

UNIWERSYTET GDAŃSKI  
WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

---

NATALIA MICHAŁEK

ANALIZA PORÓWNAWCZA EFEKTYWNOŚCI  
ZASTOSOWANIA WIRTUALIZACJI TECHNOLOGII  
INFORMATYCZNYCH W ORGANIZACJACH

PRACA DOKTORSKA  
PRZYGOTOWANA POD KIERUNKIEM  
PROF. UG DR HAB. INŻ. BARTŁOMIEJA GAWINA

SOPOT 2023

<b>Wykaz akronimów i skrótów .....</b>	<b>4</b>
<b>Wstęp.....</b>	<b>7</b>
<b>Rozdział 1. Wyzwania informatyczne w zarządzaniu.....</b>	<b>15</b>
1.1. <i>Znaczenie technologii informatycznych w zarządzaniu przedsiębiorstwem .....</i>	15
1.2. <i>Wirtualizacja IT.....</i>	36
1.3. <i>Green Computing .....</i>	44
1.3.1. <i>Główne założenia idei Green Computing .....</i>	44
1.3.2. <i>Trend ekologiczny w wirtualizacji .....</i>	49
1.4. <i>Cloud Computing .....</i>	54
1.4.1. <i>Modele chmury obliczeniowej .....</i>	54
1.4.2. <i>Usługi chmury publicznej .....</i>	61
1.4.3. <i>Wirtualizacja IT a Cloud Computing .....</i>	67
<b>Rozdział 2. Rola wirtualizacji w infrastrukturze IT .....</b>	<b>71</b>
2.1. <i>Ewolucja wirtualizacji środowiska informatycznego.....</i>	71
2.2. <i>Metody wirtualizacji zasobów informatycznych .....</i>	78
2.2.1. <i>Klasyfikacja typów architektury wirtualizacji .....</i>	78
2.2.2. <i>Komercyjne rozwiązania wirtualizacyjne .....</i>	93
2.3. <i>Zastosowanie wirtualizacji w praktyce .....</i>	99
2.3.1. <i>Wirtualizacja serwerów .....</i>	100
2.3.2. <i>Wirtualne środowisko desktopów .....</i>	102
2.3.3. <i>Wirtualizacja aplikacji.....</i>	105
2.3.4. <i>Wirtualna prezentacja (interfejs) .....</i>	108
2.3.5. <i>Pamięć wirtualna .....</i>	109
2.3.6. <i>Wirtualizacja zasobów sieciowych .....</i>	111
2.4. <i>Modele wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych .....</i>	113
2.5. <i>Prognozy rynku rozwoju technologii wirtualizacji .....</i>	116
<b>Rozdział 3. Ekonomiczne zagadnienia technologii wirtualizacji .....</b>	<b>121</b>
3.1. <i>Wirtualizacja w kontekście CSR i ESG .....</i>	121
3.2. <i>Analiza ROI/TCO rozwiązań wirtualizacyjnych .....</i>	125
3.2.1. <i>Opis wskaźników ROI i TCO .....</i>	125
3.2.2. <i>Klasyfikacja kosztów wdrażania .....</i>	136
3.2.3. <i>Narzędzia pomiaru rentowności inwestycji – kalkulatory ROI/TCO .....</i>	142
<b>Rozdział 4. Metodyka badań DSR, a zastosowanie technologii wirtualizacji.....</b>	<b>145</b>
4.1. <i>Opis metody badawczej DSR.....</i>	145
4.2. <i>Przegląd kalkulatorów ROI/TCO.....</i>	154
4.3. <i>Studium pięciu przypadków.....</i>	178
4.3.1. <i>Organizacja badań .....</i>	178
4.3.2. <i>Próba badawcza.....</i>	179
4.3.3. <i>Charakterystyka badanych organizacji i przeprowadzonych wdrożeń .....</i>	180
4.4. <i>Wnioski z przeprowadzonych badań .....</i>	194

4.4.1. Funkcjonalne podsumowanie z przeglądu kalkulatorów ROI/TCO .....	194
4.4.2. Wnioski ze studium przypadków .....	195
4.4.3. Korzyści i ograniczenia technologii wirtualizacji .....	210
4.5. <i>Opis artefaktu – prototypu kalkulatora ROI/TCO</i> .....	217
4.6. <i>Warsztat demonstracyjny – ewaluacja prototypu kalkulatora ROI/TCO</i> .....	223
4.7. <i>Walidacja artefaktu</i> .....	242
<b>Zakończenie</b> .....	<b>251</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>260</b>
<b>Netografia</b> .....	<b>266</b>
<b>Spis rysunków</b> .....	<b>269</b>
<b>Spis tabel</b> .....	<b>270</b>
<b>Załącznik 1 – Formularz wywiadu</b> .....	<b>272</b>

## Wykaz akronimów i skrótów

<b>Akronim/skrót</b>	<b>Pełna nazwa</b>
AaaS	Archive as a Services
AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
app	Applications
B	Byte
BI	Business Intelligence
BIOS	Basic Input/Output System
BLOB	Binary Large Object
BPaaS	Business Proces as a Services
BSD/BSDL	Berkeley Software Distribution License
BYOD	Bring Your Own Device
CaaS	Communications as a Service
CaaS	Content as a Services
CAPEX	Capital Expenditures
CARTA	Continuous Adaptive Risk and Trust Assessment
CC	Cloud Computing
CDDL	Common Development and Distribution License
CD-ROM	Compact Disc Read Only Memory
CEIDG	Centralnej Ewidencji i Informacji o Działalności Gospodarczej
CEO	Chief Executive Officer
CFO	Chief Financial Officer
CIO	Chief Information Officer
CMS	Cambridge Monitor System
CMS	Content Management System
CPU	Central Processing Unit
CRM	Customer Relationship Management
CSR	Corporate Social Responsibility
CTO	Chief Technology Officer
CTSS	Compatible Time-Sharing System
DaaS	Desktop as a Services
DAS	Direct Attached Storage
DRaaS	Disaster Recovery as a Services
EaaS	Email as a Services
ERP	Enterprise Resource Planning
ESG	Environmental, Social and Governance
E&M	Entertainment and Media
FFA	Field Force Automation
FSM	Field Service Management
FTE	Full-time equivalent
FTP	File Transfer Protocol
GB	Gigabyte
GPL/LGPL	(Lesser) General Public License
HBA	Host Bus Adapter
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure

I/O	Input/Output
IaaS	Infrastructure as a Service
IDI	Individual in Depth Interview
IDS/IPS	Intrusion Detection/Prevention System
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IPaaS	Integration Platform as a Services
ISA	Instruction Set Architecture
ISO	International Organization for Standardization
IT/ICT	Information and Communications Technology
IVR	Interactive Voice Response
kB	Kilobyte
kg	Kilograms
KPI	Key Performance Indicators
kWh	Kilowatt hour
LAN	Local Area Network
lbs	Pounds
MaaS	Monitory as a Services
MB	Megabyte
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MMU	Memory Management Unit
MŚP	Małe i średnie przedsiębiorstwa
MWh	Megawatt hours
NaaS	Network as a Services
NAS	Network Attached Storage
NIST	National Institutes of Standards and Technology
OPEX	Operating Expenditures
OS	Operating System
PaaS	Platform as a Service
PB	Petabyte
PC	Central processing unit
PDP-10	Programmed Data Processor (model 10)
PVC	Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator
RAM	Random-access memory
ROI	Return On Investment
SaaS	Software as a Service
SAN	Storage Area Network
SI	Information System
SOA	Service-Oriented Architecture
STaaS	Storage as a Services
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
TB	Terabyte
TCO	Total Cost of Ownership
TOWS	Threats, Opportunities, Weaknesses, Strengths
ULM	User-Level Monitor
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
URL	Uniform Resource Locator
USA	United States of America

VDI	Virtual Desktop Infrastructure
VLAN	Virtual Local Area Network
VM	Virtual Machine
VMM	Virtual Machine Manager
VPN	Virtual Private Network
VR	Virtual Reality
VRF	Virtual Routing and Forwarding
VSS	Virtual Switching System
VXLAN	Virtual Extensible LAN
Wine	Wine is not emulator
WWW	World Wide Web
XaaS	Anything as a Services

## Wstęp

Idea **wirtualizacji**, choć znana od kilku dziesięcioleci, do niedawna była w większości projektów transformacji cyfrowej przedsiębiorstw pomijana, zwłaszcza w obszarze optymalizacji wykorzystania sprzętu komputerowego. Jednak w ciągu ostatnich kilkunastu lat pojawiły się nowe wytyczne dla oprogramowania, które do prawidłowego działania wymaga coraz większych zasobów pamięci i sprzętu informatycznego. Stąd wirtualizacja IT stała się ważną technologią na rynku usług teleinformatycznych.

Wirtualizacja to technologia, która w sposób diametralny zmienia sposób tworzenia i wykorzystywania środowiska informatycznego. Jest to metoda na uruchamianie wielu wirtualnych komputerów lub serwerów na jednej platformie sprzętowej bez obaw, że awaria jednego wirtualnego komponentu spowoduje automatyczną awarię pozostałych. Opisywaną technologię łatwo zrozumieć na przykładzie **wirtualnej maszyny VM** (ang. *Virtual Machine*). Realizowana jest ona wtedy, gdy systemy operacyjne i aplikacje zostają połączone w różnych konfiguracjach w celu utworzenia wirtualnych maszyn, które są umieszczone na fizycznym serwerze, działającym niezależnie od VM. Zatem wirtualizacja zasobów informatycznych to trwałe rozdzielenie dwóch warstw każdego systemu komputerowego: sprzętu i systemu operacyjnego, na której zainstalowane są aplikacje – osadzonych i działających w obrębie jednej maszyny cyfrowej. Oprócz istniejących komponentów dodatkem jest warstwa programowa zwana **hipernadzorcą, hypervisorem** lub monitorem maszyn wirtualnych VMM (ang. *Virtual Machine Manager*), implementująca funkcjonalność sprzętu – komputer w komputerze. Główną przesłanką idei wirtualizacji jest fakt, że zwykle obciążenie aplikacjami wykorzystuje jedynie ułamek możliwości sprzętowych komputera lub serwera. Łącząc wzajemnie uzupełniające się obciążenia pracą w zakresie przetwarzania danych i wykorzystania pamięci, można zredukować liczbę fizycznych maszyn niezbędnych do obsługi wykonywanych operacji biznesowych, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na przestrzeń, sprzęt oraz energię elektryczną wykorzystywaną do zasilania i chłodzenia zespołów serwerów. Opisywana technologia niesie ze sobą cały wachlarz zalet, takich jak redukcja kosztów, podniesiony poziom usług, czy wysoka elastyczność i skalowalność infrastruktury, jednak nie jest pozbawiona pewnych wad, np. potencjalna awaria serwera hosta. Dlatego też główny problem badawczy w niniejszej dysertacji został sformułowany w następujący sposób: „**Jakie są korzyści i ograniczenia efektów wdrażania technologii wirtualizacji w środowisko informatyczne przedsiębiorstwa?**”.

W dobie społeczeństwa informacyjnego nie ma wątpliwości, że należy stosować narzędzia i technologie informatyczne. Pozostaje pytanie jak należy to robić, aby osiągnąć największą efektywność zastosowania i jak tą efektywność można mierzyć? Technologia wirtualizacji jest metodą bardziej efektywnego wykorzystywania posiadanej infrastruktury, gdzie efektywność należy rozumieć jako stosunek pomiędzy osiągniętymi efektami, a ponoszonymi nakładami na IT. Firmy, starając się zwiększyć efektywność wykorzystywanych zasobów informatycznych, poszukują przede wszystkim sposobów redukcji ponoszonych kosztów – sprzętu, oprogramowania, administracji, itp. W celu jednoznacznej oceny efektywności inwestycji informatycznej należy dokonać kwantyfikacji, czyli w sposób mierzalny zdefiniować zarówno efekty (korzyści) jak i nakłady (koszty). Opłacalność inwestycji informatycznej można mierzyć wykorzystując do tego celu różne wskaźniki. Do najczęściej stosowanych zalicza się m.in. **wskaźnik ROI (ang. Return On Investment)** oraz **analizę TCO (ang. Total Cost of Ownership)**. Wskaźnik ROI określa stopę zwrotu z inwestycji. ROI jest stosunkiem zysku (oszczędności uzyskanych przez inwestycję w czasie  $t$ ) do początkowego nakładu inwestycyjnego, gdzie zysk, w przypadku wirtualizacji, będzie rozumiany jako różnica kosztów powstania, funkcjonowania i utrzymania (przez czas  $t$ ) pomiędzy środowiskiem fizycznym i wirtualnym. Natomiast analiza TCO służy do oceny bieżących i prognozowanych wydatków na infrastrukturę informatyczną. TCO pozwala obliczyć całkowity koszt utrzymania (lub posiadania) informatyki, a użycie tej analizy umożliwia identyfikację wszystkich kosztów, związanych z użytkowaniem technologii IT, przez przedsiębiorstwo. Pomiar efektywności technologii wirtualizacji jest możliwy dzięki użyciu kalkulatorów ROI/TCO, które w sposób przejrzysty prezentują koszt oraz zwrot z inwestycji poniesionej na przeniesienie maszyn fizycznych do środowiska wirtualnego w perspektywie od 3 do 6 lat do przodu.

Ponadto pojęcie wirtualizacji jest ściśle związane z ideą „zielonego IT” (**ang. Green Computing**), gdyż opisywana technologia, oprócz korzyści finansowych, niesie ze sobą również redukcję zużycia energii, co oznacza zmniejszenie emisji dwutlenku węgla wytwarzanego przez infrastrukturę organizacji. Tym samym implementacja wirtualnych rozwiązań wpisuje się w trend ekologiczny, czyniąc taką firmę społecznie odpowiedzialną i działającą w zgodzie z definicją **CSR (ang. Corporate Social Responsibility)**. CSR to nowoczesna koncepcja zarządzania firmą, która bierze pod uwagę wpływ działań przedsiębiorstwa na otoczenie lokalne: mieszkańców danego obszaru, środowisko naturalne i tego wszystkiego na co firma ma wpływ lub oddziałuje. Zarówno konsolidacja jak i wirtualizacja, pozwalają maksymalizować efektywność energetyczną obszaru IT (poprzez



redukcję zużycia energii potrzebnej do zasilania i klimatyzowania urządzeń) przy zachowaniu najwyższych wymagań dotyczących dostępności, wydajności i bezpieczeństwa środowiska informatycznego. Dodatkowo w ostatnich latach na popularności zyskało pojęcie **ESG (ang. *Environmental, Social and Corporate Governance*)**, które dotyka obszarów związanych z ochroną środowiska naturalnego, odpowiedzialnością społeczną i ładem korporacyjnym. To kluczowe kryteria, na które powinna zwracać uwagę każda firma, która dąży do odpowiedzialnego i zrównoważonego rozwoju.

Kolejnym pojęciem związanym z wirtualizacją jest **chmura obliczeniowa (ang. *Cloud Computing*)**. Fundamentem efektywnie działającej usługi w modelu Cloud Computing jest technologia, a dokładnie jakość, szybkość i skalowalność infrastruktury oraz przepustowość sieci. Technologia maszyn wirtualnych wspiera model chmury poprzez dostarczenie najbardziej wydajnego rozwiązania pod rozwój usług CC, jak również poprzez możliwość budowania własnych, prywatnych chmur. Chmura obliczeniowa zarządza przydzielaniem, dostarczaniem i prezentowaniem zwirtualizowanych zasobów. Wirtualizacja nie jest konieczna do utworzenia środowiska opartego na chmurze, ale umożliwia dynamiczne skalowanie zasobów w sposób nieosiągalny dla środowisk niewirtualizowanych. To czyni z technologii wirtualizacji podwalinę do budowania nowych usług i modeli biznesowych, szczególnie dla **e-biznesu**.

Technologia wirtualizacji to bardzo obszerny temat, który można poddawać badaniom zarówno od strony informatycznej, ekonomicznej, jak również ekologicznej. Tylko holistyczne podejście do omówienia tematu zapewni przedstawienie technologii wirtualizacji w sposób pełny i wyczerpujący. Przedstawione powyżej przesłanki były głównymi inspiracjami do wyboru tematyki niniejszej dysertacji.

Głównym celem dysertacji jest opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO do oceny efektywności zastosowania technologii wirtualizacji, jak również jego późniejsza praktyczna weryfikacja i ewaluacja w wybranych organizacjach (w czasie warsztatu symulacyjnego), a następnie walidacja. Do realizacji celu głównego niniejszej rozprawy prowadziły następujące cele pośrednie:

1. Wykonanie analizy uwarunkowań i determinantów istotnych w technologii wirtualizacji i procesach jej implementacji w infrastrukturę IT organizacji.
2. Wykonanie analizy porównawczej istniejących kalkulatorów ROI/TCO w celu wskazania punktów wspólnych oraz braków, jak również późniejszej unifikacji narzędzia.

Aby osiągnąć cel badawczy, wykorzystano metodykę badań projektowych **DSR** (**ang. Design Science Research**). DSR to podejście do badań naukowych zaproponowane przez A. Hevnera i in., które zakłada, że na podstawie wiedzy naukowej, wiedzy środowiska gospodarczego determinującego przedmiot badań, generowana jest nowa, oryginalna wiedza, uzupełniająca zasoby wiedzy uprzedniej, ale równocześnie mająca znaczenie i użyteczna dla przedstawicieli praktyki gospodarczej. W konsekwencji przyjęcia podejścia DSR, należy oczekiwać oryginalnego rozwiązania naukowego i narzędzia użytecznego dla praktyków (tzw. **artefaktu**). Zatem DSR podejmuje praktyczne wyzwania, jednocześnie wnosząc wkład zarówno w praktykę, jak i teorię, zyskując w ten sposób coraz większe uznanie wśród badaczy systemów informatycznych. Metodyka DSR z powodzeniem jest również wykorzystywana do tworzenia projektów zapewniających najwyższą użyteczność w kontekście zarządzania procesami biznesowymi.

Zgodnie z DSR autorka zaprojektowała w niniejszej pracy linię badań, która zakłada pięć głównych kroków badawczych:

1. Badania literaturowe, wywiady i przegląd dostępnych kalkulatorów ROI/TCO.
2. Wnioski z badań zakończone zdefiniowaniem wymagań funkcjonalnych artefaktu.
3. Opis artefaktu - prototypu kalkulatora ROI/TCO.
4. Ewaluacja artefaktu podczas warsztatu demonstracyjnego (symulacyjnego).
5. Walidacja gotowego prototypu kalkulatora ROI/TCO.

