tego wnioski stały się podstawą do sformułowania nowej doktryny wojskowej w roku 1921. Znacznie rozbudowano wydziały techniczne armii, których zadaniem było opracowywanie nowych broni. Ważnym czynnikiem

¹⁰ M. Williamson, *Looking at Two Distinct Periods of Military Innovation: 1872–1914 and 1920–1939*, Institute for Defense Analyses, Joint Advanced Warfighting Program, IDA Paper P-3799, 2002, s. 15.

rozwoju była też specyficzna kultura niemieckiej armii, w której oficerowie byli zachęceni do wyrażania własnych opinii¹¹.

Dla ominięcia ograniczeń traktatowych Niemcy badali czołgi produkowane w Szwecji i nawiązali współpracę z ZSRR, gdzie utworzono wspólny ośrodek badawczy. Za twórcę dojrzałej doktryny pancernej uważany jest niemiecki gen. Heinz Guderian – w czasie I wojny służył on w jednostce łączności radiowej, stanowiącej również techniczną nowość, poznał także nową taktykę drużyn szturmowych. Po wojnie trafił do jednostki samochodowej, gdzie zajmował się problemami logistyki oraz motoryzacji. Zakupiwszy prywatnie dokumenty brytyjskie i francuskie, m.in. autorstwa Fullera i de Gaulle'a, przetłumaczył je i opublikował w Niemczech. Mając poparcie zwierzchników przeprowadził pierwsze ćwiczenia jednostek pancernych, ze względu na brak czołgów używając przy tym tekturowych modeli.

Sytuacja uległa zmianie w 1934 r., po dojściu do władzy Hitlera, który odrzucił Traktat Wersalski. Zachwycony manewrami zorganizowanymi przez Guderiana, Hitler poparł utworzenie samodzielnych jednostek pancernych. Chcąc przekonać do tego bardziej sceptyczny korpus oficerski, Guderian wydał w tym celu w 1936 r. książkę *Achtung Panzer!* Często tę publikację uznaje się za punkt przełomowy, w którym ostatecznie skryształizowała się nowoczesna doktryna wykorzystania broni pancernej. W rzeczywistości poglądy zawarte w tej książce były w dużej mierze powtórzeniem idei Fullera i de Gaulle'a. Guderian jednakże osiągnął to, co nie udało się jego poprzednikom – połączył w całość swoje doświadczenie i wiedzę w zakresie jednostek zmotoryzowanych, logistyki i łączności, koncepcję (Fullera) wykorzystania czołgów jako samodzielnego rodzaju broni oraz niemiecką taktykę drużyn szturmowych z I wojny światowej. Co więcej, miał przy tym pełne poparcie polityczne w osobie Hitlera.

Problem stanowił jednak przemysł niemiecki, który nie miał większych doświadczeń w projektowaniu i produkcji czołgów. Zaczęto więc od budowy lekkich czołgów treningowych do szkolenia załóg oraz dla zdobycia potrzebnej wiedzy technologicznej. Do 1939 r. Niemcy nie zdążyli jednak zbudować zbyt wielu właściwych czołgów nadających się do walki. Za to dzięki ich koncentracji oraz powiązaniu poprzez łączność radiową w zespoły, mogły one działać w skoordynowany sposób i być bardzo efektywne, pomimo słabych osiągnięć technicznych poszczególnych maszyn. Swą znakomitą opinię niemieckie siły pancerne zawdzięczały właśnie nowatorskiej organizacji i taktyce, a nie przewadze technologicznej – tą bowiem nie dysponowały.

Krajem, który dokonał największego skoku w rozwoju broni pancernej w okresie międzywojennym, był Związek Radziecki. Pierwsze czołgi radzieckie były ręcznie kopiowanymi maszynami zdobycznymi z czasów rewolucyjnych,

¹¹ J. S. Corum, *A Clash of Military Cultures: German & French Approaches to Technology Between the World Wars*, USAF Academy Symposium, 1994, s. 30.

nie istniał bowiem przemysł zdolny je produkować. Sytuacja uległa zmianie, gdy na przełomie lat 20. i 30. generałowie Triandafłow oraz Tuchaczewski przetłumaczyli książki Fullera oraz brytyjskie instrukcje wojskowe, by na ich podstawie sformułować nową doktrynę tzw. głębokich operacji, dostosowaną do specyfiki radzieckiej.

W ramach stalinowskiego planu 5-letniego (lata 1928–1932) stworzony został nowoczesny, wyposażony w amerykańskie maszyny, przemysł zdolny do masowej produkcji broni¹². Zakupiono także licencje na produkcję czołgów brytyjskich i amerykańskich, a ich modyfikacje stanowiły punkt wyjścia dla kolejnych konstrukcji radzieckich. Dzięki tym inwestycjom oraz modernizacji w myśl nowej doktryny, armia radziecka pod koniec lat 30. była najbardziej technologicznie i koncepcyjnie zaawansowaną na świecie, będąc w dużym stopniu zmotoryzowana i posiadając najliczniejsze na świecie siły pancerne. Potencjał ten zaprzepaścił jednak sam Stalin, który przeprowadził czystkę w korpusie oficerskim (zginął m.in. Tuchaczewski). Pozbawiona wyszkolonej kadry armia radziecka cofnęła się w rozwoju i dopiero po latach klęsk wróciła do zarzuconej wcześniej doktryny.

Próby produkcji czołgów w ograniczonym zakresie podejmowały także inne kraje, m.in. Włochy, Czechosłowacja, Polska, Szwecja czy Japonia, zaczynając zazwyczaj od importu konstrukcji brytyjskich, które następnie były kopiowane i modyfikowane. Nie miały one jednak większego wpływu na rozwój technologii czołgów.

II wojna światowa

II wojna światowa, a zwłaszcza kampania francuska w roku 1940, stały się punktem zwrotnym w historii broni pancernej. Sukces wojsk pancernych w sposób ewidentny wykazał dominującą pozycję czołgu na polu bitwy, co nie było wówczas oczywiste nawet dla dowódców niemieckich. Sposób prowadzenia walki przez Niemców był tak dużym wstrząsem, że uznano to za zupełnie nową, rewolucyjną doktrynę wojskową, której alianci nadali nazwę *Blitzkrieg*. Przebieg tej kampanii wymusił na pozostałych krajach rewizję dotychczasowych doktryn.

Wojna stała się potężnym impulsem do rozwoju konstrukcji czołgów. Postęp był tak szybki, że kolejne wersje czołgów wypierały poprzednie w przeciągu kilku miesięcy. W sposób ciągły dążono do poprawienia osiągnięć czołgów – przede wszystkim ich zdolności do przetrwania na polu walki, mierzonej grubością pancerza i kalibrem dział, co wiązało się też ze stałym wzrostem ich masy. Najważniejszym czynnikiem przy konstruowaniu czołgu okazało się umiejętne zrównoważenie jego jakości z możliwościami masowej produkcji przez przemysł.

¹² M. Sołonin, *22 czerwca 1941, czyli jak zaczęła się wielka wojna ojczyźniana*, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań, 2007, s. 327.

Niemcy przez większość wojny dążyli do skonstruowania czołgu doskonałego, co skutkowało małą skalą ich produkcji oraz wysokimi kosztami. Z kolei alianci dążyli do maksymalizacji wielkości produkcji czołgów o osiągnięciach uznanych za zadowalające. Radziecki T-34 został uznany za najlepszy czołg II wojny światowej – nie dlatego, że miał najlepsze parametry techniczne, ale z powodu prostoty konstrukcji, umożliwiającej masową produkcję oraz ciągłe modernizacje, niepowodujące przerw produkcyjnych.

Postęp technologiczny oraz doświadczenia wojenne doprowadziły do wyeliminowania wielu wcześniej istniejących typów czołgów, najbardziej ekonomiczne i efektywne okazały się czołgi średnie, które po zakończeniu wojny zaczęto nazywać „podstawowymi” (*MBT – main battle tank*). Jest to jedyny obecnie funkcjonujący typ czołgu.

Okres po II wojnie światowej

W latach przedwojennych czołgi były konstrukcjami eksperymentalnymi, użytkowanymi przez kilka lat. Ekstremalne warunki wojny powodowały, że „długość życia” czołgu była już liczona w miesiącach. Natomiast okres po wojnie charakteryzował się stabilizacją rozwoju – w XXI wieku nadal eksploatowane są zmodernizowane typy czołgów stworzonych nawet w latach 50. poprzedniego stulecia. Rozwój czołgów w okresie powojennym był zdeterminowany przez konflikt między dwoma mocarstwami – USA i ZSRR. Państwa NATO przygotowywały się do stoczenia wojny nuklearnej i rozwój broni pancerniej nie był dla nich priorytetem. Wyjątek stanowili Brytyjczycy, których bardzo udane konstrukcje były eksportowane i kopiowane w innych krajach. Z kolei ZSRR nieprzerwanie rozwijał własne siły pancerne, utrzymując przewagę aż do lat 70., kiedy to państwa zachodnie zaczęły szukać odpowiedzi na to zagrożenie. Zdając sobie sprawę z ilościowej przewagi radzieckiej, USA postanowiły zrekompensować to jakością, wprowadzając nową, bogato wyposażoną w elektronikę, generację czołgów, oraz przyjmując nową doktrynę tzw. bitwy powietrzno-łądowej (*Air-Land Battle*).

Od tego momentu dominującym trendem przy projektowaniu i modernizacji czołgów stał się nacisk na jak najlepsze ich wyposażenie pokładowe – m.in. komputery, przyrządy celownicze, sensory, stabilizatory dział, łączność czy GPS. Koniecznością stało się też wzmocnienie odporności poprzez zastosowanie nowych rodzajów pancerza. Dopełnieniem tego trendu, w którym źródłem innowacji są technologie informacyjne, jest postępująca współcześnie „digitalizacja” wojsk – jednym z przejawów tego stała się wprowadzana od lat 90. koncepcja walki sieciowej (*network – centric warfare*)¹³.

¹³ A. Bousquet, *Chaoplexic warfare or the future of military organization*, International Affairs 84, 2008, s. 917.

W okresie powojennym do czołówki producentów czołgów dołączyły nowe państwa, m.in. Chiny, Izrael, Indie, Japonia czy Korea Południowa. Wszystkie zaczynały od importu czołgów z krajów dysponujących zaawansowaną technologią (ZSRR, Wielka Brytania, USA, Niemcy), które następnie modyfikowały wedle własnych, lokalnych potrzeb.

Analiza parametrów technicznych – wykreślenie trajektorii technologicznej

Baza danych i opis wskaźników

W rozdziale tym poddany został analizie zestaw parametrów technicznych 396 modeli czołgów z lat 1916–2014. Problemem przy gromadzeniu danych w niektórych przypadkach był brak informacji (np. poprzez utajnienie), także dane nt. modeli współczesnych często są szacunkami ekspertów. W sytuacji braku danych przyjęto wartości parametrów modelu najbardziej zbliżonego.