**W kroku pierwszym** zostanie przeprowadzony systematyczny przegląd literatury oraz badania empiryczne. Celem badań jest pozyskanie oraz usystematyzowanie wiedzy dostępnej w literaturze krajowej i zagranicznej na temat wirtualizacji – definicji, klasyfikacji, zastosowań, a także znaczenia w kontekście pojęć takich jak Cloud Computing, Green Computing, CSR i ESG. Ponadto wskazana zostanie definicja ROI oraz TCO. Należy podkreślić fakt, że tematyka wirtualizacji jest opisywana w dostępnej literaturze głównie w ujęciu technologicznym (szczególnie w źródłach cyfrowych i anglojęzycznych). Relatywnie niewiele istnieje publikacji poruszających ten temat w kontekście ekonomicznym i ekologicznym, stąd realizacja celu badań pozwoli na uzupełnienie tej luki poznawczej. Ponadto w ramach badań empirycznych autorka dokona przeglądu pięciu kalkulatorów ROI/TCO. Źródłem danych będą komercyjne narzędzia, które są lub były powszechnie dostępne: Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator, VMware ROI TCO Calculator, VMware TCO Comparison Calculator, VMware Cloud on AWS TCO Calculator, Azure TCO Calculator oraz VMware Carbon Calculator. Wskazane narzędzia zostaną poddane

szczegółowej analizie, a następnie krytyce. Trzecim, istotnym elementem kroku pierwszego przyjętej linii badań jest studium przypadków implementacji technologii wirtualizacji przez polskie i międzynarodowe organizacje. Autorka niniejszej dysertacji dokonała szerokich poszukiwań potencjalnych respondentów swoich badań. W rezultacie wybranych zostało pięć zdywersyfikowanych organizacji. Badaniom zostały poddane przedsiębiorstwa zarówno z sektora publicznego, jak i prywatnego, które prezentują różne gałęzie biznesu – branża edukacyjna, wydawnicza, informatyczna i ubezpieczeniowa. Zdywersyfikowana była również kwestia wielkości organizacji, wybrano małe, średnie i duże przedsiębiorstwa. Badane organizacje działają zarówno na rynku polskim, jak i międzynarodowym, a swoje usługi kierują do klienta indywidualnego (ang. *Business to Customer*) oraz instytucjonalnego (ang. *Business to Business*). Zróżnicowana została także kwestia posiadania centrum przetwarzania danych – jedna z firm posiada tylko i wyłącznie własny zespół IT oraz serwerownie, druga dzierżawi zasoby informatyczne, a pozostałe posiadają hybrydy obydwu modeli. Wszystkie badane jednostki istnieją powyżej 10 lat. Taki dobór organizacji pozwoli zbadać wirtualizację w firmach, które swoją działalność rozpoczynały w czasach, gdy wirtualizacja nie była jeszcze powszechnie stosowana, co oznacza, że mogły się rozwijać wraz ze zmieniającą się technologią. Materiał został zebrany przy użyciu metody wywiadu pogłębionego **IDI** (ang. *Individual in Depth Interview*) podczas spotkań przeprowadzonych w przedsiębiorstwach lub telefonicznie, w którym wykorzystano pytania zamknięte, półotwarte i otwarte. Taka konstrukcja kwestionariusza pozwoli na wykorzystanie rzetelnego źródła danych, czyli zbadanie uwarunkowań wdrożeń i dokonanie analizy porównawczej wyników. Badanie ma na celu analizę procesu wdrożenia oraz ocenę skutków wdrażania technologii wirtualizacji w środowisku informatycznym organizacji.

**Krok drugi** przyjętej w niniejszej pracy linii badań, to opracowanie wniosków z zebranych materiałów literaturowych oraz badań empirycznych. Dodatkowo, ocena funkcjonalności dostępnych kalkulatorów ROI/TCO, ich porównanie, wskazanie niejednoznaczności i luk, stanie się istotną podstawą stworzenia prototypu autorskiego kalkulatora ROI/TCO. Ostatnim źródłem wniosków będzie zestawienie doświadczeń projektowych menedżerów IT. Zebrane wnioski będą podstawą identyfikacji wymagań funkcjonalnych prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Zdefiniowanie artefaktu, czyli opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO, to **trzeci krok** przyjętej linii badań zgodnej z DSR. Narzędzie zostanie stworzone w wersji prototypowej w arkuszu kalkulacyjnym Excel z formularzem na dane wejściowe, listy rozwijane z wartościami do wyboru, słowniki danych, a przede wszystkim zdefiniowane

formuły opracowane zgodnie z przyjętymi algorytmami. Na tej podstawie kalkulator będzie generował oszacowane wartości TCO, ROI (jako wielkość procentowa, jak również czas zwrotu z inwestycji w ujęciu czasu) oraz potencjalny, zredukowany w wyniku wirtualizacji, poziom emisji dwutlenku węgla. Ponadto narzędzie wygeneruje wykresy wskazujące TCO i ROI w ujęciu od 3 do 6 lat. Sam artefakt w kroku trzecim zostanie opisany w sposób szczegółowy na bazie wskazanych w poprzednim kroku wniosków.

W ramach **kroku czwartego** artefakt zostanie poddany ewaluacji w trakcie symulacji i warsztatów demonstracyjnych prototypu kalkulatora ROI/TCO, które przeprowadzone zostaną z wybranymi menedżerami IT, którzy byli również respondentami w ramach przeprowadzonych badań empirycznych. Warsztaty będą polegały na prezentacji narzędzia wraz z symulacją obliczeń, czyli analizą porównawczą za pomocą prototypu. Wynikiem tejże analizy będzie identyfikacja, dla wybranych organizacji poddanych badaniom empirycznym, wszystkich kosztów wdrożenia wirtualizacji, obliczenie TCO i ROI, sięgające w perspektywie od 3 do 6 lat do przodu, jak również poziom emisji CO<sub>2</sub>. Ponieważ artefakt, zgodnie z DSR, należy stworzyć w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny (co pozwala na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie), to na podstawie wniosków pozyskanych w trakcie warsztatu, dokonane zostaną udoskonalenia konstrukcji artefaktu dla polepszenia jego efektywności. W takim przypadku spowoduje to powrót do kroku drugiego i wskazanie nowych wymagań funkcjonalnych.

**Piąty krok** przyjętej linii badań zgodnej z DSR, to walidacja artefaktu, czyli ocena gotowego prototypu, która zostanie dokonana przez autorkę niniejszej pracy pod względem trafności, użyteczności, skuteczności, efektywności oraz trwałości. Cała linia badań zakończy się opracowaniem implikacji teoretycznych i praktycznych z zakresu efektywności technologii wirtualizacji i samego artefaktu – prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Dla osiągnięcia wskazanych w pracy celów poddano ponadto weryfikacji następującą hipotezę główną: **„Wdrożenie technologii wirtualizacji zapewnia efektywne wykorzystanie zasobów informatycznych przedsiębiorstwa”**.

Hipoteza główna została uszczegółowiona w następujących hipotezach pomocniczych:

- H1.** Kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji.
- H2.** Technologia wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computing oraz jest częścią polityki CSR i pojęcia ESG.
- H3.** Wirtualizacja jest wydajną metodą dostarczania usług w modelu Cloud Computing.

Rozprawa doktorska składa się z czterech rozdziałów. **Rozdział pierwszy** stanowi identyfikację i przybliża znaczenie współczesnych technologii informatycznych. W tej części pracy zostało przybliżone pojęcie technologii wirtualizacji wraz ze wskazaniem jej definicji i głównymi przesłankami. Ponadto poruszone zostały zagadnienia związane z modelem Green Computing i Cloud Computing. W przypadku „zielonego IT” przybliżone zostały główne założenia tej idei, przykłady ekologicznych rozwiązań oraz wskazanie dlaczego technologia wirtualizacji wpisuje się w ten trend. Część dotycząca CC to przede wszystkim opis modelu chmury obliczeniowej, przegląd dostępnych w literaturze definicji, rodzajów chmur oraz skatalogowanie usług z ich opisem i przykładami. Istotną częścią jest technologiczny aspekt CC, czyli opis wirtualizacji w kontekście chmury obliczeniowej.

Wprowadzenie w wirtualizację środowiska informatycznego to temat **rozdziału drugiego**. W tej części, poprzez historyczny wymiar oraz przegląd zagadnień związanych z tematem pracy, przedstawiono wirtualizację w dynamicznej infrastrukturze IT. Ponadto dokonano przeglądu klasyfikacji typów architektury wraz ze wskazaniem własnego podziału oraz skatalogowano dostępne rozwiązania wirtualizacyjne. Ponadto zostały wskazane zastosowania wirtualizacji – serwer, desktop, aplikacja, prezentacja (interfejs), pamięć i sieć – wraz z ich opisem. Tam również przedstawiono dostępne w literaturze teorie wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych. Rozdział zakończono prognozą rynku rozwoju technologii wirtualizacji.

**Rozdział trzeci** to przedstawienie technologii w ujęciu ekonomicznym. Taki wymiar wirtualizacji został wskazany dzięki omówieniu analizy ROI/TCO, a także technologii w kontekście polityki CSR i pojęcia ESG. W tym rozdziale zostały szczegółowo przedstawione wskaźniki ROI i TCO, jak również klasyfikacje kosztów wdrażania. Ponadto w tej części zdefiniowane zostało pojęcie kalkulatora wraz ze wskazaniem konkretnych narzędzi, które będą w dalszej części pracy analizowane i porównywane.

Opis metody badawczej DSR, analiza porównawcza kalkulatorów ROI/TCO oraz studium pięciu przypadków zawarto w empirycznym **rozdziale czwartym**. W części tej najpierw została opisana linia badań, a następnie, zgodnie z przyjętą linią, szczegółowo omówione zostały kalkulatory ROI/TCO. W kolejnych podrozdziałach opisana została organizacja badań empirycznych, próba badawcza, jak również krótka charakterystyka badanych przedsiębiorstw. Wnioski z przeprowadzonych wywiadów zostały podzielone na cztery obszary: ocenę znajomości pojęcia wirtualizacji i jej stopnia zastosowania, ocenę znajomości pojęcia idei Green Computing, CSR oraz ESG i ich zastosowania, ocenę znajomości pojęcia Cloud Computing i jej zastosowania oraz ocenę efektów wdrożenia

rozwiązań wirtualizacyjnych. Na podstawie wniosków z przeprowadzonych badań stworzony i opisany został artefakt, czyli prototyp kalkulatora ROI/TCO, który później został poddany ewaluacji i walidacji. Zatem dwukrotnie dokonana została analiza porównawcza efektywności zastosowania technologii wirtualizacji w wybranych organizacjach: na stworzonym prototypie kalkulatora ROI/TCO, a następnie na jego ulepszonej wersji. Cała linia badań, zgodnie z DSR, zakończy się opracowaniem implikacji teoretycznych i praktycznych.

Dysertacja została zakończona podsumowaniem zawierającym wnioski, które zostały oparte o przeprowadzone, w ramach niniejszej pracy, badania naukowe, zgodne z DRS i przyjętą przez autorkę linią badań. W końcowej części pracy zamieszczono również bibliografię, netografię, spis rysunków i tabel oraz formularz wywiadu.

## Rozdział 1. Wyzwania informatyczne w zarządzaniu

### 1.1. Znaczenie technologii informatycznych w zarządzaniu przedsiębiorstwem

Od czasu, gdy Sir Tim Berners-Lee w 1991 roku utworzył pierwszą w historii stronę internetową<sup>1</sup>, organizacje stosują technologie oparte na Internecie, czyli sieci World Wide Web i łączności bezprzewodowej do tego, aby unowocześnić prowadzoną przez siebie działalność. Te przełomowe technologie cyfrowe niosą innowacyjnym firmom wiele możliwości, pozwalających odmienić sposób świadczenia przez nie usług<sup>2</sup>, jak również tworzą przestrzeń do powstania nowego rodzaju rynku e-usług i e-produktów. Informatyka, a w zasadzie technologia informatyczna zyskała w świetle tego odkrycia nowe znaczenie, a także nadała mu interdyscyplinarny charakter. Wzajemna konwergencja zastosowań różnorodnych dziedzin nauki – elektroniki, techniki, ekonomii, zarządzania oraz psychologii i socjologii – jest konsekwencją rozwoju technologii informatycznych<sup>3</sup>. Rozwój ten spowodował, że technologie cyfrowe sukcesywnie przejmują nie tylko procesy biznesowe, ale w efekcie zawłaszczają coraz to nowe obszary życia codziennego.

Terminem technologii informatycznych<sup>4</sup>, jak również używanym często zamiennie technologii informacyjnych lub informacyjno-komunikacyjnych, czyli ICT (ang. *Information and Communications Technology*), określa się wiązkę branż powiązanych z poszczególnymi technologiami lub usługami informatycznymi. IT/ICT obejmuje więc:

- produkcję hardware,
- produkcję software,
- doradztwo w zakresie sprzętu komputerowego i oprogramowania,
- przetwarzanie danych i tworzenie baz danych
- sprzedaż i serwis sprzętu oraz oprogramowania,
- zarządzanie i edukację w zakresie technologii informatycznych.

Wymienione branże są wysokotechnologiczne i obecnie warunkują sprawność działania prawie wszystkich tradycyjnych dziedzin gospodarki. Na rysunku poniżej (rysunek 1.1)

---

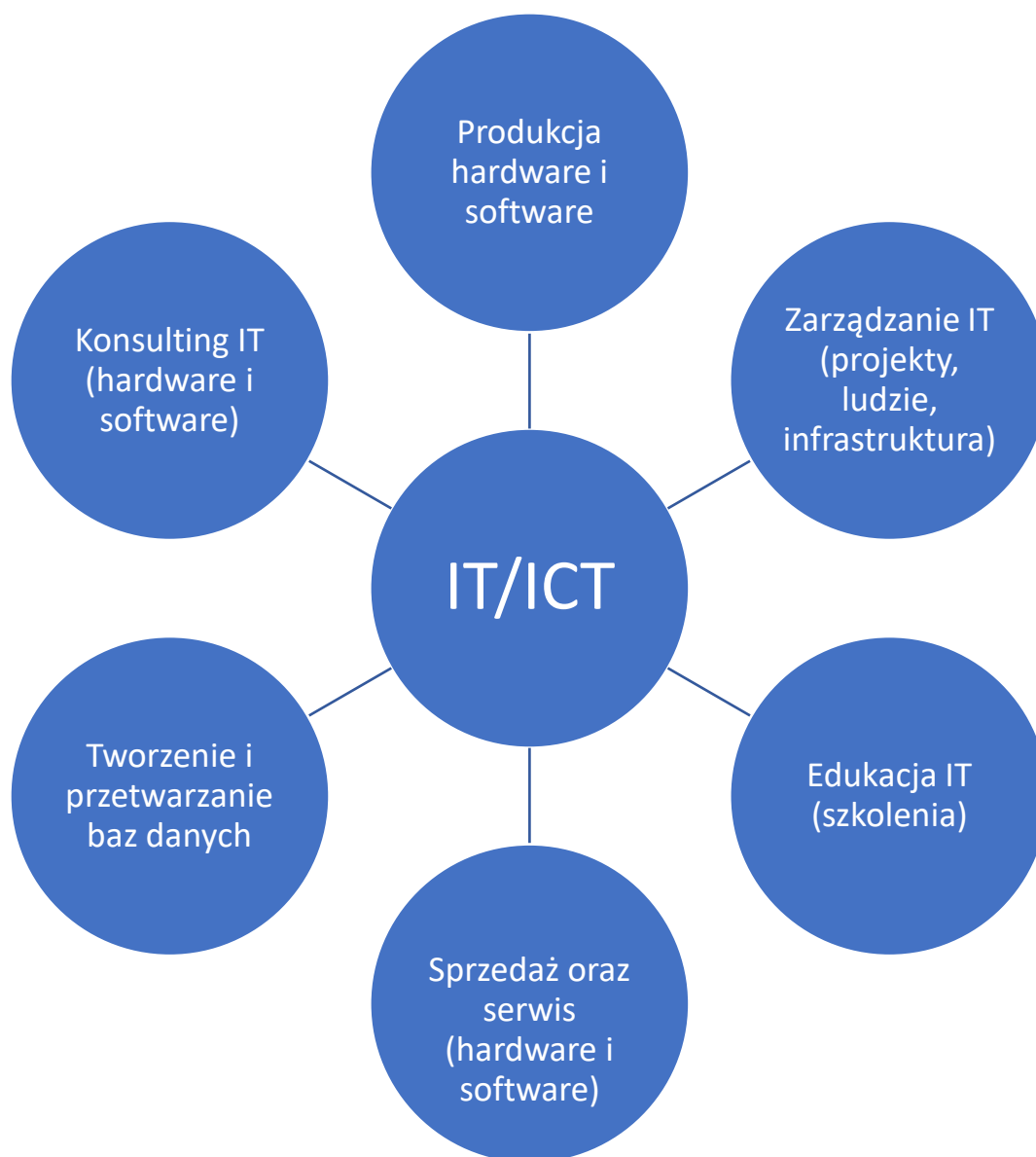
<sup>1</sup> <http://info.cern.ch>, z dn. 2023.06.12.

<sup>2</sup> D. Chaffey, *Digital Business i E-commerce Management*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016, s. 4.

<sup>3</sup> O. Dębicka, J. Winiarski, *Zastosowanie systemów informatycznych we współczesnej gospodarce*, III Konferencja Naukowa InfoGlobMar 2010, Sopot 2010, s. 7-8.

<sup>4</sup> Na potrzeby niniejszej dysertacji zostaje przyjęty termin „technologie informatyczne”.

przedstawiono wiązkę branż powiązanych z poszczególnymi technologiami lub usługami informatycznymi.



**Rysunek 1.1. Powiązanie branż IT**

Źródło: Na podstawie I. Orzoł, *Znaczenie współczesnych technologii informacyjnych w zarządzaniu polskimi przedsiębiorstwami*, Konferencja KZZ Zakopane, 2010, s. 319.

Przedstawione powyżej branże obsługują zarówno małe jak i średnie przedsiębiorstwa w różnych dziedzinach, w szczególności sektor finansowy, administrację publiczną, transport, energetykę, telekomunikację, farmację, instytucje naukowe, przemysł spożywczy, sieci handlowe i stacje benzynowe oraz wielu innych klientów instytucjonalnych, a także



odbiorców indywidualnych<sup>5</sup>. Stanowią podstawę biznesu elektronicznego i znalazły zastosowanie w kolejnych, nowych obszarach, z nowymi możliwościami świadczenia usług, które dotychczas nie były tak podatne na informatyzację<sup>6</sup>.