Baza danych zawiera 20 parametrów opisowych, ustandaryzowanych i zgrupowanych w następujące kategorie:

- a) wskaźniki ogólne – masa, długość, szerokość, wysokość, liczba wież, liczba załogi,
- b) pancerz – grubość pancerza czołowego wieży i kadłuba, mierzone wskaźnikiem RHA¹⁴,
- c) uzbrojenie – kaliber broni przeciwpancernej, przeciwpiechotnej oraz dodatkowej,
- d) mobilność – maksymalna prędkość i zasięg, stosunek mocy silnika do masy,
- e) wyposażenie dodatkowe – radio, komputer, systemy celownicze, sensory termiczne, sensory na podczerwień oraz stabilizator działa. Ze względu na powszechne utajnienie parametrów technicznych tego wyposażenia, przyjęte zostało rozwiązanie, że jeśli dana konstrukcja je posiadała, to jego stopień zaawansowania był określany w skali od 1 do 3, w zależności od generacji¹⁵ czołgu.

Ze względu na różną liczbę parametrów w kategoriach, możliwe było zawyżenie ich wagi tam, gdzie było ich więcej. Dla zminimalizowania tego ryzyka zastosowano dwustopniową, hierarchiczną metodę wyznaczania czynników głównych¹⁶.

¹⁴ P. Lakowski, *Armor Basics*, Scribd.com, 2008, s. 5.

¹⁵ Generacje to umowna klasyfikacja czołgów podstawowych. Wyróżnia się 3 generacje: I – pierwsze konstrukcje wywodzące się z czołgów średnich, II – czołgi wyposażone w udoskonalone przyrządy celownicze, III – czołgi z zaawansowaną elektroniką i pancerzem.

¹⁶ M. Srholec, B. Verspagen, *The Voyage of the Beagle in Innovation Systems Land. Explorations on Sectors, Innovation, Heterogeneity and Selection*, UNU-MERIT, Working Paper Series #2008–008, 2008, s. 14.

W miarę możliwości parametry zostały zagregowane w ramach poszczególnych kategorii i na tak ograniczonej liczbie wskaźników przeprowadzono ostateczne wyliczenie. Takiej procedurze poddano wskaźniki konstrukcji czołgu oraz jego wyposażenia dodatkowego.

Tabele 1. Wartości parametrów w komponencie „Konstrukcja” oraz „Systemy”

Wskaźnik	Konstrukcja
Masa	0,958
Długość	0,953
Szerokość	0,942

Wskaźnik	Systemy
Radio	0,880
Stabilizator działa	0,968
Sensory podczerwień	0,977
Sensory termiczne	0,913
System celowniczy	0,974
Komputer pokładowy	0,968

Źródło: Opracowanie własne.

Tylko 3 z 6 wskaźników – masa, długość i szerokość, łącznie wyjaśniające 90,4% wariancji, weszły w skład jednego czynnika zagregowanego „Konstrukcja”, pozostałe wskaźniki okazały się nieistotne. Do komponentu „Systemy” zagregowane zostały wszystkie wskaźniki wyposażenia dodatkowego, łącznie wyjaśniające 89,7% wariancji.

Wyznaczenie zasadniczych komponentów charakteryzujących czołgi

Na bazie wskaźników zagregowanych przeprowadzono analizę czynników głównych, wyodrębniając 3 zasadnicze komponenty, opisujące 89,2% wariancji zbioru danych. Wszystkie parametry, oprócz kalibru uzbrojenia dodatkowego, są istotne.

Komponent „Mobilność” wiąże ze sobą 3 parametry: moc silnika, zasięg i prędkość. Jest to kombinacja typowa dla czołgów lekkich, w których nacisk położony był właśnie na tą cechę. Komponent „Moc”, gdzie istotny, dodatni wpływ mają parametry konstrukcja, kaliber broni oraz zasięg, opisuje czołgi cięższe, silnie uzbrojone, o większym zasięgu działania. W komponencie „Efektywność” znajdują się czynniki charakterystyczne dla czołgów podstawowych: grubość pancerza oraz jakość wyposażenia dodatkowego.

Tabela 2. Wartości czynników głównych „Mobilność”, „Moc” i „Efektywność”

Wskaźnik	Mobilność [Czołg lekki]	Moc [Czołg ciężki]	Efektywność [Czołg podstawowy]
Konstrukcja	-0,260	0,804	0,244
Pancerz Wieża	0,000	0,014	0,976
Pancerz Kadłub	-0,019	-0,033	1,012
Kaliber Ppanc	0,189	0,891	-0,042
Kaliber Ppiech	0,016	0,953	-0,005
Moc silnika	0,917	-0,099	0,099
Zasięg	0,467	0,476	0,134
Prędkość	0,903	0,119	0,025
Systemy	0,147	0,075	0,832

Źródło: Opracowanie własne.