Aby jednoznacznie określić definicję ICT należy przeanalizować w jaki sposób to pojęcie kształtował czas i rozwijająca się technologia w Polsce i na świecie. Krajowo, próbę zdefiniowania terminu podjęła już w 1996 roku H. Batorska, która określiła technologię informatyczną jako kształtującą się nową specjalizację w nauce o informacji, zajmującą się technicznymi sposobami gromadzenia, przetwarzania, przechowywania i wyszukiwania informacji w celu jej praktycznego wykorzystania w różnych dziedzinach działalności człowieka<sup>7</sup>. W swoich późniejszych publikacjach w 2001 roku autorka określa technologię informatyczną na podstawie definicji M. Sysła<sup>8</sup> (1998 r.), M. Kubiaka<sup>9</sup> (1999 r.) i J. Ratajewskiego<sup>10</sup> (1994 r.), przyjmując dla potrzeb opracowania, tą ostatnią za najbardziej odpowiednią<sup>11</sup>. Jeszcze przed masowym wprowadzeniem narzędzi i środków informatycznych J. Ratajewski napisał, że terminem technologii informatycznej jest nazywany „zorganizowany zbiór metod, środków najnowszych działań celowych nakierowanych na realizację wszystkich procesów informacyjnych w społeczeństwie”. Natomiast S. Juszczyk w 2002 roku zdefiniował technologię informatyczną jako „całokształt metod i narzędzi przetwarzania informacji, obejmujący metody poszukiwania i selekcji informacji, jej gromadzenia, zapisywania, przechowywania, przetwarzania, a wreszcie jej przesyłania lub usuwania”. Autor napisał również, że technologia informatyczna to „całokształt działań technicznych związanych ze sposobami projektowania architektury oraz wytwarzania technicznych środków informatyki”<sup>12</sup>.

W wymiarze międzynarodowym, analiza omawianych pojęć została opracowana m.in. w dokumentach UNESCO, w których umieszczono trzy niezależne definicje –

---

<sup>5</sup> I. Orzoł, *Znaczenie współczesnych...*, op. cit., s. 319.

<sup>6</sup> A. Bytniewski (red.), *Systemy informatyczne a rozwój społeczeństwa informacyjnego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2013, s. 148.

<sup>7</sup> H. Batorowska, *Wybrane zagadnienia nauki o informacji i technologii informacyjnej*, Wydawnictwo Naukowe WSP, 1996, s. 13.

<sup>8</sup> M. Sysła, *Standardy przygotowania nauczycieli w zakresie technologii informacyjnej i informatyki*, Uniwersytet Wrocławski, 1998, s. 5-6.

<sup>9</sup> M. Kubiak, *Słownik technologii informacyjnej*, Wydawnictwo MIKOM, Warszawa 1999, s. 135.

<sup>10</sup> J. Ratajewski, *Wybrane problemy metodologiczne informologii nauki (informacji naukowej)*, Prace Naukowe UŚ, Katowice, 1994.

<sup>11</sup> H. Batorowska, *Technologia informacyjna w kształceniu ogólnym*, Wydawnictwo i Poligrafia ZP, Kraków, 2001, s. 11.

<sup>12</sup> S. Juszczyk, *Edukacja na odległość. Kodyfikacja pojęć, reguł i procesów*, Multimedialna Biblioteka Pedagogiczna, Wydawnictwo A. Marszałek, Toruń 2002.

informatyki, IT i ICT<sup>13</sup>. Taki podział porządkuje pojęcia i wskazuje na ich niejednoznaczność:

- Informatyka, to dziedzina działalności naukowej, zajmująca się projektowaniem, realizacją, ewaluacją, wykorzystaniem i utrzymaniem systemów przetwarzania informacji, z uwzględnieniem sprzętu i oprogramowania;
- Technologia informatyczna (IT), to technologiczne zastosowanie informatyki w społeczeństwie;
- Technologia informacyjno-komunikacyjna (ICT), to połączenie technologii informatycznej z innymi, związanymi z nią technologiami, głównie z technologią komunikacyjną.

Wymienione definicje różnią się od siebie, zawierają niejednoznaczności i obszary wymagające współcześnie doprecyzowania, , jednak wszystkie wskazują na kluczową rolę informacji, która jest wyszukiwana, gromadzona jak również usuwana oraz przetwarzana za pomocą technologii – różnego rodzaju systemów i narzędzi. Informacja służy społeczeństwu ułatwiając przede wszystkim komunikację. A zatem, według autorki niniejszej dysertacji, technologię informatyczną można scharakteryzować jako umiejętność efektywnego stosowania systemów i narzędzi oraz źródeł informacji do jej wyszukiwania, przechowywania, przetwarzania oraz usuwania, analizy i prezentacji w celu jej praktycznego wykorzystania przez społeczeństwo – komunikacji, tworzenia nowych usług, modeli biznesowych oraz nauki.

Technologie informatyczne stanowią jedną z najczęściej wymienianych i wybieranych przez inwestorów branż na świecie. Gartner, uznana firma badawcza, która zajmuje się analizą rynku technologii informatycznej, co roku publikuje listę 10. najważniejszych technologii. Na liście w latach 2008<sup>14</sup>, 2009<sup>15</sup>, 2010<sup>16</sup> i 2011<sup>17</sup> przeważały m.in. takie koncepcje i rozwiązania jak „zielone” centra danych, wirtualizowanie zasobów, nowatorska koncepcja witryn internetowych o nazwie mashup (np. porównywarki cen) oraz serwisy

---

<sup>13</sup> E. Khavilon, M. Patru (red.), *Information and communication technology in education*, <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129538e.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<sup>14</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2008*, <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=530109>, z dn. 2019.10.21.

<sup>15</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2009*, <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=777212>, z dn. 2019.10.21.

<sup>16</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2010*, <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1210613>, z dn. 2019.10.21.

<sup>17</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2011*, <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1454221>, z dn. 2019.10.21.

społecznościowe. Coraz większego znaczenia nabierały tzw. rozwiązania chmurowe, które w późniejszym okresie czasu stały się bazą wielu usług systemowych.

Lata 2012<sup>18</sup>, 2013<sup>19</sup>, 2014<sup>20</sup>, 2015<sup>21</sup> to era coraz szerzej rozpowszechnionej mobilności urzędów, pojedynczych aplikacji i całych systemów. Nieodzownym elementem w tym zakresie stały się chmury obliczeniowe, na bazie których powstawały kolejne koncepcje i systemy. Popularność usług CC sprawiła, że z jednej strony chmury stawały się coraz większe i bardziej wydajne, z drugiej coraz bardziej spersonalizowane i dostosowane do potrzeb użytkowników. To spowodowało systematyczne tworzenie się usług w kolejnych obszarach funkcjonowania organizacji i ich systemów IT (np. oprogramowanie, infrastruktura, platforma, jak również mail, pamięć, przechowywanie, odzyskiwanie awaryjne, monitorowanie). Internet oraz mobilność zyskiwały w tych latach na wartości, a komputeryzacja wdzierła się w zasadzie w każdą dziedzinę życia – zawodową, jak również prywatną.

W świetle raportów publikowanych na lata 2008-2015 można wywnioskować, że rozwój ICT, a w szczególności Internetu, stworzył i rozwinął nowy rodzaj rynku i społeczeństwa funkcjonującego we wszechobecnej sieci. Zmiany te zaowocowały powstaniem nowego wymiaru działalności przedsiębiorstw, jakim jest elektroniczny biznes określany skrótem „e-biznes”<sup>22</sup>. Termin „e-biznes” użyty został po raz pierwszy przez firmę IBM w 1997 roku i rozumiany był jako: „transformacja kluczowych procesów biznesowych przy użyciu technologii internetowych”<sup>23</sup>. **E-biznes** funkcjonuje w oparciu o stosowną infrastrukturę, podstawowym z jej elementów są systemy informatyczne – SI (ang. *Information System*). Zastosowanie SI jest coraz powszechniejszym sposobem zwiększenia sprawności działania systemu zarządzania. Jest tak, mimo konieczności poniesienia początkowo kosztów związanych z zakupem, szkoleniem i wdrożeniem wybranego oprogramowania. W praktyce systemy informatyczne umożliwiają formalizację struktury organizacyjnej, zwiększają rozpiętość kierowania, automatyzują wykonanie zadań, dostarczają na żądanie wymagane informacje oraz usprawniają pracę grupową. Od rozwoju

---

<sup>18</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2012*, <http://www.gartner.com/newsroom/id/1826214>, z dn. 2019.10.21.

<sup>19</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2013*, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2209615>, z dn. 2019.10.21.

<sup>20</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2014*, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2603623>, z dn. 2019.10.21.

<sup>21</sup> *Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2015*, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2867917>, z dn. 2019.10.21.

<sup>22</sup> C. Żurak-Owczarek, *E-biznes w wymiarze globalnym i lokalnym. Analiza i próba oceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2013.

<sup>23</sup> D. Chaffey, *Digital Business...*, *op. cit.*, s. 15.

funkcjonalnego SI zależy rozwój możliwości biznesu elektronicznego. E-biznes wywołuje zmiany w bieżącej działalności przedsiębiorstw oraz w ich podejściu do formułowania strategii konkurencyjnej na dynamicznie zmieniającym się rynku. O przewadze konkurencyjnej organizacji, funkcjonujących w warunkach zmiennego otoczenia i globalnej gospodarki, decyduje dostęp do informacji oraz umiejętność ich cyfrowego przetwarzania<sup>24</sup>, dlatego też technologia ICT jest wykorzystywana praktycznie w każdym obszarze działalności gospodarczych, a szczególnie w e-biznesie. W literaturze przedmiotu, w tym w nowym wydaniu publikacji D. Chaffey-a „*Digital Business i E-commerce Management*” (2016 r.) można zauważyć odejście od pojęcia „e-biznes”, na rzecz „biznes cyfrowy”. Zdaniem autora lepiej odzwierciedla ono obecny sposób działania branży i badania wpływu technologii cyfrowych na biznes.

Infrastruktura informatyczna współczesnego przedsiębiorstwa musi zaspokajać potrzeby informacyjne przede wszystkim samego przedsiębiorstwa, jego pracowników i partnerów biznesowych oraz zapewnić sprawny przepływ informacji w taki sposób, aby procesy biznesowe mogły być realizowane zgodnie z założoną strategią. Wybór odpowiednich narzędzi informatycznych, technologii cyfrowych jest determinowany przez różne czynniki, takie jak np.: wielkość przedsiębiorstwa, specyfikacja jego działalności, rynek, na którym funkcjonuje, posiadane zasoby (w tym środki finansowe), czy kierunek i częstotliwość przepływu informacji. Ważnym elementem jest również ogólny trend rozwoju ICT. J. Palonka i T. Porębska-Miąc w opracowaniu „*Koncepcja zwirtualizowanego modelu biznesowego dla MŚP*”<sup>25</sup> stwierdzają, że aktualnie w wyznaczaniu nowych trendów ICT znaczną rolę przypisuje się m.in. mobilności i chmurze obliczeniowej. Powszechny dostęp do mobilnego Internetu sprawia, że można połączyć się do sieci dowolnego miejsca na świecie, chmura natomiast umożliwia wykonanie coraz bardziej zaawansowanych czynności bezpośrednio w Internecie.

Współczesny model działania przedsiębiorstw staje się coraz bardziej wirtualny, oparty na sztucznej inteligencji i uczeniu maszynowym. W kolejnych raportach Gartnera (2016-2020) pojawiają się nowatorskie technologie i koncepcje, które bez modelu chmury obliczeniowej, czy też wirtualizacji nie mogłyby być rozwijane lub nie działałyby tak efektywnie. Zarówno CC, jak i technologia wirtualizacji to podwaliny do tworzenia nowych usług, narzędzi i modeli usług IT oraz biznesów cyfrowych. Zaś wirtualizacja w świetle

---

<sup>24</sup> K. Jasińska, T. Szapiro, *Zarządzanie procesami realizacji projektów w sektorze ICT*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014, s. 9.

<sup>25</sup> J. Palonka, T. Porębska-Miąc, *Koncepcja zwirtualizowanego modelu biznesowego dla MŚP*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 47.

ostatnich raportów nabiera również nowego znaczenia – nie odnosi się już tylko do sprzętu, aplikacji, czy też sieci, ale do rzeczywistości (tabela 1.1 i 1.2).

**Tabela 1.1. 10 najważniejszych technologii na rok 2016 według Gartnera**

	2016 <sup>26</sup>
1.	Sieć urządzeń (ang. <i>The Device Mesh</i> )
2.	Otoczające – pełniejsze – doświadczenia użytkownika (ang. <i>Ambient User Experience</i> )
3.	Druk materiałów 3D (ang. <i>3D Printing Materials</i> )
4.	Jeszcze więcej informacji i analiz – informacja o wszystkim (ang. <i>Information of Everything</i> )
5.	Zaawansowane uczenie maszynowe (ang. <i>Advanced Machine Learning</i> )
6.	Automatyczne systemy analityczne (ang. <i>Autonomous Agents and Things</i> )
7.	Adaptacyjna architektura bezpieczeństwa (ang. <i>Adaptive Security Architecture</i> )
8.	Zaawansowana architektura systemowa (ang. <i>Advanced System Architecture</i> )
9.	Mesh app i architektura usług (ang. <i>Mesh App and Service Architecture</i> )
10.	Internet rzeczy (IoT) (ang. <i>Internet of Things Platforms</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera

**Tabela 1.2. 10 najważniejszych technologii na rok 2017 według Gartnera**

	2017 <sup>27</sup>
1.	Sztuczna inteligencja (AI) i zaawansowane systemy uczące się (ang. <i>Artificial Intelligence and Advanced Machine Learning</i> )
2.	Inteligentne aplikacje (ang. <i>Intelligent Apps</i> )
3.	Inteligentne rzeczy (ang. <i>Intelligent Things</i> )
4.	Rzeczywistość wirtualna i rozszerzona (ang. <i>Virtual and Augmented Reality</i> )
5.	Bliźnięta cyfrowe (ang. <i>Digital Twin</i> )
6.	Blockchain (ang. <i>Blockchain and Distributed Ledgers</i> )
7.	Systemy konwersacyjne (ang. <i>Conversational System</i> )
8.	Mesh app i architektura usług (ang. <i>Mesh App and Service Architecture</i> )
9.	Platformy technologii cyfrowej (ang. <i>Digital Technology Platforms</i> )
10.	Adaptacyjna architektura zabezpieczeń (ang. <i>Adaptive Security Architecture</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera

W latach 2018<sup>28</sup> i 2019<sup>29</sup> Gartner przygotował raporty w podziale na trendy, które zostały podzielone na 3 bloki tematyczne. **Pierwszy – trend inteligentny** (ang. *Intelligent*) to sposób w jaki sztuczna inteligencja przenika do praktycznie każdej technologii, która dobrze ukierunkowana sprawia, że systemy stają się coraz bardziej dynamiczne, elastyczne i autonomiczne. Przykładem (2018 rok) są tak zwane fundamenty sztucznej inteligencji (ang. *AI Foundation*), które mają być stosowane w celu usprawniania procesów biznesowych. Sztuczna inteligencja stanie się nie tyle dodatkiem co podstawą (fundamentem) wielu

<sup>26</sup> Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2016, <http://www.gartner.com/newsroom/id/3143521>, z dn. 2019.10.21.

<sup>27</sup> Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technologies for 2017, <http://www.gartner.com/newsroom/id/3482617>, z dn. 2019.10.21.

<sup>28</sup> Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2018, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018>, z dn. 2023.06.12.

<sup>29</sup> Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>, z dn. 2023.06.12.

systemów IT, pomagając użytkownikom w podejmowaniu dobrych decyzji lub przejmując na siebie wiele procesów decyzyjnych. Kolejny aspekt to inteligentne aplikacje i analiza (ang. *Intelligent Apps and Analytics*). Elementy sztucznej inteligencji znajdują się w niemal każdej aplikacji biznesowej, które w oparciu o SI będą w stanie automatyzować procesy wykonywane dotychczas manualnie i powtarzalnie przez personel danej firmy, wspierać pozyskiwanie nowych klientów i pracowników czy analizować przepływ finansów, sugerując najlepsze drogi optymalizacji kosztów. Trend inteligentny to także inteligentne urządzenia (ang. *Intelligent Things*), czyli elektroniczne przedmioty, które wykraczają poza standardowe programowanie, aby dzięki sztucznej inteligencji zachowywać się w sposób dużo bardziej zaawansowany i współdziałać z ludźmi i ich otoczeniem, np. urządzenia podłączone do Internetu rzeczy (IoT, ang. *Internet of things*). Natomiast w 2019 roku pojawiły się takie technologie jak rzeczy autonomiczne (ang. *Autonomous Things*), czyli roboty, drony i pojazdy autonomiczne, które wykorzystują AI (ang. *Artificial Intelligence*) do automatyzacji funkcji wcześniej wykonywanych przez ludzi. Zaś rozszerzona analityka (ang. *Augmented Analytics*) koncentruje się na konkretnym obszarze rozszerzonej inteligencji, wykorzystując uczenie maszynowe (ang. *Machine Learning*) do zmiany sposobu opracowywania, wykorzystywania i udostępniania treści analitycznych. Jako kluczowa funkcja przygotowywania danych (nowoczesna analiza, zarządzani procesami biznesowymi, eksploracja procesów i platform do analizy danych) znajdzie swoje zastosowanie w aplikacjach korporacyjnych takich jak dział HR, finansowy, sprzedażowy, marketingu, obsługi klienta czy zakupów. Ostatni aspekt w tym trendzie to rozwój (oprogramowania) oparty na AI (ang. *AI-Driven Development*), czyli profesjonalne tworzenie aplikacji, gdzie sztuczna inteligencja jest wykorzystana do samego procesu implementacji w celu automatyzacji różnych funkcji czy testowania.