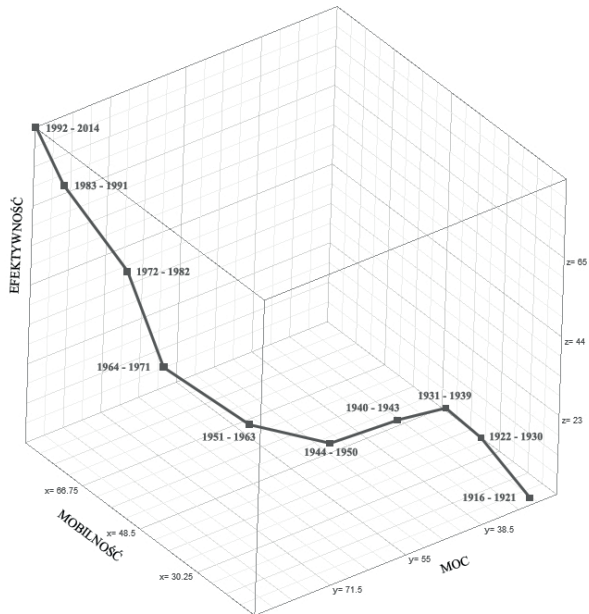
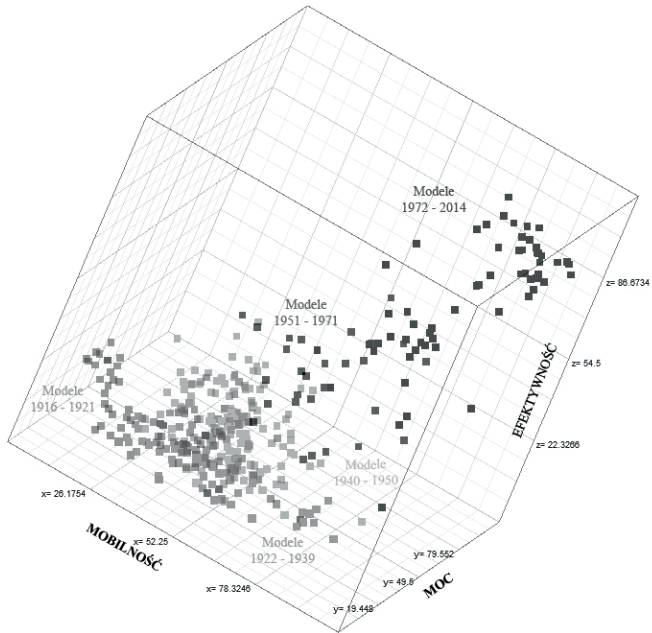
Dla wszystkich modeli czołgów wyznaczono indywidualne wartości komponentów, które następnie przekalkulowano do jednakowej skali (od 0 do 100), co umożliwiło porównanie tempa zmian poszczególnych charakterystyk technicznych.

Tabela 3. Średnie wartości charakterystyk technicznych (komponentów) czołgów

Okres	Lata	Mobilność	Moc	Efektywność	Liczba modeli
I	1916–1921	12	28	4	28
II	1922–1930	36	22	2	26
III	1931–1939	46	23	4	88
IV	1940–1943	44	35	8	118
V	1944–1950	41	52	12	48
VI	1951–1963	48	65	19	15
VII	1964–1971	61	75	31	13
VIII	1972–1982	72	76	50	17
IX	1983–1991	81	84	71	21
X	1992–2014	85	88	86	22

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie średnich wartości komponentów wyliczonych dla czołgów z poszczególnych okresów wykreślona została trajektoria technologiczna, przedstawiona na wykresie 2.



Wykres 2. Wartości komponentów dla poszczególnych modeli czołgów (u góry) i wyznaczona na tej podstawie trajektoria rozwoju technologii (u dołu)

Źródło: Opracowanie własne.

Przebieg trajektorii wskazuje na następującą sekwencję rozwoju technologii czołgów – w pierwszym okresie podstawowym zagadnieniem, na którym skupiały się wysiłki konstruktorów, była mobilność pojazdów. Czołgi I wojny światowej były powolnymi maszynami, jednak w okresie międzywojennym wprowadzone rozwiązania przekształciły je w szybkie i zwinne wozy bojowe. W trakcie II wojny światowej i na początku zimnej wojny prace obejmowały przede wszystkim zdolność do prowadzenia przez czołgi skutecznej walki. Montowano coraz cięższe działa, co pociągało za sobą wzrost wielkości i masy pojazdu, który musiał być zdolny do udźwignięcia rozbudowanego uzbrojenia. Lata 50. i 60. to czas dojrzałości dotychczas stosowanej technologii, kiedy mobilność oraz moce czołgu były rozwijane równomiernie, podczas gdy dotąd przyrost w jednej dziedzinie był osiąganym kosztem drugiej. Równoległy wzrost umożliwiło upowszechnienie się mocniejszych silników diesla, które zastąpiły silniki benzynowe.

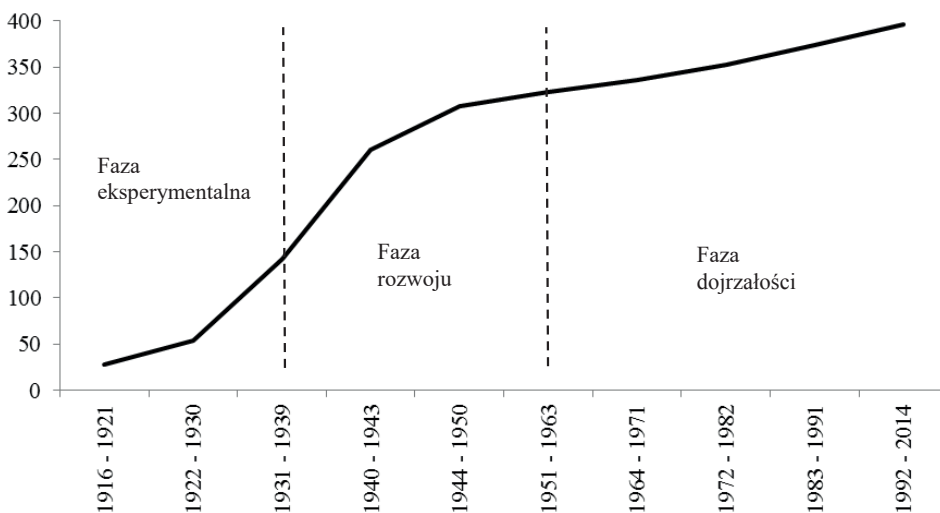
Kolejna zmiana nastąpiła w latach 70. i wyznaczony wówczas kierunek rozwoju jest wciąż aktualny. Rozwój czołgów wiąże się obecnie głównie z wprowadzaniem coraz bogatszego wyposażenia pokładowego. Zwiększono też ochronę załogi poprzez zastosowanie nowych materiałów w konstrukcji pancerza.

Zmiany kierunku trajektorii wyznaczyły także momenty zmiany paradygmatu technologicznego. Zidentyfikowano trzy takie przejścia – na początku II wojny światowej (rozwiązanie problemu mobilności i nacisk na rozwój zdolności walki czołgu), na początku zimnej wojny (rozwój zrównoważony dotychczasowych czynników) oraz w latach 70. (znaczące przyspieszenie rozwoju trzeciego komponentu – efektywności).

Porównanie przebiegu trajektorii przedstawionej w opracowaniu „*Chariots of Fire*” z trajektorią wytyczoną w niniejszym badaniu, dla zbliżonego okresu i podobnych komponentów, wskazuje na daleko idącą zbieżność wyników – podobnie została wyróżniona pierwsza zmiana paradygmatu. Ze względu na mniejszy zakres danych, ograniczonych do 1945 r., „*Chariots of Fire*” nie obejmuje dalszych przemian, w tym związanych z innowacjami w dziedzinie ICT.

Trajektoria technologiczna a cykl życia produktu

Opisane etapy rozwoju czołgów odpowiadają poszczególnym fazom cyklu życia produktu. W fazie eksperymentalnej prowadzone były prace nad różnymi możliwymi projektami i rozwiązaniami technologicznymi. Faza rozwoju charakteryzuje się standaryzacją i mechanizacją procesu produkcyjnego, powstawaniem coraz doskonalszych modeli – ostatecznie też ustalony zostaje dominujące rozwiązanie konstrukcyjne (w przypadku czołgów – *MBT*). W tym czasie swą dojrzałość osiąga też specjalistyczna wiedza, dotycząca efektywnego wykorzystania rozwiniętej technologii (jak doktryna wojsk pancernych). W kolejnej, trzeciej fazie dojrzałości, zasadnicza konstrukcja poddawana jest już tylko modyfikacjom, stosowane są innowacje wynikające z rozwoju technologicznego w innych dziedzinach (np. z branży ICT).



Wykres 3. Fazy cyklu życia produktu, mierzone skumulowaną liczbą modeli czołgów

Źródło: Opracowanie własne.

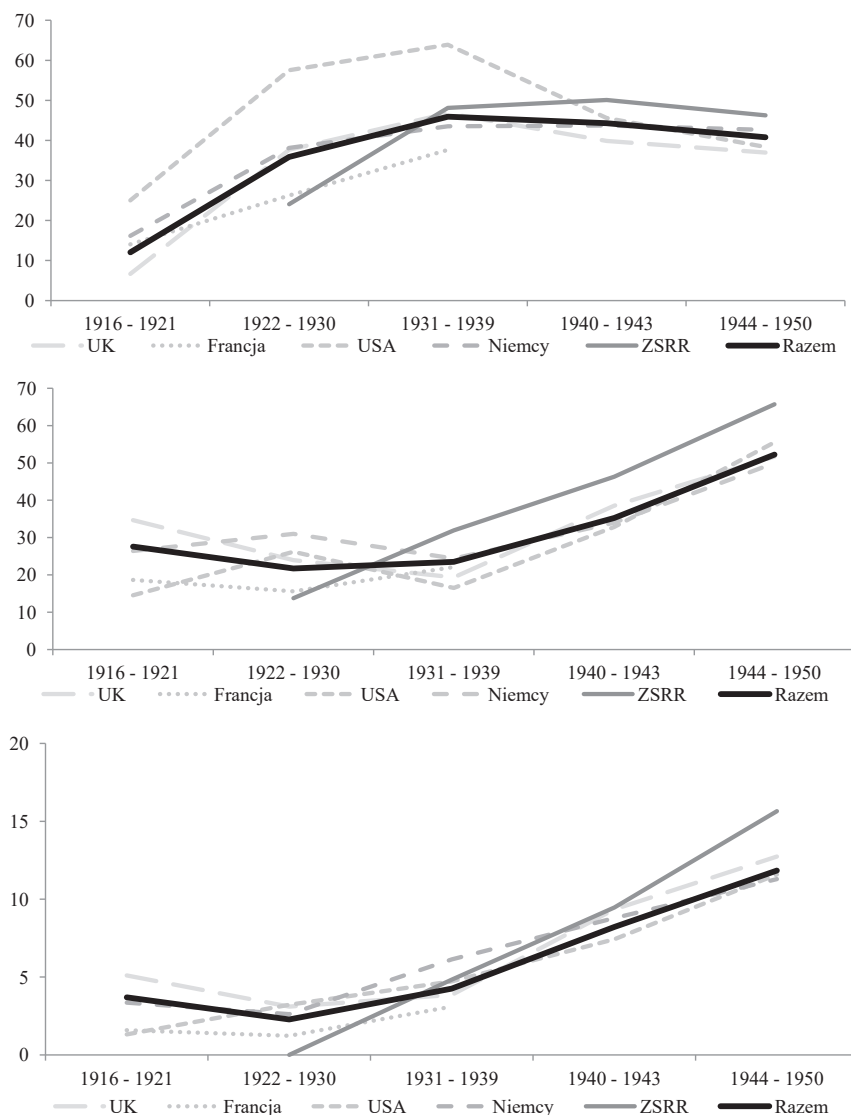
Różnice trajektorii technologicznych poszczególnych państw

W celu zbadania, czy różnice doktrynalne miały wpływ na konstrukcję czołgów, wyliczone zostały trajektorie technologiczne dla najważniejszych państw producentów. Ze względu na to, że zasadnicze różnice w doktrynach istniały do upadku Francji w 1940 r., a zatarły się po II wojnie, porównanie to zostało przeprowadzone w dwu okresach – przed i po rozpoczęciu się zimnej wojny. Trajektorie poszczególnych państw zostały wyznaczone tak samo, co trajektoria ogólna, biorąc pod uwagę jedynie modele danego kraju.