**Drugi trend – cyfrowy** (ang. *Digital*) to łączenie wirtualnego i rzeczywistego świata w celu stworzenia pogłębionego i połączonego środowiska. Przykładem (2018 i 2019) są bliźnięta cyfrowe (ang. *Digital Twins*), czyli cyfrowe odpowiedniki – symulatory – rzeczywistych maszyn, procesów i środowisk. Trend cyfrowy to także przetwarzanie na krawędzi (ang. *Cloud to the Edge*), czyli nowe podejście do przetwarzania danych, zakładające, że przetwarzane dane zostają przeniesione bliżej miejsca ich powstawania na tzw. krawędź Internetu. Architektura jest odpowiedzią na mankamenty przetwarzania w chmurze, które może zawodzić, jeśli chodzi o prędkość, czy też kwestie poufności danych. W 2019 roku technologia ta nosiła miano wzmocnionej krawędzi (ang. *Empowered Edge*). Trend cyfrowy to także platformy do konwersacji (ang. *Conversational Platforms*) – systemy umożliwiające interakcje między użytkownikiem, a oprogramowaniem. Samouczące się

systemy, dzięki elementom sztucznej inteligencji, poprzez interfejs są zdolne do prostych odpowiedzi (jaka jest pogoda?) oraz bardziej skomplikowanych (rezerwacja w restauracji). Podczas gdy konwersacyjne interfejsy zmieniają sposób, w jaki ludzie kontrolują świat cyfrowy, wirtualna, rozszerzona i mieszana rzeczywistość zmieniają sposób, w jaki ludzie postrzegają świat cyfrowy i wchodzi z nim w interakcje. Ten trend został określony jako głęboka doświadczeń (ang. *Immersive Experience*). Wirtualna rzeczywistość (ang. *Virtual Reality – VR*) i rzeczywistość rozszerzona (ang. *Augmented Reality – AR*) to jeszcze młode i mocno sfragmentaryzowane technologie, jednak zainteresowanie nimi jest bardzo duże, co przekłada się powstawanie licznych nowatorskich aplikacji, które nie mają realnej wartości biznesowej, a oferują przede wszystkim rozrywkę (gry wideo i filmy 360 stopni).

**Ostatni trend – sieć** (ang. *Mesh*), czyli połączenia pomiędzy powiększającym się kręgiem ludzi, biznesu, urzędów, treści, a usługami dostarczającymi cyfrowe wyniki. Przykładem jest technologia blockchain (ang. *Blockchain*), czyli wspólna i zdecentralizowana baza danych transakcji. Informacje, poprzez skrypty kryptograficzne, zapisywane są w rozproszonych blokach, w których można przechowywać dowolne typy transakcji. Jednym z zastosowań są kryptowaluty np. bitcoin. Omawiany trend to także tak zwane sterowanie zdarzeniami (ang. *Event-Driven*). Biznes kierowany zdarzeniami to idea, która zakłada, że firma nieustannie stara się wyczuć biznesowe momenty. Są to wszystkie wydarzenia, które da się cyfrowo odnotować, od zamówienia w sklepie internetowym po wylądowanie samolotu. Wraz z nadejściem sztucznej inteligencji, Internetu rzeczy i innych technologii (Cloud Computing, blockchain), wydarzenia biznesowe mogą być wykrywane szybciej i podlegać dokładnej analizie. Ostatnia wskazana przez Gartnera technologia to CARTA (ang. *Continuous Adaptive Risk and Trust Assessment*), czyli ciągłe adaptacyjne ryzyko i ocena zaufania. Jest to sposób działania, który zakłada nieustanną pracę nad strategią bezpieczeństwa i dopasowywanie jej do poszczególnych wydarzeń. Dostęp do poufnych danych przydzielany jest użytkownikowi za każdym razem, gdy próbuje się do nich dostać na podstawie historii wcześniejszego zachowania. Jest to możliwe dzięki zaawansowanej analizie danych w momencie, gdy zestaw ról i przywilejów w środowisku IT zostanie jasno określony. Natomiast w 2019 roku pojawiły się mądre przestrzenie (ang. *Smart Spaces*) czyli fizyczne lub cyfrowe środowisko, w którym ludzie i systemy oparte na technologii oddziałują w coraz bardziej otwartych, połączonych, skoordynowanych i inteligentnych ekosystemach. Wiele elementów - w tym ludzie, procesy, usługi i rzeczy - łączą się w inteligentnej przestrzeni, aby stworzyć bardziej wciągające, interaktywne i zautomatyzowane

doświadczenie dla docelowego zestawu osób. Przykładem są mądre miasta (ang. *Smart Cities*), cyfrowe miejsca pracy, czy inteligentne domy.

Zatem, według Gartnera, łączenie ludzi, urządzeń, treści i usług można nazwać „inteligentną, cyfrową siecią”, co pozwala na wsparcie biznesów cyfrowych, w poniższej tabeli (tabela 1.3) przedstawiono podsumowanie prognozowanych technologii na 2018 rok.

**Tabela 1.3. 10 najważniejszych technologii na rok 2018 według Gartnera**

	2018 <sup>30</sup>
1.	Fundament sztucznej inteligencji (AI) (ang. <i>AI Foundation</i> )
2.	Inteligentne aplikacje i analiza (ang. <i>Intelligent Apps and Analytics</i> )
3.	Inteligentne urządzenia (ang. <i>Intelligent Things</i> )
4.	Bliźnięta cyfrowe (ang. <i>Digital Twin</i> )
5.	Przetwarzanie na krawędzi (ang. <i>Cloud to the Edge</i> )
6.	Platformy do konwersacji (ang. <i>Conversational Platforms</i> )
7.	Głęboka doświadczeń (ang. <i>Immersive Experience</i> )
8.	Blockchain (ang. <i>Blockchain</i> )
9.	Sterowanie zdarzeniami (ang. <i>Event-Driven</i> )
10.	Ciągle adaptacyjne ryzyko i zaufanie (ang. <i>Continuous Adaptive Risk and Trust Assessment</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

W 2019 roku pojawiły się dodatkowo dwa aspekty spajające wszystkie trzy trendy (inteligentny, cyfrowy i sieć). Pierwszy z nich to etyka cyfrowa i prywatność (ang. *Digital Ethics and Privacy*), czyli zwrócenie uwagi na niepokój społeczny odnośnie tego, w jaki sposób dane osobowe są wykorzystywane przez organizacje zarówno w sektorze publicznym, jak i prywatnym. Drugi to komputery kwantowe (ang. *Quantum Computing*), czyli technologia obliczeniowa oparta na mechanice kwantowej. Dzięki równoległemu wykonywaniu obliczeń i wykładniczej skalowalności komputerów kwantowych, przodują one w problemach zbyt złożonych dla tradycyjnego podejścia lub w których tradycyjne algorytmy zajęłyby zbyt dużo czasu, aby znaleźć rozwiązanie. Najważniejsze technologie na 2019 rok zostały zaprezentowane w tabelo poniżej (tabela 1.4).

<sup>30</sup> 10 technologicznych trendów na rok 2018 według Gartnera, <https://digitalandmore.pl/10-technologicznych-trendow-na-rok-2018-wedlug-gartnera>, z dn. 2019.10.21.



**Tabela 1.4. 10 najważniejszych technologii na rok 2019 według Gartnera**

	2019 <sup>31</sup>
1.	Rzeczy autonomiczne (ang. <i>Autonomous Things</i> )
2.	Rozszerzona analityka (ang. <i>Augmented Analytics</i> )
3.	Rozwój (oprogramowania) oparty na AI (ang. <i>AI-Driven Development</i> )
4.	Bliźnięta cyfrowe (ang. <i>Digital Twin</i> )
5.	Wzmocniona krawędź (ang. <i>Empowered Edge</i> )
6.	Głębia doświadczeń (ang. <i>Immersive Experience</i> )
7.	Blockchain (ang. <i>Blockchain</i> )
8.	Mądre przestrzenie (ang. <i>Smart Spaces</i> )
9.	Etyka cyfrowa i prywatność (ang. <i>Digital Ethics and Privacy</i> )
10.	Komputery kwantowe (ang. <i>Quantum Computing</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

Trendy na rok 2020<sup>32</sup> zostały oparte na idei „inteligentnych przestrzeni zorientowanych na ludzi” (ang. *People-centric Smart Spaces*), co oznacza rozważenie, w jaki sposób te technologie wpłyną na ludzi (na przykład klientów, pracowników) i miejsca, w których żyją (dom, biuro, samochód itp.). **Pierwsza technologia, z grupy technologii skoncentrowanych na ludziach** – hiperautomatyzacja (ang. *Hyperautomation*) - zajmuje się zastosowaniem zaawansowanych technologii, w tym sztucznej inteligencji AI i uczenia maszynowego, w celu coraz większej automatyzacji procesów i zadań wykonywanych kiedyś przez ludzi. Zaś multidoświadczenie (ang. *Multiexperience*) ma na celu zastąpienie ludzi znajdujących się na technologiach na technologie znajdujące się na ludziach. To spowoduje znaczną zmianę doświadczeń i wrażeń użytkowników w postrzeganiu świata cyfrowego i interakcji z nim. Kolejna technologia - demokratyzacja (ang. *Democratization*) – oznacza zapewnienie ludziom łatwego dostępu do wiedzy technicznej lub biznesowej bez obszernego i kosztownego szkolenia. Koncentruje się na czterech kluczowych obszarach – opracowywaniu aplikacji, danych i analiz, projektowaniu i wiedzy, i jest często określany jako „dostęp dla obywateli”. Idea augmentacji („powiększania”) człowieka (ang. *Human Augmentation*) polega na wykorzystaniu technologii w celu poprawy doświadczeń poznawczych i fizycznych człowieka. Przykładowo w branży motoryzacyjnej lub górniczej używane są dedykowane ubrania w celu poprawy bezpieczeństwa pracowników. Ostatnia kwestia skoncentrowana wokół ludzi to konieczność przejrzystości i identyfikowalności (ang. *Transparency and Traceability*) przetwarzanych informacji w odpowiedzi na panujący kryzys zaufania oraz wzrost świadomości społeczeństw sposobu gromadzenia i wykorzystywania danych osobowych.

<sup>31</sup> *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019*, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>, z dn. 2023.06.12.

<sup>32</sup> *Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2020*, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020>, z dn. 2023.06.12.

**Druga grupa technologii, zgromadzona wokół miejsc**, to pojawiające się we wcześniejszych latach idee takie jak rzeczy autonomiczne (ang. *Autonomous Things*), praktyczny blockchain (ang. *Practical Blockchain*) oraz wzmocniona krawędź (ang. *Empowered Edge*), która obejmuje całą technologię Internetu rzeczy IoT (ang. *Internet of Things*). Kolejna – chmura rozproszona (ang. *Distributed Cloud*) – oznacza dystrybucję publicznych usług chmurowych do lokalizacji poza fizycznymi centrami danych dostawcy chmury, ale które są nadal kontrolowane przez dostawcę. W chmurze rozproszonej dostawca jest odpowiedzialny za wszystkie aspekty architektury usług w chmurze, dostarczania, operacji, zarządzania i aktualizacji. Według Gartnera ewolucja od scentralizowanej chmury publicznej do rozproszonej chmury publicznej wprowadza nową erę przetwarzania w chmurze. Ostatnia kwestia to bezpieczeństwo technologii sztucznej inteligencji (ang. *AI Security*), które składa się z ochrony systemów opartych na sztucznej inteligencji, wykorzystania AI do zwiększenia cyberbezpieczeństwa oraz przewidywania i identyfikacji cyberataków, jak również obrona przed nimi.

Omawiane trendy nie istnieją w odizolowaniu od siebie, a ich praktyczne implikacje skupiają się na budowaniu rozwiązań dedykowanych, łączących różne technologie. Menedżerowie IT muszą zatem zdecydować, która kombinacja trendów przyniesie najwięcej innowacji i wsparcia dla realizacji strategii organizacji. Na przykład sztuczną inteligencję AI w postaci uczenia maszynowego z hiperautomatyzacją i przetwarzaniem na krawędzi można łączyć po to, aby umożliwić wysoce zintegrowane, inteligentne budynki i przestrzenie miejskie. Trendy 2020 roku zostały podsumowane z tabeli poniżej (tabela 1.5).

**Tabela 1.5. 10 najważniejszych technologii na rok 2020 według Gartnera**

	2020 <sup>33</sup>
1.	Hiperautomatyzacja (ang. <i>Hyperautomation</i> )
2.	Multidoświadczenie (ang. <i>Multiexperience</i> )
3.	Demokratyzacja (ang. <i>Democratization</i> )
4.	Augmentacji człowieka (ang. <i>Human Augmentation</i> )
5.	Przejrzystości i identyfikalności (ang. <i>Transparency and Traceability</i> )
6.	Wzmocniona krawędź (ang. <i>Empowered Edge</i> )
7.	Chmura rozproszona (ang. <i>Distributed Cloud</i> )
8.	Rzeczy autonomiczne (ang. <i>Autonomous Things</i> )
9.	Praktyczny blockchain (ang. <i>Practical Blockchain</i> )
10.	Bezpieczeństwo AI (ang. <i>AI Security</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

<sup>33</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

Trendy 2021<sup>34</sup> dotyczyły roku wybuchu pandemii COVID-19, która nieodwracalnie zmieniła oblicze świata i biznesu<sup>35</sup>. Jednak pomimo zmian w sposobie interakcji, nadal w centrum wszystkich zdarzeń znajduje się człowiek i jego potrzeby. Jak nigdy wcześniej, do ich zaspokajania niezbędne stały się poddane cyfrowej transformacji procesy, dotyczące praktycznie każdego obszaru naszego życia. Trendy 2021 roku osadzone zostały w trzech głównych obszarach tematycznych: orientacja na człowieka, zapewnienie niezależności od lokalizacji oraz zabezpieczenie niezawodnego łańcucha dostaw. Do pierwszej grupy należą<sup>36</sup>: Internet behawioralny, strategia Total Experience oraz komputery zapewniające prywatność. Idea Internetu behawioralnego (lub Internetu zachowań) polega na wykorzystaniu zgromadzonych danych o internautach (poprzez zebranie śladów, które pozostawiają użytkownicy w postaci danych różnego stopnia wrażliwości) w celu wywarcia wpływu na ich zachowanie. To wszystko sprawia, że Internet behawioralny staje się potężnym narzędziem wywierania wpływu społecznego. Total Experience łączy multidoświadczenie, doświadczenie klienta, doświadczenie pracowników i doświadczenie użytkownika, aby zmienić wynik biznesowy. Celem jest ulepszenie ogólnego doświadczenia, w którym krzyżują się wszystkie te elementy, od technologii przez pracowników po klientów i użytkowników. Trzeci trend (komputery zapewniające prywatność) to konieczność zapewnienia bezpieczeństwa przetwarzania danych, ich analizy oraz udostępniania w warunkach pracy zdalnej.

**Do drugiej grupy trendów** należą: chmura rozproszona, operacje z dowolnego miejsca na świecie oraz sieć bezpieczeństwa cybernetycznego. Usługi chmurowe w modelu rozproszonym są dystrybuowane do różnych lokalizacji, ale obsługa, zarządzanie i rozwój rozwiązań pozostają w gestii dostawcy chmury publicznej. Niemal wszystkie operacje biznesowe mogą być wykonane za pośrednictwem aplikacji działających w chmurze. Niemniej jednak trend Anywhere Operations nie jest tożsamy z pracą zdalną. Analitycy Gartnera zwracają uwagę na szerszy kontekst i potrzebę stworzenia prawdziwie cyfrowego środowiska. Natomiast sieć bezpieczeństwa cybernetycznego jest rozproszonym podejściem architektonicznym do skalowalnej, elastycznej i niezawodnej kontroli bezpieczeństwa cybernetycznego. Gartner już wtedy wskazywał, że narzędzia te są już wdrażane przez wiodące firmy, również za sprawą skutków pandemii.

---

<sup>34</sup> *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021*, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021>, z dn. 2023.06.12.

<sup>35</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

<sup>36</sup> <https://archman.pl/trendy-technologiczne-2021-przeglad-najwazniejszych-trendow-wg-gartnera>, z dn. 2023.06.12.

**Ostatnia grupa trendów** to inteligentny elastyczny model biznesowy, projektowanie rozwiązań z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, a także hiperautomatyzacja. Autorzy raportu zaznaczają, że koncentracja powinna być nie tyle na zbudowaniu wydajnego modelu biznesowego, co na takiej jego architekturze, która umożliwiłaby z jednej strony skalowalność, z drugiej zaś szybkie zmiany w warunkach kryzysu. Część negatywnych skutków gospodarczych COVID-19 wynika właśnie z tego, że wiele firm nie poradziło sobie z adaptacją do szybko zmieniającej się rzeczywistości. Według analityków Gartnera, przyszłościowy model biznesowy powinien uwzględniać lepszy dostęp do informacji, możliwość wzbogacenia danych o nowe spostrzeżenia oraz stworzenie złożonej, modułowej struktury firmy, która potrafi dynamicznie się zmieniać w odpowiedzi na warunki i podjęte decyzje. Jak wówczas wskazywali analitycy Gartnera, sztuczna inteligencja przestała już być domeną wyłącznie badaczy zbiorów danych (ang. *Data Scientists*) w globalnych korporacjach. W 2021 technologia była już dostępna dla firm praktycznie każdej wielkości. Niemniej jednak wdrożenie projektów związanych ze sztuczną inteligencją często generuje duże problemy, m.in. z utrzymaniem, zarządzaniem i skalowalnością. By w pełni skorzystać z inwestycji w usługi IT oparte o AI, niezbędne jest opracowanie strategii wdrożenia tego typu rozwiązań. Dopiero, gdy odpowiemy sobie na kluczowe pytania dotyczące zasadności, będziemy mogli opracować prawdziwie wydajne, skalowalne, interpretowalne i niezawodne modele AI. Ostatni trend hiperautomatyzacji już nie pierwszy raz pojawia się w zestawieniach Gartnera. U podstaw hiperautomatyzacji leży idea, że wszystko co w organizacji może być zautomatyzowane, powinno zostać zautomatyzowane.

W świetle transformacji cyfrowej najważniejszy jest zwinny model biznesowy, oparty na digitalizacji zasobów i procesów. Transformacja wymaga sprawności i szybkości. Organizacje, które takie podejścia nie wdrożą, mają znikome szanse na przetrwanie, zwłaszcza w okresach kryzysowych (jak pandemia COVID-19). Świat technologii zmienia się tak szybko, że czasem trudno jest nadążyć za zachodzącymi zmianami. Jednak warto zauważyć, że rozwój technologii złagodził skutki pandemii na wielu płaszczyznach. W tym szczególnym 2020 roku Gartner na rok 2021 wskazał tym razem 9 najważniejszych technologii (tabela 1.6).