Poniższe wykresy wskazują na to, że kierunek zmian w większości krajów był podobny i zbieżny z ogólnym trendem. Wahania początkowe trajektorii Niemiec i USA wynikają z małej próby eksperymentalnych czołgów tych krajów. Poniżej średniej kształtuje się trajektoria związana z Mobilnością i Efektywnością dla Francji – zgodnie z oczekiwaniami nie były to czynniki istotne w jej doktrynie wojskowej. Charakterystyczna jest trajektoria technologiczna ZSRR. Po początkowym zapóźnieniu rozwój w każdej z kategorii przebiegał szybciej, niż pozostałych państw. Potwierdza to przewagę technologiczną ZSRR w dziedzinie konstrukcji czołgów od lat 30.

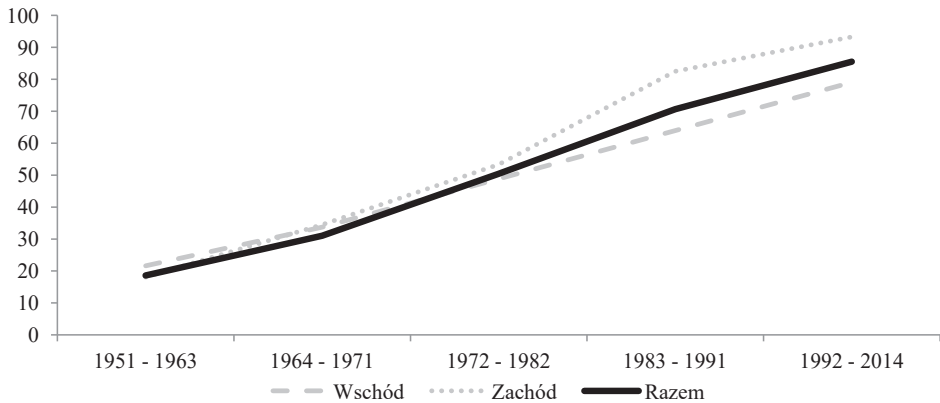
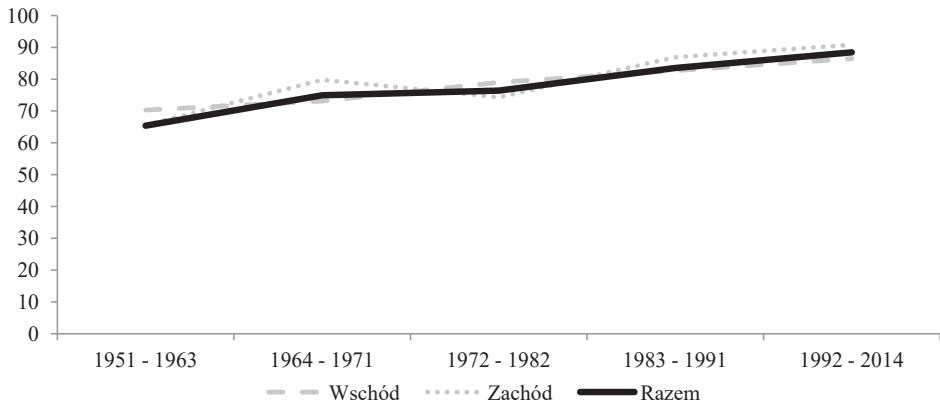
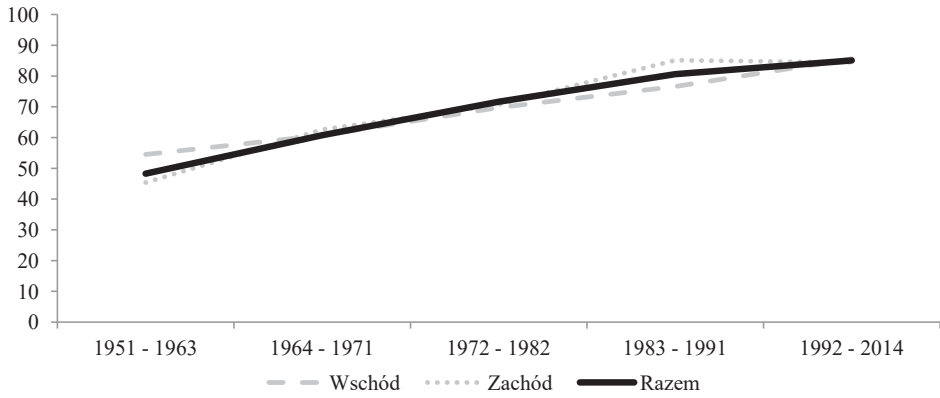
Podobna analiza została przeprowadzona dla okresu po 1950 r. – ze względu na stosowanie zbliżonych doktryn i standardów wyliczono zagregowane trajektorie dla państw „Zachodu” (państwa NATO, Izrael, Indie, Japonia, Korea Płd.) i „Wschodu” (jak ZSRR, Chiny, Jugosławia, Korea Płn.). Konstrukcje wschodnie (radzieckie) zachowywały w początkach zimnej wojny swą wyższość nad czołgami zachodnimi.

Do lat 70. kraje te jednak nadrobiły ten dystans, a wspólnie trajektorie Mobilności i Mocy czołgów zbiegły się. Dokonała się istotna zmiana dot. Efektywności – począwszy od lat 70. widoczna jest przewaga państw zachodnich nad blokiem wschodnim. Wskazuje to na jego zapóźnienie przy wykorzystaniu innowacji z dziedziny informatyki i elektroniki do modernizacji własnych czołgów.



Wykresy 4. Zmiany wartości komponentów „Mobilność”, „Moc” i „Efektywność” w latach 1916–1950

Źródło: Opracowanie własne.

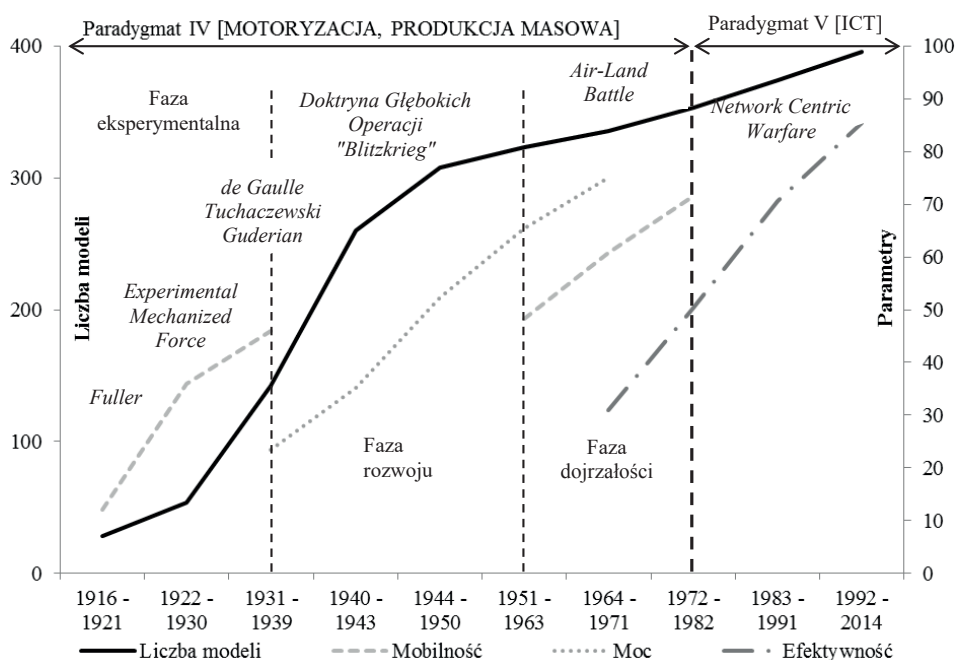


Wykresy 5. Zmiany wartości komponentów „Mobilność”, „Moc” i „Efektywność” w latach 1951–2014

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

W celu pełnego zobrazowania rozwoju technologii broni pancernej w czasie, nałożone zostały na siebie trajektorie technologiczne (w rozumieniu Dosi'ego), poszczególne fazy cyklu życia produktu oraz umowna granica zmiany długookresowego paradygmatu techno-ekonomicznego w skali makro (wg określenia Perez). Otrzymany został w ten sposób zapis ewolucji technologii, przedstawiony na wykresie 6.



Wykres 6. Rozwój technologii czołgu w kontekście zmiany paradygmatu techno-ekonomicznego, cyklu życia produktu oraz przebiegu trajektorii technologicznej

Źródło: Opracowanie własne.

Rozwój technologii czołgów, zgodnie z definicją Dosi'ego, przebiegał w sposób stabilny i regularny, z nielicznymi zwrotami, wyznaczającymi zasadnicze zmiany w paradygmacie technologicznym (w skali mikro).

Zmiany charakterystyk technicznych we wszystkich krajach szły w tym samym kierunku, jakkolwiek czas wdrożenia doskonalszych rozwiązań był różny – niektóre państwa były w awangardzie, pozostałe z opóźnieniem naśladowały ich rozwiązania. W przypadku czołgów pierwszym liderem była Wielka Brytania, której doświadczenia były podstawą do rozwoju tej technologii we wszystkich

pozostałych państwach. Podobną rolę mogła też wypełniać Francja, jednakże doktrynalne zamknięcie się decydentów tego kraju spowodowało, że jej potencjał został zaprzepaszczoney.

Brytyjskie osiągnięcia najpełniej wykorzystał Związek Radziecki, który przejął pozycję lidera w latach 30. i utrzymywał ją aż do czasów zimnej wojny. Dopiero wyczerpanie się możliwości rozwoju w ramach dotychczasowego paradygmatu techno-ekonomicznego i zmiana podstawowego źródła innowacji na technologie ICT, których ZSRR nie był w stanie wykorzystać, spowodowało, że liderami w konstrukcji nowoczesnych czołgów stały się państwa zachodnie oraz korzystające współcześnie z ich dorobku Chiny.

Najbardziej zaawansowane technologicznie pod względem produkcji broni pancерnej pozostają te kraje, które w swej historii prowadziły działania wojenne (m.in. Rosja, USA, Izrael). Doświadczenia płynące z posiadania własnego przemysłu zdolnego do produkcji czołgów, jak i wykorzystania tych czołgów w praktyce, pozwoliły na akumulację wiedzy technologicznej, z której można było korzystać przy konstruowaniu kolejnych maszyn.