**Tabela 1.6. Najważniejsze technologie na rok 2021 według Gartnera**

	2021 <sup>37</sup>
1.	Internet zachowań behawioralnych (ang. <i>Internet of Behaviors, IoB</i> )
2.	„Doświadczenie totalne” (ang. <i>Total Experience</i> )
3.	Technologie zwiększające prywatność pracy z danymi (ang. <i>Privacy-enhancing computation</i> )
4.	Chmura rozproszona (ang. <i>Distributed cloud</i> )
5.	Operacje prowadzone z dowolnego miejsca (ang. <i>Anywhere operations</i> )
6.	Sieć bezpieczeństwa cybernetycznego (ang. <i>Cybersecurity mesh</i> )
7.	Elastyczny i inteligentny model biznesowy (ang. <i>Intelligent composable business</i> )
8.	Strategia AI (ang. <i>AI engineering</i> )
9.	Hiperautomatyzacja (ang. <i>Hyperautomation</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

W 2022<sup>38</sup> roku analitycy Gartnera przygotowali 12 trendów w zmianach standardów IT. Na pierwszym miejscu została wskazana technologia Data Fabric, która zakłada, że dane stanowią nieodłączny element w funkcjonowaniu każdego przedsiębiorstwa. Nowe metody tworzenia sieci typu Data Fabric rozwijają się w oparciu o międzyplatformowy dostęp do zintegrowanych źródeł danych, gdzie użytkownicy mają możliwość do udostępniania i zarządzania potrzebnymi danymi w wielu procesach biznesowych. Gartner ponadto wskazuje, że za znaczeniu zyskuje cyberbezpieczeństwo jako metody zapobiegania i przeciwdziałania zagrożeniom w sieci. Stanowi ono istotny element działalności biznesowej praktycznie w każdym sektorze gospodarczym. Trzecia technologia to obliczenia zwiększające prywatność. Prawne aspekty dotyczące przetwarzania danych osobowych są współcześnie niezwykle istotnym elementem świata biznesu. Wzrasta więc trend nie tylko związany z ochroną danych osobowych. Odpowiedzią przedsiębiorstw na rosnące niepokoje społeczne i obawy klientów o swoje dane, są obliczenia zwiększające prywatność. Różnorodne metody ochrony prywatności to także poszanowanie przepisów prawa i wymagań zgodności. Migracja ogromnych ilości danych do chmury, tożsamość osób trzecich, jak również cyfryzacja świata biznesu i organizacja pracy zdalnej stają się istotnym elementem funkcjonowania biznesu we współczesnym świecie<sup>39</sup>.

W raporcie 2022 Gartner wskazuje, że rozwiązania oparte na architekturze chmury stają się domyślnym sposobem pracy i funkcjonowania biznesu. Brak konieczności rzeczywistej instalacji oprogramowania na serwerze to chętnie wybierana forma działania ze względu na dużą elastyczność i ograniczenie kosztów utrzymania serwerów<sup>40</sup>. Platformy

<sup>37</sup> *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021*, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021>, z dn. 2023.06.12.

<sup>38</sup> *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022*, <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-tech-trends>, z dn. 2023.06.12.

<sup>39</sup> <https://archman.pl/najwazniejsze-trendy-technologiczne-w-2022-wg-gartnera>, z dn. 2023.06.12.

<sup>40</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

natywne w chmurze to rozwiązania umożliwiające tworzenie nowej architektury oprogramowania w chmurze, jak również przeniesienie istniejących danych do chmury. Ułatwia to sprawne reagowanie na zmiany w środowisku. Platformy natywne w chmurze to czwarty trend w niniejszym raporcie. Kolejna pozycja w raporcie to aplikacje komponowalne dostarczają funkcjonalności dla biznesu w oparciu o elementy modułowe, które pozwalają na ponowne użycie kodu, co znacznie skraca czas potrzebny na opracowanie i wdrożenie nowego rozwiązania. Odbiorcy biznesowi często poszukują szybkich i prostych rozwiązań, a wykorzystanie aplikacji komponowalnych znacznie to ułatwia. Realizacja projektu, gdzie liczy się czas wdrożenia, stwarza idealne warunki do stosowania aplikacji komponowalnych, gdzie można je swobodnie przebudowywać i dostosowywać do potrzeb zarówno zespołu projektowego, jak i całej organizacji.

Kolejny trend jest związany z **inteligencją decyzji**, czyli formą praktycznego podejścia do usprawnienia metody i sposobu podejmowania decyzji w przedsiębiorstwie, poprzez modelowanie procesów decyzyjnych z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i procesu uczenia się. Bazując na wcześniejszych procesach i podjętych decyzjach, inteligencja decyzyjna wspiera ludzi w podejmowaniu decyzji. Automatyzacja procesu decyzyjnego przebiega w oparciu o przeprowadzanie symulacji, analizę danych, a także wykorzystanie AI.

Analitycy Gartnera kolejny raz wskazali hiperautomatyzację – trend, który od paru lat pojawia się w zestawieniach Gartnera. Polega na kompleksowym użyciu oprzyrządowania z zakresu sztucznej inteligencji, automatyzacji oraz Business Intelligence, która ma na celu przeprowadzenie cyfrową transformację przedsiębiorstwa. Hiperautomatyzacja umożliwia skalowalność, obsługę zdalną oraz zmianę samego modelu biznesowego. Ponownie w raporcie pojawiło się pojęcie Total Experience, czyli strategia biznesowa, która integruje doświadczenie pracowników, doświadczenie klienta, doświadczenie użytkownika i wielorakie doświadczenie w wielu punktach styku w celu przyspieszenia wzrostu. Kolejny raz w zestawieniu pojawia się pozycja dotycząca projektowania rozwiązań AI. Zwłaszcza w ostatnich latach rozwój sztucznej inteligencji bardzo przyspieszył: coraz więcej czynności jest wykonywanych przez programy w zastępstwie za ludzi. Jednak wyzwaniem jest ich odpowiednie zaprojektowanie, utrzymanie oraz zarządzanie, tak aby zapewniły najlepszą wartość dla przedsiębiorstwa. Dodatkowo w zestawieniu pojawiło się pojęcie generatywnej sztucznej inteligencji, która uczy się o artefaktach na podstawie danych i generuje nowe, innowacyjne kreacje, które są podobne do oryginału, ale go nie powtarzają. Generatywna sztuczna inteligencja ma potencjał tworzenia nowych form kreatywnych treści, takich jak

wideo, oraz przyspieszania cykli badawczo-rozwojowych w różnych dziedzinach, od medycyny po tworzenie produktów.

W raporcie 2022 Gartner wskazał rozproszone przedsiębiorstwa, czyli model biznesowy, w którym najpierw stawia się na transformację cyfrową a na pierwszym miejscu pracę zdalną. Wśród trendów znajdują się również samodzielnie zarządzane systemy fizyczne lub programowe (systemy autonomiczne). Na podstawie swoich środowisk uczą się i dynamicznie modyfikują własne algorytmy tak, aby zoptymalizować swoje zachowania w złożonych ekosystemach. Obecnie używane systemy są w stanie sprostać nowym wymaganiom i sytuacjom, optymalizować wydajność i bronić się przed atakami bez interwencji człowieka.

Świat technologii stawia wciąż nowe wyzwania przed przedsiębiorcami. Chcąc sprostać oczekiwaniom powinni zintegrować narzędzia oraz systemy informatyczne, ponieważ dzięki takim działaniom przedsiębiorstwa mają szansę na osiągnięcie największych sukcesów. Pandemia COVID-19 tylko przyspieszyła proces transformacji cyfrowej (dzięki czemu przejście na nowy model zdalnej pracy był nie tyle możliwy, co konieczny do implementacji). 12 trendów na 2022 wyznacza kolejne kroki w tym procesie (tabela 1.7).

**Tabela 1.7. Najważniejsze technologie na rok 2022 według Gartnera**

	2022 <sup>41</sup>
1.	Data Fabric
2.	Sieć bezpieczeństwa cybernetycznego (ang. <i>Cybersecurity Mesh</i> )
3.	Obliczenia zwiększające prywatność (ang. <i>Privacy-enhancing computation</i> )
4.	Platformy natywne w chmurze (ang. <i>Cloud-native platforms</i> )
5.	Aplikacje komponowalne (ang. <i>Composable applications</i> )
6.	Inteligencja decyzji (ang. <i>Decision intelligence</i> )
7.	Hiperautomatyzacja (ang. <i>Hyperautomation</i> )
8.	Projektowanie rozwiązań AI (ang. <i>AI Engineering</i> )
9.	Przedsiębiorstwa rozproszone (ang. <i>Distributed Enterprises</i> )
10.	„Doświadczenia totalne” (ang. <i>Total Experience</i> )
11.	Systemy autonomiczne (ang. <i>Autonomic Systems</i> )
12.	Generatywna AI (ang. <i>Generative AI</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

W raporcie na rok 2023<sup>42</sup> analitycy Gartnera jasno wskazują, że najnowsze trendy powinny wpłynąć na strategie przedsiębiorstw w nadchodzących trzech latach, umożliwiając organizacjom zajęcie się czterema kluczowymi priorytetami<sup>43</sup>:

<sup>41</sup> *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022*, <https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-tech-trends>, z dn. 2023.06.12.

<sup>42</sup> *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2023*, <https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2023>, z dn. 2023.06.12.

<sup>43</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

- optymalizacja odporności, operacji lub zaufania,
- skalowalność produktywności i wartości dla klienta,
- pionierskie zaangażowanie klientów,
- dążenie do zrównoważonych rozwiązań technologicznych.

Pierwszy priorytet to trendy, które optymalizują systemy IT pod kątem większej niezawodności i usprawniają podejmowanie decyzji w oparciu o posiadane dane. Wskazany przez Gartnera cyfrowy system immunologiczny zapewnia lepszą obsługę klienta. Dzięki obserwowalności, automatyzacji oraz ekstremalnym projektom i testom cyfrowy system zapewnia odporne systemy, które ograniczają ryzyko operacyjne i zagrożenia bezpieczeństwa. Obserwowalność stosowana działa na podstawie danych emitowanych przez organizację, wykorzystując AI do analizowania i formułowania zaleceń, które pozwalają przedsiębiorstwu podejmować szybsze i dokładniejsze decyzje w przyszłości. Systematyczne stosowanie takich systemów może zmniejszyć opóźnienie reakcji i zoptymalizować operacje biznesowe w czasie rzeczywistym. Zaś zarządzanie zaufaniem, ryzykiem i bezpieczeństwem sztucznej inteligencji wspiera zarządzanie modelami AI, wiarygodność, uczciwość, niezawodność, solidność, skuteczność i ochronę danych. Wskazany trend łączy w sobie metody wyjaśniania wyników sztucznej inteligencji, szybkiego wdrażania nowych modeli, aktywnego zarządzania bezpieczeństwem sztucznej inteligencji oraz kontroli prywatności i kwestii etycznych. To podejście wpisuje się w szerszy scenariusz cyberzagrożeń, które przybrały na sile po wybuchu wojny w Ukrainie.

Priorytet dotyczący skalowalności to trendy technologiczne zwiększające tempo dostarczania produktów i umożliwiające łączność w każdym miejscu. Branżowe platformy chmurowe łączą rozwiązania **SaaS (ang. *Software as a Service*)**, **PaaS (ang. *Platform as a Services*)** i **IaaS (ang. *Infrastructure as a Service*)**, z dostosowanymi, specyficznymi dla branży funkcjami, dzięki którym organizacje mogą łatwiej dostosowywać się do nieustannego strumienia zakłóceń w swojej branży. Platformy inżynieryjne zapewniają wyselekcjonowany zestaw narzędzi, możliwości i procesów, które są spakowane w celu łatwego wykorzystania przez programistów i użytkowników końcowych. Zaś integracja technologii bezprzewodowych obejmuje świadczenie usług sieci bezprzewodowych z dowolnego miejsca, w tym z tradycyjnych komputerów dla użytkowników końcowych, obsługę urządzeń brzegowych, rozwiązania do oznaczania cyfrowego itp. Takie sieci znacznie wykraczają poza



samą łączność, zapewniając lokalizację i inne informacje i wgląd w czasie rzeczywistym z analiz i umożliwić systemom bezpośrednie pozyskiwanie energii z sieci.

Trzeci priorytet dotyczący pionierstwa to trendy skoncentrowane na umożliwianiu zmiany modelu biznesowego, odkrywaniu na nowo zaangażowania pracowników i klientów oraz przyspieszaniu strategii w celu zdobycia nowych rynków wirtualnych. Superaplikacje to coś więcej niż złożone aplikacje, które agregują usługi. Superaplikacja łączy w sobie cechy aplikacji, platformy i ekosystemu w jednej aplikacji, zapewniając platformę dla stron trzecich do tworzenia i publikowania własnych mniejszych aplikacji. Adaptacyjna sztuczna inteligencja pozwala na zmianę zachowania modelu po wdrożeniu, wykorzystując informacje zwrotne w czasie rzeczywistym, w celu ciągłego ponownego szkolenia modeli i uczenia się w środowisku wykonawczym i programistycznym, w oparciu o nowe dane i dostosowane cele, aby szybko dostosować się do zmieniających się rzeczywistych okoliczności. W raporcie 2023 w zestawieniu pojawiło się nowe pojęcie technologii Metaverse ma umożliwiać ludziom powielać lub ulepszać ich aktywność fizyczną. Może się to zdarzyć poprzez przeniesienie lub rozszerzenie aktywności fizycznej do świata wirtualnego lub poprzez przekształcenie świata fizycznego. Jest to kombinatoryczna innowacja, na którą składa się wiele tematów i możliwości technologicznych.

W 2023 roku raport Gartnera również wskazuje, że samo dostarczanie technologii nie jest już wystarczające. Zrównoważona technologia to ramy rozwiązań zwiększających energię i wydajność usług IT, umożliwia zrównoważony rozwój przedsiębiorstw dzięki technologiom takim jak identyfikowalność, analityka, oprogramowanie do zarządzania emisjami i sztuczna inteligencja. Pomaga klientom osiągnąć ich własne cele w zakresie zrównoważonego rozwoju (często wskazywane w raportach ESG), a inwestycje w zrównoważoną technologię mogą również zwiększyć odporność operacyjną i wyniki finansowe, zapewniając jednocześnie nowe możliwości wzrostu.

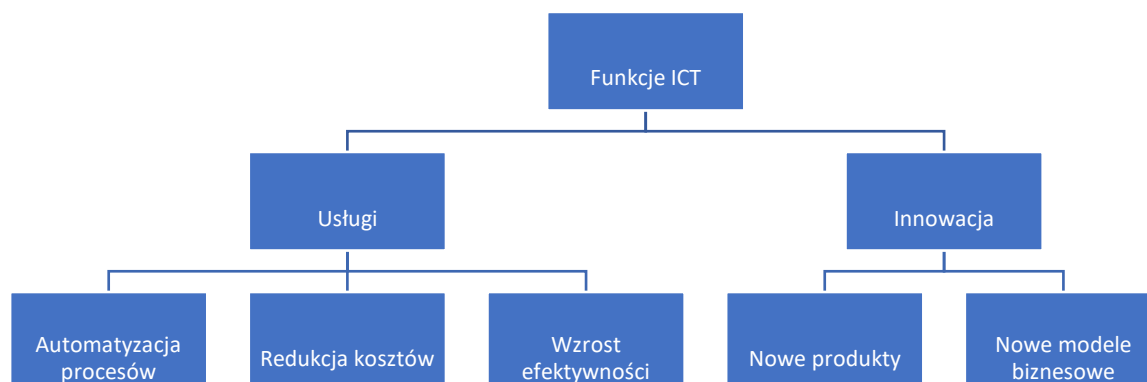
10 najważniejszych strategicznych trendów technologicznych firmy Gartner na 2023 rok potencjalnie pomóc spełnić potrzeby biznesowe w zakresie optymalizacji, skalowania lub pionierstwa (tabela 1.8). Wskazane trendy pozwalają dostosować innowacje technologiczne do przyszłych celów strategicznych przedsiębiorstwa. Zaś inwestycje w zrównoważoną technologię zapewniają korzyści operacyjne i finansowe oraz mogą stwarzać możliwości rozwoju.

**Tabela 1.8. 10 najważniejszych technologii na rok 2023 według Gartnera**

2023 <sup>44</sup>	
1.	Cyfrowy system immunologiczny (ang. <i>Digital Immune System</i> )
2.	Obserwowalność stosowana (ang. <i>Applied Observability</i> )
3.	Zarządzanie zaufaniem, ryzykiem i bezpieczeństwem sztucznej inteligencji (ang. <i>AI Trust, Risk and Security Management (AI TRISM)</i> )
4.	Branżowe platformy chmurowe (ang. <i>Industry Cloud Platforms</i> )
5.	Platformy inżynieryjne (ang. <i>Platform Engineering</i> )
6.	Integracja technologii bezprzewodowych (ang. <i>Wireless-Value Realization</i> )
7.	Superaplikacje (ang. <i>Superapps</i> )
8.	Adaptacyjna sztuczna inteligencja (ang. <i>Adaptive AI</i> )
9.	Metaverse
10.	Zrównoważony rozwój (ang. <i>Sustainable Technology</i> )

Źródło: Na podstawie raportów Gartnera.

Technologie informatyczne pełnią w przedsiębiorstwie dwie główne funkcje: usługową i innowacyjną (rysunek 1.2).



**Rysunek 1.2. Funkcje ICT i skutki ich zastosowania w przedsiębiorstwie**

Źródło: Na podstawie I. Orzoł, *Znaczenie współczesnych...*, op. cit., s. 321.

**Funkcja usługowa**, poprzez efektywne wykorzystywanie narzędzi IT, pozwala organizacji bardziej skutecznie realizować strategię, np. poprzez automatyzację, przyspieszenie i przebudowę przebiegu procesów, redukcję przy zachowaniu lub zwiększeniu efektywności.

**Funkcja innowacyjna**, poprzez umiejętne wykorzystywanie narzędzi, które mają potencjał, stwarza przedsiębiorstwu nowe możliwości rozwoju oraz szukaniu nowych biznesów, które bez zastosowania IT nie byłyby możliwe. Jest to np. dotarcie do nowych segmentów klientów, wprowadzenie na rynek innowacyjnego produktu (prototypu), czy też utworzenie nowego modelu biznesowego. Obie te funkcje w zasadniczy sposób wpływają na poziom

<sup>44</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

stopy zwrotu z kapitału zainwestowanego w organizację oraz na możliwości wzrostu przedsiębiorstwa<sup>45</sup>. A w dzisiejszych czasach, są kluczowym czynnikiem sukcesu organizacji.