Historia rozwoju technologii przebiegała także zgodnie z fazami cyklu życia produktu, tj. wystąpiła faza eksperymentalna (1916–1930), kiedy testowano różne możliwe konstrukcje i zastosowania czołgu, faza dynamicznego rozwoju (1931–1950), w której potwierdzona została znacząca użyteczność czołgu, wykształciła się dojrzała wiedza nt. właściwego jego zastosowania oraz wyłoniła się ostateczna, dominująca konstrukcja. W fazie dojrzałości (od 1951 r.) rozwój technologii był już wolniejszy, sprowadzał się jedynie do implementacji kolejnych, już mniej radykalnych rozwiązań technicznych.

Pełen rozwój technologii miał miejsce w ramach paradygmatu techno-ekonomicznego, charakteryzującego się dominacją m.in. przemysłu motoryzacyjnego, z którego pochodziły zasadnicze innowacje w tym okresie (jedną z nich był właśnie czołg). Przy przejściu do nowego paradygmatu w latach 70., przemysł motoryzacyjny osiągnął już pełną dojrzałość i przestał stanowić źródło znaczących innowacji, a tę rolę przejęła branża oparta na technologiach informacyjnych. Do dziś innowacje wdrażane w czołgach pochodzą już z gałęzi gospodarek zewnętrznych w stosunku do przemysłu motoryzacyjnego czy zbrojeniowego.

Przeprowadzona analiza wykazała, że rozwój technologiczny charakteryzuje się regularnym przebiegiem, mającym swój wyraz w zmianie wartości charakterystyk technicznych wytworów tej technologii. Dopiero wyczerpanie się możliwości dalszego rozwoju wzdłuż danej ścieżki powoduje poszukiwanie nowych możliwości, zmianę obowiązującego paradygmatu i wejście na odmienną trajektorię rozwojową. Taka specyfika postępu technologicznego otwiera możliwości dokonywania ocen potencjału rozwojowego – zarówno poszczególnych technologii, jak i całych branż czy gospodarek.

Aneks

Wyliczenia w ramach analizy czynników głównych zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu programu Factor 9.2. W celu udostępnienia bazy danych oraz wyników obliczeń należy skontaktować się z autorem badania.

Bibliografia

- Andersen E.S., *Schumpeters core work revisited. Resolved problems and remaining challenges*, Journal of Evolutionary Economics manuscript, 2012.
- Bousquet A., *Chaoplexic warfare or the future of military organization*, International Affairs 84, 2008.
- Castaldi C., Fontana R., Nuvolari A., *“Chariots of Fire”: The Evolution of Tank Technology, 1915–1945*, ECIS, Working Paper 06.02, 2006.
- Corum J.S., *A Clash of Military Cultures: German & French Approaches to Technology Between the World Wars*, USAF Academy Symposium, 1994.
- Dosi G., Nelson R., *Technical change and industrial dynamics as evolutionary processes*, LEM Working Papers 2009/07, 2009.
- Dosi G., Orsenigo L., *Coordination and transformation: an overview of structures, behaviours and change in evolutionary environments*, [w:] Dosi G., Freeman C., Nelson R., Soete L., *Technical Change and Economic Theory*, Sant’Anna School of Advanced Studies, 1988.
- Dosi G., *Technological paradigms and technological trajectories*, Research Policy 11, 1982.
- Foley R.T., *Breaking Through: The German Concept of Battle in 1918*, Academia.edu, 2013.
- Frenken K., Silverberg G., Valente M., *A percolation model of the product lifecycle*, UNU-MERIT, Working Paper Series #2008–073, 2008.
- Fuller J.F.C., *Memoirs of Unconventional Soldier*, Ivor Nicholson and Watson, Londyn, 1936.
- Lakowski P., *Armor Basics*, Scribd.com, 2008.
- Lorenzo-Seva U., Ferrando P. J., *Factor*, Universitat Rovila i Virgili, Tarragona, <http://psico.fcep.urv.es/utilitats/factor>, 2006.
- Nelson R., Winter S., *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge, 1982.
- Perez C., *Technological revolutions and techno-economic paradigms*, Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics, No. 20, Tallinn University of Technology, 2009.
- Sołomin M., *22 czerwca 1941, czyli jak zaczęła się wielka wojna ojczyźniana*, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań, 2007.
- Srholec M., Verspagen B., *The Voyage of the Beagle in Innovation Systems Land. Explorations on Sectors, Innovation, Heterogeneity and Selection*, UNU-MERIT, Working Paper Series #2008–008, 2008.
- Williamson M., *Looking at Two Distinct Periods of Military Innovation: 1872–1914 and 1920–1939*, Institute for Defense Analyses, Joint Advanced Warfighting Program, IDA Paper P-3799, 2002.

Streszczenie

W artykule omówiona i zweryfikowana zostaje teoria paradygmatu oraz trajektorii technologicznej, według której rozwój technologii nie jest zjawiskiem losowym, ale charakteryzuje się regularnymi stabilnym przebiegiem wyznaczającym trajektorię technologiczną. Owa regularność wynika ze stosowania podobnych metod rozwiązywania zagadnień technicznych, wyznaczonych przez obowiązujący paradygmat.

Przeprowadzona na przykładzie czołgów analiza procesu zmian charakterystyk technicznych potwierdza istnienie takiej regularności. Wskazane zostały punkty zwrotne, rozgraniczające kolejne fazy rozwoju tej technologii, związane ze zmianami paradygmatu technologicznego i odpowiadające klasycznym fazom cyklu życia produktu.

Słowa kluczowe: ekonomia ewolucyjna, ekonomia neo-schumpeterowska, innowacje, paradygmat technologiczny, trajektoria technologiczna, cykl życia produktu

Klasyfikacja JEL: B52, O30, O33, N40, N70