Rolę informatyki w życiu codziennym można sobie w pełni uświadomić wyobrażając sobie skutki wyimaginowanej awarii unieruchamiającej wszystkie komputery na świecie na kilka godzin, a nawet dni. Konsekwencje takiego zdarzenia miałyby wprost niewyobrażalne skutki społeczno-gospodarcze. Zastosowania informatyki stały się codziennością, ale można zaryzykować stwierdzenie, że w obecnych czasach to informatyka jest jednym ze źródeł kreujących rzeczywistość<sup>46</sup>. Jej zastosowanie można znaleźć w życiu codziennym, np. urządzeniach domowego użytku typu budzik lub pralka, a przykładowo – komputery i odpowiednie czujniki zastosowane w samochodach sygnalizują zmęczenie kierowcy, a nawet potrafią za kierowcę zaparkować.

Codziennosc została zdominowana przez technologie informatyczne. Istotna rola biznesu elektronicznego w rozwoju gospodarki została już zauważona i doceniona w poprzednim wieku. Wykorzystanie informatyki w prowadzeniu działalności gospodarczej niesie ze sobą wiele korzyści. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: zmniejszenie kosztów funkcjonowania, odkrywanie nowych nisz rynkowych, szybsza komunikacja z klientem, wzrost poziomu integracji przedsiębiorstwa z jego partnerami biznesowymi, czy też szybsze reagowanie na zmieniające się wymogi rynku. Zjawiska te w sposób szczególny uwidaczniają się w takich obszarach jak: handel (e-handel), turystyka (e-turystyka), bankowość (e-bankowość), reklama (e-marketing), a nawet edukacja (edukacja online/e-learning) i administracja publiczna (e-administracja, e-pacjent).

Chociaż obecnie ICT wpływa praktycznie na wszystkie aspekty funkcjonowania przedsiębiorstwa, można wyróżnić trzy najważniejsze i powiązane ze sobą obszary, w których zmiany następują w sposób transparentny<sup>47</sup>: zarządzanie, komunikacja marketingowa, sprzedaż i dystrybucja (rysunek 1.3).

---

<sup>45</sup> I. Orzoł, *Znaczenie współczesnych...*, *op. cit.*, s. 321.

<sup>46</sup> O. Dębicka, J. Winiarski, *Zastosowanie systemów...*, *op. cit.*, s. 7-8.

<sup>47</sup> E. Pawlicz, *E-turystyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, s. 19.



**Rysunek 1.3. Wykorzystywanie ICT w przedsiębiorstwie**

Źródło: Na podstawie E. Pawlicz, *E-turystyka...*, op. cit., s. 19.

Aktualnie trudno wyobrazić sobie przedsiębiorstwo bez infrastruktury IT. Fakt posiadania rozbudowanych i skomplikowanych systemów informatycznych nie stanowi jednak o sukcesie organizacji. Sukcesem jest efektywne wykorzystywanie posiadanych zasobów ICT. W osiągnięciu tego celu pomagają technologie, takie jak wirtualizacja zasobów informatycznych, czy przetwarzanie w chmurze.

## 1.2. Wirtualizacja IT

Firmy na całym świecie, aby zachować konkurencyjność w dynamicznym i coraz bardziej globalnym środowisku biznesowym, zwracają się ku cyfrowemu, opartemu na technologiach informatycznych, stylowi pracy. Wymaga to nienagannej współpracy pomiędzy wieloma zespołami w różnych organizacjach i różnych strefach czasowych, gdzie sukces zależy od prędkości, mobilności i łączności. Te tendencje wywierają coraz większą presję na działy IT, aby udostępniały bogaty wachlarz zintegrowanych rozwiązań w całej infrastrukturze, jednocześnie chroniąc zarówno środowisko, jak i poufne dane przed ich naruszeniem oraz zakłóceniami. Gwałtowny wzrost liczby sieci i urządzeń do komunikacji, jak również wzrost zasobów informacji przechowywanych, wykorzystywanych i udostępnianych często tworzą środowisko, w którym zgodność systemowa jest minimalna, bezpieczeństwo zagrożone, a złożoność staje się przytłaczająca. Organizacje zmagające się z tymi wyzwaniami, chcąc zwiększyć efektywność swoich systemów IT oraz elastyczność w zmieniających się warunkach, zwróciły się w stronę wirtualizacji.

Wirtualizacja, czyli technologia maszyn wirtualnych, stała się odpowiedzią na powszechnie panującą złożoność systemów i skomplikowane architektury IT. Mnogość

niekompatybilnych procesów, które mają swoje odzwierciedlenia w systemach sprawia, że w pewnych sytuacjach organizacja ma złożony, wielokomputerowy system, ale właściwie z niego nie korzysta<sup>48</sup>. Typowym przykładem jest firma, która utrzymuje serwer pocztowy, serwer www, serwer FTP, kilka serwerów e-commerce oraz kilka innych serwerów. Każdy z nich działa na osobnej maszynie, często zainstalowanej fizycznie w tej samej szafie sprzętowej co pozostałe, a wszystkie połączone ze sobą szybką siecią. Bardzo często serwery działają na osobnych komputerach, gdyż uważa się, że jedna maszyna nie jest w stanie obsłużyć obciążenia całej infrastruktury. Innym powodem, przez który te usługi nie są ujęte we wspólny proces na jednym komputerze, jest niezawodność. Dzięki umieszczeniu każdego serwisu na osobnej maszynie, w przypadku awarii jednego serwera, z całą pewnością ten drugi będzie działał bezawaryjnie. Jednak takie podejście do infrastruktury i jej zarządzanie jest trudne i kosztowne. Kolejnym aspektem jest bezpieczeństwo, które w złożonej strukturze IT jest dużo bardziej zagrożone. Zagrożony staje się nie tylko sprzęt, ale przede wszystkim informacja przetwarzana, przechowywana i przesyłana w systemie informatycznym<sup>49</sup>.

Wirtualizacja to technologia, która w sposób diametralny zmienia sposób tworzenia i wykorzystywania środowiska informatycznego. Jest to metoda na uruchamianie wielu komputerów lub serwerów na jednej platformie sprzętowej, bez obaw, że awaria jednego spowoduje automatyczną awarię reszty. Główną przesłanką idei wirtualizacji jest fakt, że zwykle obciążenie pracą wykorzystuje jedynie ułamek możliwości sprzętowych komputera lub serwera. Jeśli połączone zostaną wzajemnie uzupełniające się obciążenia pracą w zakresie przetwarzania danych i wykorzystania pamięci, można zredukować liczbę fizycznych maszyn niezbędnych do obsługi wykonywanych operacji biznesowych. Przeciętne wykorzystanie zasobów serwera wynosi około 15%<sup>50</sup> co oznacza, że 85% pozostaje niewykorzystane<sup>51</sup>. Zwiększenie wspomnianego parametru do 60% oznacza czterokrotne zmniejszenie zapotrzebowania na przestrzeń, sprzęt oraz energię elektryczną wykorzystywaną do zasilania i chłodzenia zespołów serwerów - proces ten jest określany jako konsolidacja serwerów<sup>52</sup> i został przedstawiony na rysunku poniżej (rysunek 1.4).

---

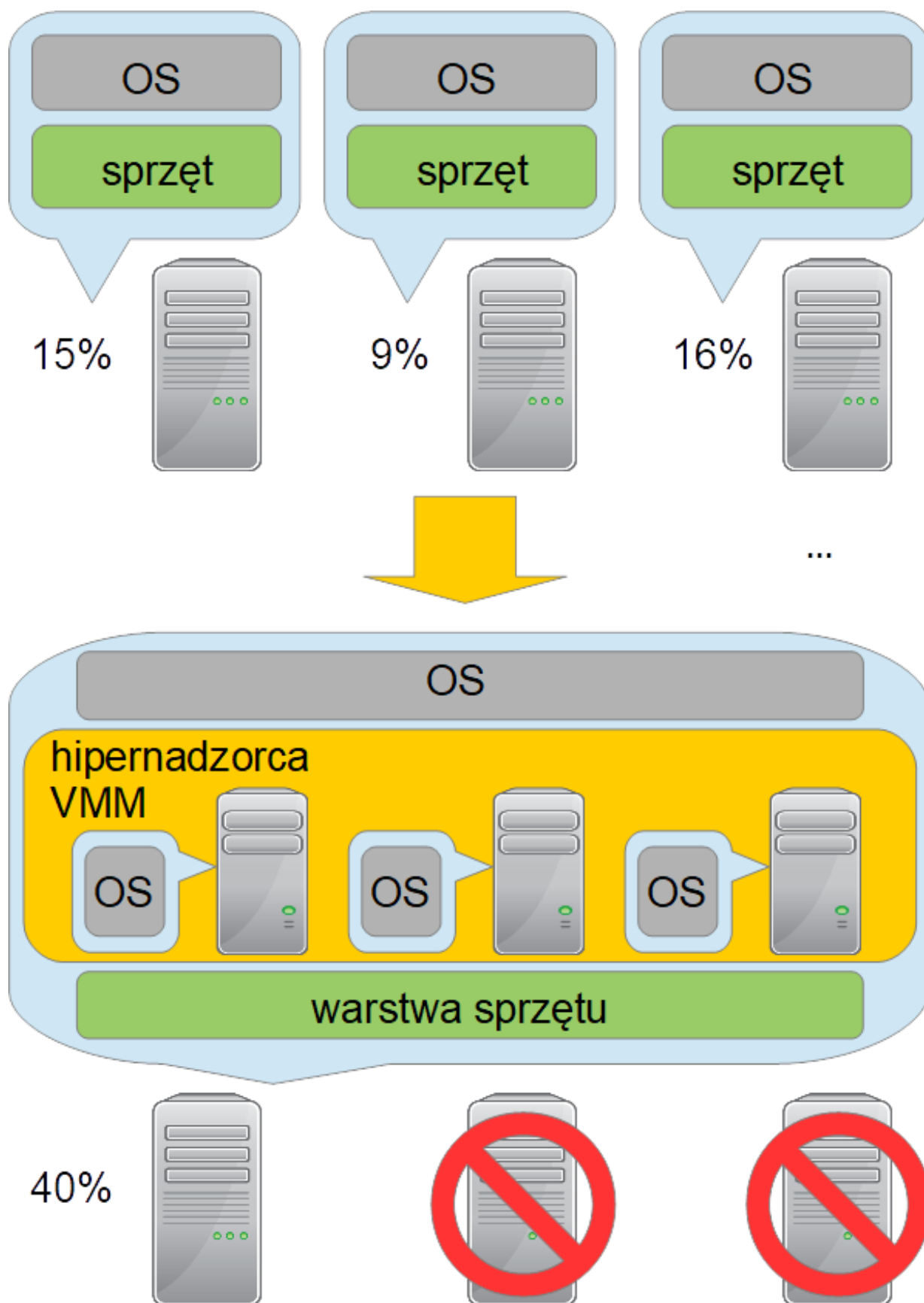
<sup>48</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2015, s. 669.

<sup>49</sup> K. Liderman, *Bezpieczeństwo informacyjne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, s. 17.

<sup>50</sup> W przypadku serwerów z rodziny Windows jest to 8-12%, natomiast w Unix to 25-30%, zob. B. Day, *Identifying server consolidation cost savings*, Forrester Research, Cambridge MA 2005.

<sup>51</sup> <http://download.microsoft.com/download/7/f/4/7f4004f7-c7eb-48c5-a0a7-dd7944a50e72/Whitepaper-Remote-Infrastructure-CoreIO-FY08.pdf>, z dn. 2019.10.21.

<sup>52</sup> *Ibidem*, z dn. 2015.01.15.



**Rysunek 1.4. Przykładowy proces konsolidacji serwerów**

Źródło: Na podstawie <http://download.microsoft.com/download/7/f/4/7f4004f7-c7eb-48c5-a0a7-dd7944a50e72/Whitepaper-Remote-Infrastructure-CoreIO-FY08.pdf>, z dn. 2019.10.21.

Zatem konsolidacja serwerów to proces sukcesywnej migracji i umieszczania nowych zasób w środowisku wirtualnym, co oznacza rezygnację z warstwy fizycznej, czyli warstwy sprzętu.

Konsolidację opisuje również M. Serafin jako główną zaletę wirtualizacji, wskazując od razu szeroko rozumiane oszczędności jako korzyść osiągniętą z tego tytułu. Autor poza kosztami zakupu sprzętu, wymienia również koszty związane z jego eksploatacją, są to m.in. redukcja poboru energii elektrycznej niezbędnej do zasilania i chłodzenia serwerów oraz oszczędności z tytułu ograniczenia miejsca w data center<sup>53</sup>.

Omawianą technologię łatwo zrozumieć na przykładzie wirtualnej maszyny (VM), która jest realizowana wówczas, gdy system operacyjny i aplikacje zostaną połączone w celu utworzenia maszyny wirtualnej, która jest ulokowana na fizycznym serwerze, działającym niezależnie od VM (jeden komputer jest hostem dla wielu maszyn wirtualnych). Zatem wirtualizacja zasobów informatycznych to trwałe rozdzielenie dwóch warstw każdego systemu komputerowego: warstwy sprzętu (hardware) i warstwy systemu operacyjnego (OS), na której zainstalowane są aplikacje pracujące w obrębie jednej maszyny cyfrowej<sup>54</sup>. Oprócz istniejących komponentów dodatkiem jest warstwa programowa – serce systemu - zwana hipernadzorcą, hypervisorem (jest to oprogramowanie zapewniające podstawowy interfejs, umożliwiający obsługę sprzętu) lub monitorem maszyn wirtualnych (VMM), implementująca funkcjonalność sprzętu – komputer w komputerze. VMM działa bezpośrednio na sprzęcie i realizuje funkcje wieloprogramowości, dostarczając do wyższej warstwy nie jednej, ale kilku maszyn wirtualnych<sup>55</sup> co zostało przedstawione na rysunku poniżej (rysunek 1.5).

---

<sup>53</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce*, HELION, Gliwice 2012, s. 9.

<sup>54</sup> A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek rozwoju platform n-procesowych*, Przegląd telekomunikacyjny, rocznik LXXXI, nr 6/2008, s. 856.

<sup>55</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 107.

## klasyczna architektura



## wirtualizacja



**Rysunek 1.5. Klasyczna architektura, a wirtualizacja**

Źródło: Na podstawie A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, op. cit., s. 107.



VM jest warstwą abstrakcji, środowiskiem między elementami sprzętu a użytkownikiem końcowym, które potrafi uruchomić własny system operacyjny. Zatem technologia wirtualizacji realizowana jest wtedy, kiedy system operacyjny oraz aplikacja są połączone w celu utworzenia maszyny wirtualnej, która jest umieszczona na serwerze fizycznym, zarządzanym przez system operacyjny hosta lub hypervisor (VMM).

Maszyna fizyczna składa się z systemu operacyjnego hosta i komponentów sprzętowych takich jak dyski, procesory, karty sieciowe, a także kontrolery i urządzenia wejścia/wyjścia (I/O). System operacyjny hosta nie tylko potrafi uruchomić wiele VM ale także dzielić się swoimi zasobami hardware-owymi<sup>56</sup> - odbywa się to przez emulację kompletnego systemu sprzętowego (bez obawy na jednoczesny dostęp do tych samych zasobów przez inne maszyny wirtualne). Oznacza to, że programowo emulowane są wszystkie podstawowe typy urządzeń m.in. takie jak: karta dźwiękowa, CPU, pamięć, dyski twarde, karty sieciowe i inne. System operacyjny pracujący w trybie VM ma wgląd w jednolity, znormalizowany zbiór zasobów sprzętowych niezależnie od aktualnie dostępnych komponentów sprzętowych. Udostępnianie warstw hardware-owych odbywa się przez wykonywanie przez maszynę fizyczną zapytań (połączeń) za pomocą BIOS-u<sup>57</sup>. Zatem wirtualne maszyny są instancją systemu operacyjnego, pracującego w emulowanym, wirtualnym środowisku na bazie rzeczywistych zasobów sprzętowych. Za wykonywanie zapytań do BIOS-u odpowiada hipernadzorca (VMM).

Zastosowanie wskazanej warstwy pośredniej VMM wynika z faktu, iż system operacyjny działający po stronie maszyny wirtualnej może generować tzw. nieuprzywilejowane i uprzywilejowane instrukcje. Instrukcje nieuprzywilejowane to takie, które nie zmieniają stanu współdzielonych zasobów serwera. Przykładem są tutaj operacje arytmetyczne, jakie przeprowadza procesor. Wykonanie tych operacji nie ma bezpośredniego wpływu na inne maszyny wirtualne, może natomiast wpływać pośrednio na ich wydajność. Instrukcje tego typu są przechwytywane z poszczególnych maszyn wirtualnych, kolejgowane i wykonywane przez oprogramowanie nadzorcy. Drugim typem operacji są operacje uprzywilejowane. Ich zadaniem jest zmienianie stanu współdzielonych zasobów, np. wyłączenie komputera, zmiana czasu. W przypadku pierwszego rodzaju instrukcji (nieuprzywilejowanych) mogą one być bezpośrednio wykonywane na współdzielonych

---

<sup>56</sup> D. Kreuter, *Where server virtualization was born*, Virtual Strategy Magazine, July 2004.

<sup>57</sup> BIOS (ang. *Basic Input/Output System*) – podstawowy system wejścia/wyjścia, zapisany w pamięci stałej zestaw podstawowych procedur pośredniczących pomiędzy systemem operacyjnym, a sprzętem.

zasobach. Drugi rodzaj instrukcji (uprzywilejowane) jest symulowany przez oprogramowanie nadzorcy<sup>58</sup>.

Ponadto wyróżnia się trzy podstawowe właściwości monitora maszyn wirtualnych (VMM)<sup>59</sup>. Pierwsza to izolacja – zastosowanie VMM powoduje, że tylko oprogramowanie ma dostęp do fizycznych zasobów komputera oraz tylko ono monitoruje oraz przydziela zasoby wirtualnym maszynom. Powoduje to izolację warstwy sprzętowej od wirtualnych maszyn oraz izolację pomiędzy działającymi maszynami wirtualnymi.

Drugą właściwością monitora maszyn wirtualnych jest interpozycja (pośrednictwo) – VMM zarządza wszystkimi uprzywilejowanymi instrukcjami po stronie fizycznego sprzętu. Równocześnie przechwytuje wszystkie żądania wejścia/wyjścia generowane przez maszyny wirtualne, i odwzorowuje je na fizycznych urządzeniach I/O. VMM zarządza wszystkimi VM równocześnie<sup>60</sup>.

Ostania właściwość to inspekcja – VMM posiada możliwość monitorowania stanu wirtualnych maszyn. Dzięki temu jest możliwe tworzenie migawek (kopii bezpieczeństwa) aktualnego stanu wirtualnych maszyn oraz odtwarzanie ich stanu w przypadku awarii. Oprogramowanie VMM pozwala także na kopiowanie, przenoszenie i usuwanie wirtualnych maszyn.

Technologia wirtualizacji pozwala na jednoczesną pracę na tej samej platformie sprzętowej wielu niejednorodnym systemom operacyjnym, pozostającym względem siebie w izolacji programowej<sup>61</sup>. Przykładowo praca serwera pocztowego (z OS Linux) nie wpłynie na działanie serwera WWW (z OS Windows), FTP oraz e-commerce. W związku z tym pozostaje utrzymany model odporności na awarie, typowy dla systemów wielokomputerowych, ale znacznie niższym kosztem. Model ten jest również dużo łatwiejszy w utrzymaniu<sup>62</sup>. Dodatkowo maszyna wirtualna, programowa implementacja architektury komputera, działa niezależnie od systemu operacyjnego zainstalowanego na serwerze hosta. Dzięki temu wiele maszyn tego typu może działać na pojedynczym serwerze fizycznym, zapewniając także izolację i bezpieczeństwo charakterystyczne dla struktur

---

<sup>58</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów informatycznych organizacji. Analiza metod i typów wirtualizacji oraz stosowanych standardów*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 117.

<sup>59</sup> *Ibidem*, s. 118.

<sup>60</sup> F. Bazargan i in., *State-of-the-Art of Virtualization, its Security Threats and Deployment Models*, [https://www.researchgate.net/publication/268291860\\_State-of-the-Art\\_of\\_Virtualization\\_its\\_Security\\_Threats\\_and\\_Deployment\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/268291860_State-of-the-Art_of_Virtualization_its_Security_Threats_and_Deployment_Models), z dn. 2023.06.12.

<sup>61</sup> A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, *op. cit.*, s. 856.

<sup>62</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 667.

wielokomputerowych. Taka architektura zwiększa elastyczność poprzez możliwość uproszczonego zarządzania zmianami – znika konieczność konfigurowania każdego elementu z osobna celem osiągnięcia ich płynnej współpracy.

Jednak to co jest największą korzyścią wirtualizacji, jest zarazem najsłabszym jej punktem. Mianowicie potencjalna awaria serwera hosta - gospodarza, na którym zainstalowano wiele maszyn wirtualnych, może nieść za sobą dotkliwe skutki, jeśli odpowiednio wcześniej nie zostaną podjęte kroki zapobiegawcze. M. Serafin zwraca głównie uwagę na wykonywanie regularnych kopii bezpieczeństwa oraz migawek systemowych<sup>63</sup>. Jednak tworzenie kopii zapasowych w środowisku wirtualnym może stwarzać sporo wyzwań. Ponieważ niektóre starsze systemy służące do wykonywania kopii bezpieczeństwa, wywodzące się ze środowisk fizycznych, nie zostały one przystosowane do wirtualizacji wymagają instalowania na każdej maszynie wirtualnej tzw. agentów kopii bezpieczeństwa, czyli niewielkich programów monitorujących działanie każdego z systemów. Jest to podejście negatywnie wpływające na wydajność – na jednym serwerze fizycznym może działać wiele takich samych agentów backupu, po jednym na każdą maszynę wirtualną<sup>64</sup>. Natomiast A. S. Tanenbaum pisze o zapobieganiu awarii serwera hosta (ale również problemów wydajnościowych) poprzez racjonalne budowanie infrastruktury i uniknięcie jej nadmiernej rozbudowy<sup>65</sup>. Obie przesłanki uwzględnione podczas planowania lub wdrażania wirtualizacji pozwolą na czerpanie maksymalnych korzyści ze stosowania tej technologii, przy jednoczesnym obniżeniu ryzyka wystąpienia potencjalnego zagrożenia.

Wirtualizacja pozwala organizacjom kontrolować wydatki, optymalizować wykorzystanie serwerów dzięki konsolidacji, zmniejszać koszty utrzymania **OPEX**<sup>66</sup>, sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej, redukować czas potrzebny na testowanie kompatybilności oprogramowania oraz zmniejszać ogólną złożoność systemu. Wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych, przy ich odpowiednim zaplanowaniu i efektywnym zarządzaniu, również zwiększa bezpieczeństwo, efektywność oraz podnosi poziom usług przedsiębiorstwa.

---

<sup>63</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce...*, *op. cit.*, s. s. 9.

<sup>64</sup> <https://www.computerworld.pl/news/Za-i-przeciw-wirtualizacji,403362.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>65</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 669-670.

<sup>66</sup> OPEX (ang. *Operating Expenditures*) – oznacza wydatki związane z utrzymaniem produktu, biznesu czy systemu. Pojęciem powiązonym jest CAPEX (ang. *Capital Expenditures*), co odnosi się do wydatków związanych z rozwojem produktu lub systemu.

## 1.3. Green Computing

### 1.3.1. Główne założenia idei Green Computing

Na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat obserwuje się powolny, ale systematyczny wzrost świadomości ekologicznej polskiego społeczeństwa. Rosnące potrzeby społeczne w kwestii dbałości o środowisko naturalne i bezpieczeństwo ekologiczne produktów pobudzają firmy do konkretnych działań proekologicznych. Przedsiębiorstwo w dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości musi reagować na płynące z otoczenia sygnały. Na tym polu przedsiębiorstwa mogą prezentować zdolność do wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych i organizacyjnych, będących przejawem innowacyjności ekologicznej. Wprowadzenie innowacji ekologicznych w przedsiębiorstwach wymaga wysokich kompetencji ekologicznych personelu i wysokiej świadomości ekologicznej pobudzającej organizację do poszukiwania nowatorskich rozwiązań sprzyjających ochronie środowiska.

**Zielone IT** (ang. *Green Computing*), czyli informatyka ekologiczna, to koncepcja wdrażania energooszczędnych i przyjaznych środowisku rozwiązań technologicznych. Omawiane „zielone” rozwiązania dotyczą zarówno serwerowni, komputerów biurowych, domowych, urządzeń mobilnych, jak również działań i procesów optymalizujących przede wszystkim pobór energii elektrycznej. Oprócz aspektu energooszczędności, Green Computing ma na celu także redukcję emisji dwutlenku węgla, jak również ilości odpadów poprzez recycling zużytego sprzętu. Holistyczne podejście do tematu i kompleksowa realizacja wszystkich działań niosą za sobą zarówno profity dla środowiska, jak i korzyści finansowe.

Już w 2007 roku w raporcie Gartnera komunikowano podczas Gartner Symposium/ITxpo 2007 Emerging Trends<sup>67</sup> o wysokim zużyciu energii poprzez sektor IT i już wtedy przedstawiciele Gartnera wiedzieli, że fala prawdziwie „zielonych” inwestycji dopiero się zaczyna. Dlatego idea Green Computing konsekwentnie pojawiła się w jego rankingach kluczowych technologii w kolejnych latach 2008-2010. Z raportów wynika, że Gartner do „zielonych” systemów IT zalicza przede wszystkim rozwiązania zmierzające do ograniczenia poboru mocy pobieranej przez urządzenia i aplikacje pracujące w centrach danych. Wszystkie zalecenia, stworzone w odpowiedzi na problem negatywnych skutków korzystania z ICT, zostały ujęte w syntetyczne rekomendacje:

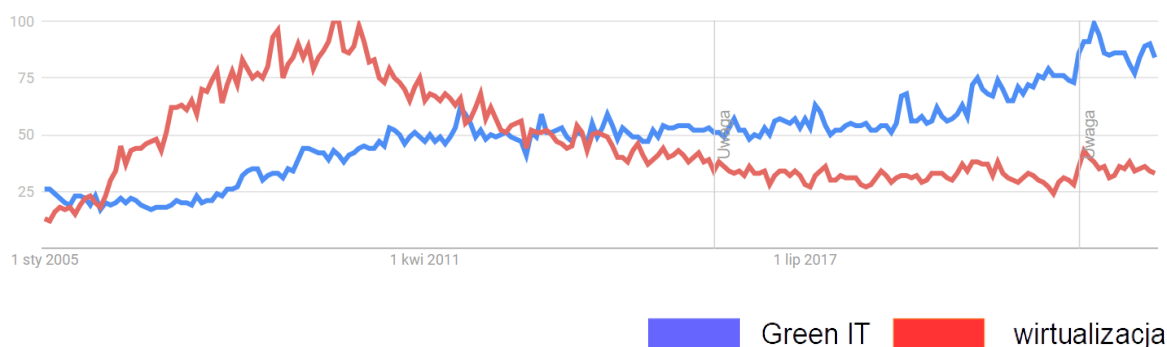
---

<sup>67</sup> Ch. Pettey, *Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2 Percent of Global CO<sub>2</sub> Emissions*, <https://www.gartner.com/newsroom/id/503867>, z dn. 2019.10.21.

- konieczność mierzenia zużycia energii;
- zużywanie mniejszej liczby serwerów i drukarek, przy jednoczesnym zwiększeniu ich wykorzystania – wirtualizacja serwerów;
- zaprzestanie nadprogramowania – lepsze planowanie;
- poprawienie efektywności chłodzenia;
- włączenie systemu zarządzania energią, używanie stanu niskiego zużycia energii lub wyłączanie urządzeń po godzinach;
- przedłużenie żywotności zasobów, ponowne ich wykorzystanie w przedsiębiorstwie i na zewnątrz;
- zapewnienie i sprawdzenie poprawność rozmieszczenia wszystkich urządzeń elektronicznych;
- konieczność przeanalizowania wszystkich e-odpadów.

Powyższe rekomendacje dotyczą przede wszystkim konieczności opracowywania coraz bardziej energooszczędnych serwerów. Dlatego decyzja Gartnera o umieszczeniu Green Computing na liście najbardziej popularnych trendów już 2008 roku była uzasadniona przede wszystkim ekspansją idei w centrach przetwarzania danych w celu ograniczenia rozbudowy infrastruktury, która ma bezpośredni wpływ na wykorzystanie energii elektrycznej, emisję dwutlenku węgla oraz generowanie dużych kosztów. Zalecenia Gartnera, według ich autorów, powinny stać się elementem strategii każdego przedsiębiorstwa. Takie podejście świadczy o tym jak znaczący był to wówczas problem na rynku usług ICT.

Jednak temat informatyki ekologicznej (na osi czasu 2005-2023) jest nieustająco popularnym tematem zainteresowań w Internecie. W czasie gdy wirtualizacja stawała się już standardem w centrach przetwarzania danych, a sam temat nie budził już tak szerokiej dyskusji i zainteresowania w wyszukiwarce Google, atencja Green IT stale rośnie (rysunek 1.6).



**Rysunek 1.6. Zainteresowanie w wyszukiwarce Google ideą Green IT i wirtualizacji**

Źródło: Google Trends, <https://trends.google.pl/trends>, z dn. 2023.06.12.

Utrzymanie się trendu wysokiego zainteresowania innowacyjnością ekologiczną w Internecie świadczy o ciągłym zapotrzebowaniu wprowadzania nowych rozwiązań służących do systematycznego zmniejszania skali problemu. Również Gartner w raporcie trendów na 2023 nie bez powodu wskazuje zrównoważoną technologię, czyli ramy rozwiązań zwiększających energię i wydajność usług IT. Technologia zrównoważona jest technologią prowadzącą do wytwarzania produktów w sposób efektywny, minimalizującym degradację środowiska naturalnego i zapewniającym dostęp do zasobów przyszłym pokoleniom.

O skali problemu napisali J. Malmudin i D. Lundén w artykule „*The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*”<sup>68</sup>, którzy przeanalizowali zużycie energii elektrycznej i emisję dwutlenku węgla w latach 2010-2015 dla sektora ICT, jak również branży rozrywki i mediów (E&M, ang. *Entertainment and Media*) w skali światowej i na tej podstawie wskazali prognozę na 2020 rok. Estymacja bazuje na trzech globalnych badaniach (2007, 2011, 2018 r.) oraz szwedzkiej analizie (2015 r.). Badanie bierze pod uwagę trzy główne czynniki, które mają bezpośredni wpływ na poziom zużycia energii elektrycznej i emisję dwutlenku węgla: urządzenia użytkowników, sieci teleinformatyczne i centra przetwarzania danych. Według autorów zapotrzebowanie na energię elektryczną rosło do 2010 roku (w 2007 r. wyniosło 710 TWh<sup>69</sup>, a w 2010 r. 800 TWh). Natomiast od 2015 roku sektor ICT przestał zwiększać popyt na energię i osiągnął poziom z 2010 roku (dokładnie 805 TWh). Autorzy również przewidują, że możliwy szczyt miał miejsce w latach 2012-2013, co jest zgodne z okresem podwyższonego zainteresowania tematem w Internecie.

<sup>68</sup> J. Malmudin, D. Lundén, *The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*, *Sustainability* 2018, 10(9), 2018.

<sup>69</sup> 1 TWh = 1000 GWh, 1 GWh = 1000 MWh, a 1 MWh = 1000 kWh.

Zdaniem J. Malmodin i D. Lundén spadająca tendencja będzie się utrzymywała aż do 2020 roku. Za główne powody takiego stanu rzeczy uważają m.in.: zmniejszenie sprzedaży komputerów PC oraz mniejsze wykorzystanie istniejących desktopów na rzecz urządzeń mobilnych, efektywność energetyczna wyświetlaczy, rosnąca popularność małych, energooszczędnych urządzeń typu IoT. Niestety autorzy w swojej analizie nie podejmują głębokiej analizy efektywności energetycznej centrum przetwarzania danych. Wskazują jedynie, że mimo ogólnej tendencji spadkowej, zużycie energii w data center będzie systematycznie rosnać.

Interesujące jest również spojrzenie K. G. Arora, G. Kohli i P. Ratta, którzy w publikacji „*Green Computing – Trends and Challenges*”<sup>70</sup> określili trendy i wyzwania zielonego IT. Za główny trend zielonego IT autorzy uznali wirtualizację, dzięki której można zyskać największą efektywność energetyczną. Zastosowanie technologii wirtualizacji w świetle Green Computing zostało szerzej opisane w kolejnym podrozdziale. Najwięcej opisanych inicjatyw skupia się jednak wokół komputerów PC. Pierwsza z nich to konieczność wyłączania desktopu po pracy i w czasie weekendu. Dzięki akcjom typu „Wyłącz komputer przed wyjściem z pracy!” pracodawcy są w stanie zredukować i wolumen zużycia energii jak i obniżyć związane z tym koszty<sup>71</sup>. W tym świetle istotna jest również funkcja zarządzania energią w systemie komputerowym – trend zwany „zieloną” maszyną. Opcję „zaśnij i zahibernuj się” można aktywować ręcznie lub za pomocą ustawień zarządzania energią systemu operacyjnego. Istotna jest także optymalizacja oprogramowania wykorzystywanego przez sprzęt. Zdaniem autorów bardziej wydajne algorytmy doprowadzą do zmniejszenia liczby zasobów potrzebnych do ukończenia określonej funkcji obliczeniowej. Interesujący jest również temat recyklingu e-odpadów, czyli idea odsprzedawania zużytego, ale ciągle sprawnego sprzętu innym przedsiębiorcom, a nawet krajom. Opisywany trend pozwala na ponowne wykorzystanie starych części desktopów do naprawy lub modernizacji innych systemów komputerowych. Takie podejście zaoszczędza energię, zmniejszając przy tym generowanie odpadów elektronicznych, które mają negatywny wpływ na środowisko. K. G. Arora, G. Kohli i P. Ratta zwracają ponadto uwagę na tendencję do ekologicznego oznakowania produktów IT tak zwanymi „eko-etykietami”, co jest wspierane przez kilka organizacji na całym świecie. „Eko-etykiety” są przyznawane w oparciu o kilka czynników

---

<sup>70</sup> K. G. Arora, G. Kohli, P. Ratta, *Green Computing – Trends and Challenges*, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology 4(2018), 2018, s. 326-329.

<sup>71</sup> W 2009 roku Grupa TP została liderem zielonego IT w pierwszej edycji konkursu Top Green-IT ogłoszonego przez magazyn Computerworld. Z tytułu akcji „Wyłącz komputer przed wyjściem z pracy!” firma planowała prócz korzyści ekologicznych zaoszczędzić 1,2-1,3 mln zł rocznie.

mających na celu ochronę środowiska. Obejmuje to również możliwość recyklingu systemu, zużycia energii, poziomu hałasu itp. Wprowadzenie, ale też i zakup takich produktów w znaczny sposób może poprawić „eko-wizerunek” przedsiębiorstwa. Autorzy, mimo szerokiego spojrzenia na temat zielonego IT nie wymienili takich inicjatyw jak wykorzystywanie e-dokumentów, praca zdalna, czy idea **BYOD** (ang. *Bring Your Own Device*), czyli praktykę wykorzystywania prywatnych urządzeń w miejscu pracy, które następnie łączy się z siecią firmową i używa do celów biznesowych<sup>72</sup>. Ponadto za innowacyjność ekologiczną można także uznać optymalizację wydruku i działania takie jak: centralny system druku, konieczność logowania do drukarki, druk dwustronny oraz limit na druk kolorowy, a także konieczność wydruku w 24 godziny od jego zgłoszenia<sup>73</sup>, jak również rezygnację z wydruku w ogóle, w przypadku przejścia na podpisy elektroniczne i elektroniczny obieg dokumentów. Innowacyjność ekologiczna to także narzędzia analityczne służące do obniżenia i monitorowania stanu zużycia energii oraz emisji dwutlenku węgla. Ponieważ innowacyjność ekologiczna to nie tylko produkty i infrastruktura, to także optymalizacja procesów oraz narzędzia je wspierające, jak również kultura organizacji pracy.

Zielone IT to przede wszystkim wyzwania, a jednym z nich jest kształtowanie się świadomości ekologicznej społeczeństwa – zarówno organizacji, jak i ich klientów. Klienci o wysokiej świadomości powinni wywoływać presję na innowacyjne i ekologiczne rozwiązania, zaś pracownicy organizacji powinni być motorem inicjowania działań proekologicznych. O kształtowaniu świadomości ekologicznej przedsiębiorstwa decyduje poziom wiedzy, głównie kadry zarządzającej, oraz dostęp do rzetelnych informacji. Większość decyzji związanych z traktowaniem priorytetowo celów ekologicznych spoczywa zatem na kadrze menedżerskiej, ale bez poparcia (i inwestycji) zarządów i właścicieli firm zastosowanie proekologicznych rozwiązań nie będzie możliwa. Wiele zapisów i kodeksów postępowania ekologicznego w firmach pozostanie martwe, jeśli nie będzie respektowane przez wszystkich pracowników oraz ich zwierzchnictwo<sup>74</sup>.

Istnieją natomiast obszary, w których możliwe jest pogodzenie biznesu i ekologii. W przypadku projektu, który obejmuje „zazielenienie”, zwrot z inwestycji w wirtualizację są zwykle widoczne po długim okresie. Dlatego ważnym i niezbędnym wyzwaniem jest

---

<sup>72</sup> M. Y. Jusoh, H. Haron, J. Kaur, *A Conceptual Framework for BYOD to Support Green Computing in Public Sector*, International Journal of Control Theory And Applications 10(07), International Science Press, 2017, s. 27.

<sup>73</sup> W Grupie TP planowane, potencjalne oszczędności w druku zostały oszacowane na 2 mln zł.

<sup>74</sup> O. Seroka-Stolka, *Wiedza i świadomość ekologiczna w innowacyjnym przedsiębiorstwie*, w: *Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach. Komunikacja elektroniczna*, M. Pańkowska (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2011, s. 399.



wykazanie natychmiastowych zysków – zwrotu z inwestycji – po pomyślnym wdrożeniu Green IT w infrastrukturę IT<sup>75</sup>. Przygotowanie takich analiz przez menedżerów IT (na przykład poprzez kalkulatory wskazujące poziom emisji dwutlenku węgla, jak również kalkulatory ROI/TCO) pozwoli osobom decyzyjnym na szeroki i wielowymiarowy ogląd inwestycji – od strony technicznej, ekonomicznej i ekologicznej.

Nieprzypadkowo hasło „zielone IT” zrobiło zawrotną karierę i trudno znaleźć dostawcę informatyki, który nie posługuje się nim w swoim marketingu. Czasami oczywiście bywa ono nadużywane, bo prawie każdemu nowemu produktowi, a dotyczy to zarówno sprzętu jak i oprogramowania, doczepiana jest dodatkowa etykieta „zielony”, „eko”, „ekologiczny”, czy „przyjazny środowisku”. W retoryce zielonego IT dominuje motywacja producentów do zwiększenia popytu na sprzęt nowej generacji. Pracownikom marketingu stosunkowo łatwo jest zorganizować nową, „zieloną” inicjatywę lub wsparcie dla działań ekologicznych – wystarczy uzyskać na nią fundusze w ramach wspierania budowy pozytywnego wizerunku firmy<sup>76</sup> lub przystąpić do plebiscytu<sup>77</sup>, podczas którego wyłaniani są liderzy „zielonego IT”.

Wszystkie działania, które do tej pory zostały podjęte przez różnego rodzaju organizacje, instytucje i przedsiębiorstwa przyniosły, jak pokazały badania, wymierne skutki w postaci redukcji zużycia energii i emisji dwutlenku węgla. Świadomość problemu oraz jego konsekwencji sprawiły, że organizacje coraz chętniej sięgają do portfolio innowacji ekologicznych. Jednym z kluczowych czynników w tym eko-rachunku okazała się wirtualizacja, dzięki której można osiągnąć największą efektywność energetyczną.

### **1.3.2. Trend ekologiczny w wirtualizacji**

Jeśli ekologię potraktujemy jako ideę eliminacji problemów, które będą miały przyszłe pokolenia, to jej praktyczna realizacja będzie napotykać bariery związane z koniecznością budowy świadomości społecznej, a także akceptacji dodatkowych kosztów i wyrzeczeń ekonomicznych. Podstawowym działaniem, jakie może podjąć IT dla środowiska naturalnego, jest ograniczenie zużycia energii elektrycznej przez sprzęt komputerowy, zwłaszcza ten znajdujący się w centrach przetwarzania danych. Wynika to z faktu, że jednym

---

<sup>75</sup> K. G. Arora, G. Kohli, P. Ratta, *Green Computing...*, op. cit., s. 328.

<sup>76</sup> [http://www.3w-studio.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35&Itemid=49](http://www.3w-studio.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=49), z dn. 2019.10.21.

<sup>77</sup> Na przykład konkurs Top Green-IT (organizowany przez Computerworld) lub Cool IT Liderboard (organizowany przez Greenpeace).

z głównych źródeł powstawania dwutlenku węgla jest właśnie proces wytwarzania energii<sup>78</sup>, która jest niezbędna do zasilania zespołu serwerów.

Niektóre przedsiębiorstwa znalazły już sposób, aby inwestycje proekologiczne pogodzić z wymaganiami biznesowymi dotyczącymi zwrotu środków finansowych w sensownym i uzasadnionym ekonomicznie terminie. Nie jest to zaskakujące, zwłaszcza jeśli chodzi o zmniejszanie energochłonności. Do niedawna efektywność energetyczna nie była istotnym czynnikiem, brany pod uwagę przy projektowaniu i wdrażaniu infrastruktury IT oraz prowadzeniu projektów informatycznych, czy przebudowie procesów w IT. Dlatego wciąż istnieje wiele względnie łatwych i prostych w realizacji metod zmniejszenia zużycia energii. Pojawienie się idei centralizacji i konsolidacji, technologii wirtualizacji serwerów i pamięci masowej, umożliwia znaczną redukcję energii dostarczanej na zasilanie i chłodzenie serwerowni, a tym samym redukcję CO<sub>2</sub><sup>79</sup>. Istotny jest również fakt, że od 30% do 60% energii elektrycznej zużywanej w serwerowniach jest marnowana i przetwarzana w ciepło, które z kolei trzeba neutralizować elektrycznymi systemami klimatyzacji i wentylacji. Dzięki ekologicznym rozwiązaniom, takim jak wirtualizacja, jest szansa na zmniejszenie zużycia energii w centrach danych o 50-80%, jak również zaoszczędzenie przestrzeni nawet do 65%<sup>80</sup>. Przy rosnących cenach energii w prosty sposób przekłada się to na obniżenie kosztów utrzymania całej infrastruktury IT, co zostało szczegółowo opisane w dalszej części niniejszej dysertacji

Większość menedżerów IT, zarówno w krajach technologicznie zaawansowanych, jak i w tych mniej rozwiniętych, bez odpowiednich narzędzi pomiarowych, nie jest w stanie podać poziomu zużycia energii i jego uzasadnienia oraz przedstawić alternatywnych propozycji<sup>81</sup>. Wiele dużych organizacji, takich jak np. Google (w 2002 r.), przyznaje, że ich roczne koszty energii przekraczają koszty poniesione na serwery. Między innymi dlatego też firma Google podjęła decyzję o korzystaniu (od 2017 r.) tylko i wyłącznie z odnawialnych źródeł energii<sup>82</sup>.

---

<sup>78</sup> Jak szacuje UE w 2015 roku emisja gazów cieplarnianych dla sektora energetycznego wyniosła aż 78%, ponadto 10,1% to rolnictwo, 8,7% stanowią procesy przemysłowe i zużycie produktów, a 3,2% zarządzanie odpadami, <http://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20180301STO98928/infografika-emisje-gazow-cieplarnianych-w-unii-europejskiej>, z dn. 2023.06.12.

<sup>79</sup> M. Pedram, *Green computing: reducing energy cost and carbon footprint of information processing systems*, in Proceedings of the 19<sup>th</sup> ACM Great Lakes symposium on VLSI, 2009.

<sup>80</sup> *IT na zielono*, <http://www.ekologia.pl/srodowisko/technologie/it-na-zielono,11083.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>81</sup> D. Konowrocka, *Gartner: zaczyna się bitwa o kontrolę nad infrastrukturą IT*, [http://www.computerworld.pl/artykuly/352156\\_0/Gartner.zaczyna.sie.bitwa.o.kontrolę.nad.infrastruktura.IT.htm](http://www.computerworld.pl/artykuly/352156_0/Gartner.zaczyna.sie.bitwa.o.kontrolę.nad.infrastruktura.IT.htm) 1, z dn. 2023.06.12.

<sup>82</sup> *Environment Projects. 100% renewable is just the beginning*, <https://environment.google/projects/announcement-100>, z dn. 2023.06.12.

W celu zmniejszenia zużycia energii należałoby skupić się na optymalizacji warstw, które zużywają jej najwięcej, czyli zasilania i chłodzenia systemów oraz urządzeń peryferyjnych<sup>83</sup>. Najbardziej energochłonnymi elementami infrastruktury IT są centra danych, które pochłaniają połowę zasilania. Nic więc dziwnego, że firmy szukają rozwiązań, które usprawniłyby te systemy – mowa o oszczędnych i efektywnych systemach chłodzenia i zasilania, a także rozwiązaniach już po stronie samych serwerów, które optymalizują wykorzystanie energii. Przykładowo Grupa TP, która w 2009 roku została liderem zielonego IT w pierwszej edycji konkursu Top Green-IT i chętnie udzielała informacji o swoich proekologicznych doświadczeniach, zainwestowała w modyfikację wentylacji w swoim centrum przetwarzania danych, co pozwoliło na oszczędność rzędu 120-230 tys. zł<sup>84</sup>.

Jednym z przykładów „zielonych” rozwiązań jest konsolidacja, która polega na integracji pracujących maszyn lub ograniczeniu ich ilości poprzez wycofywanie starszych, nagromadzonych przez lata modeli, często już niewspieranych przez producentów. Pozbycie się tych nadmiarowych serwerów (najlepiej w procesie recydingu) w istotny sposób wpływa na zmniejszenie poboru energii przez serwerownie, zwiększenie dostępnego w nich miejsca i znaczne ograniczenie kosztów chłodzenia (w efekcie swoich działań Grupa TP mogła podnieść temperaturę w serwerowniach o 2 stopnie Celsjusza, co wedle prognoz miało przynieść ok. 300 tys. zł oszczędności w ciągu roku<sup>85</sup>). Konsolidacja może odbywać się także w procesie wirtualizacji serwerów, poprzez tworzenie na jednej maszynie kilku serwerów wirtualnych. Rozwiązanie to miałyby zastąpić stosowane dotychczas podejście jakim było przydzielanie każdemu serwerowi fizycznemu po jednym zadaniu. Wirtualizacja pozwala również na inteligentne, dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych i dopasowywanie mocy obliczeniowej (a co za tym idzie, poboru energii) do realnych, aktualnych potrzeb. Oznacza to nie tylko oddanie zapasu mocy do aplikacji, które tego najbardziej potrzebują, ale także optymalizację poboru energii w zależności od bieżących potrzeb. Dokładnie takie kroki podjęła Grupa TP już w 2008 roku, która najpierw scentralizowała swoje zasoby, tworząc jedno główne centrum przetwarzania danych, następnie konsolidując zasoby, a ostatecznie poddając je wirtualizacji. Dzięki tym procesom ograniczony został wzrost liczby serwerów w TP. Firma zastąpiła 775 maszyn 167 nowymi, posiadającymi jeszcze znaczny zapas pojemności, który został wykorzystany do dalszej konsolidacji środowiska serwerowego.

---

<sup>83</sup> E. Capra, F. Merlo, *Green IT: Everything starts from the software*, 17<sup>th</sup> European Conference on Information Systems, Verona 2009, s. 62-73.

<sup>84</sup> S. Augustyniak, *Zielone miliony*, [http://www.computerworld.pl/artykuly/350420\\_0/Zielone.miliony.html](http://www.computerworld.pl/artykuly/350420_0/Zielone.miliony.html), z dn. 2023.06.12.

<sup>85</sup> A. Jadcak, *Zielona linia*, <https://www.computerworld.pl/news/Zielona-linia,346484.html>, z dn. 2023.06.12.

Grupa TP pozbyła się starych maszyn, których producenci już nie wspierali, ponieważ zużywały one znacznie więcej energii niż maszyny zbudowane w nowych technologiach. Kolejnym etapem projektu infrastrukturalnego w Grupie TP była wirtualizacja pozostałych zasobów informatycznych oraz konsolidacji pamięci masowych. Łączne oszczędności z tytułu zmian przeprowadzonych w centrum danych wyniosły 30 mln zł w ciągu 2,5 roku<sup>86</sup>.

Czas modernizacji infrastruktury Grupy TP (2008 rok) pokrywał się wówczas ze znaczną popularyzacją zarówno technologii wirtualizacji, jak i idei Green Computingu. Jednak firma nie poprzestała tylko na opisanych zmianach. Ostatecznie Grupa TP na podwalinie przeprowadzonych wcześniej działań skierowała się ku modelowi Cloud Computing w zakresie usług i produktów<sup>87</sup>. Wynika to z faktu, że nie tylko wirtualizacja odgrywa kluczową rolę w aspekcie proekologiczności, ale również model chmury obliczeniowej<sup>88</sup>. Infrastruktura przetwarzania w chmurze zapewnia dostęp do zasobów, które są w danym momencie niezbędne. Prowadzi to do znacznych energooszczędności, jak również redukacji dwutlenku węgla. W literaturze przedmiotu można spotkać się także z pojęciem zielonych chmur obliczeniowych. Przykładem takiej chmury jest klaser obliczeniowy stworzony z nieużywanych już telefonów komórkowych<sup>89</sup>.

Z całą pewnością obecna sytuacja będzie się zmieniać w kolejnych latach. Z czasem pojawiły się narzędzia umożliwiające automatyczne monitorowanie poboru energii w poszczególnych porach dnia, miesiąca i roku. Przykładem takiego systemu jest Infrastructure Explorer firmy Avocent, który prócz możliwości dynamicznego monitorowania takich parametrów jak poziom ciepła, chłodzenia oraz pobór energii, umożliwia również tworzenie symulacji zmian w centrach danych, na przykład co się stanie, jeśli zmienimy lub dodamy nowy sprzęt. Kolejnym krokiem wdrażania ekologicznych rozwiązań będzie wprowadzenie narzędzi umożliwiających zaplanowanie optymalnego poboru energii przy wykorzystaniu najkorzystniejszych stawek (zależnych od pory dnia i nocy) i oszacowanie obciążeń serwerów pod kątem oszczędności.

---

<sup>86</sup> *Ibidem*, z dn. 2019.10.21.

<sup>87</sup> S. Augustyniak, *Grupa TP żeglujecie ku cloud computing*, <http://www.computerworld.pl/artykuly/362618/Grupa.TP.zeglujecie.ku.cloud.computing.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>88</sup> R. Jennings, *Cloud Computing with the Windows Azure Platform*, Wydawnictwo John Wiley & Sons, 2009, Part I, s. 3.

<sup>89</sup> L. Siwik i in., *Mobile Cloud for Parallel and Distributed Green Computing*, Journal of Telecommunications and Information Technology 4(17), Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy, 2017, s. 30-40.

Według analizy IDC opublikowanej w raporcie „*Green IT: Virtualization Delivers Energy and Carbon Emissions Reductions*”<sup>90</sup> w 2016 roku, dzięki zastosowaniu wirtualizacji dostarczanej tylko przez VMware, na całym świecie uniknięto instalacji 13,8 mln serwerów fizycznych, które zużyłyby 120 mln MWh (megawatogodzin) energii elektrycznej. Sumaryczne oszczędności na zużyciu energii przez centra danych wynikające ze stosowania także innego rodzaju rozwiązań sięgnęły natomiast aż 603 mln MWh, co odpowiada emisji blisko 433 mln kilogramów CO<sub>2</sub><sup>91</sup>. Dla porównania – zużycie energii elektrycznej we wszystkich polskich gospodarstwach domowych wyniosło 30,6 mln MWh w 2015 roku (średnie zużycie energii w jednym gospodarstwie domowym to 2173 kWh<sup>92</sup>, co stanowi 2,173 MWh).

Zielone IT to idea dotycząca głównie firm technologicznych, dlatego też to one są brane pod uwagę w różnego rodzaju rankingach i plebiscytach. Oczywistym jest fakt, że sprzedaż szerokokorozumianych produktów i usług IT niesie za sobą duże nakłady technologiczne, a co za tym idzie energochłonne infrastruktury i systemy. Dlatego też to ten właśnie sektor jest jednym z najbardziej kluczowych w świetle obowiązku dbania o środowisko naturalne. Jednak nie tylko sektor IT korzysta z rozbudowanych systemów. Infrastruktura IT (własna fizyczna lub zwirtualizowana, czy też w modelu chmury obliczeniowej) jest nieodzowną częścią każdego biznesu. Niezależnie od branży walka o dobry wizerunek firmy jest strategicznym elementem marketingu i polityki PR. Organizacja, która chce posiadać etykietę „zielona”, „ekologiczna” musi zadbać o to, aby nie były to tylko puste hasła marketingowe, a poparte w praktyce działania na rzecz ochrony środowiska naturalnego. Zarówno inwestycja w kapitał ludzki, ochronę środowiska jak i utrzymanie dobrych stosunków z otoczeniem jest sprawą pierwszoplanową. Z pewnością idea Green Computingu wpisuje się w taką narrację, a stosowanie wymienionych powyżej technologii i rozwiązań czyni firmę nowoczesną, przyjazną środowisku i społecznie odpowiedzialną.

---

<sup>90</sup> A. Gillen, J. Vela, *Green IT: Virtualization Delivers Energy and Carbon Emissions Reductions*, <https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/sustainability/vmware-greenit-virtualization-delivers-energy-carbon-emissions.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<sup>91</sup> Emisja CO<sub>2</sub> = całkowite zapotrzebowanie na energię \* współczynnik dla infrastruktury (0.718 kg CO<sub>2</sub>/kWh)., <https://www.vmware.com/company/sustainability/carbon-calculator.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>92</sup> *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2015 r.*, <https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/2/3/1/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2015-r..pdf>, dn. 2023.06.12.

## 1.4. Cloud Computing

### 1.4.1. Modele chmury obliczeniowej

Jeszcze pod koniec ubiegłego stulecia wdrożenie systemów informatycznych stanowiło o konkurencyjności przedsiębiorstw na rynku. Obecnie wykorzystanie technologii informatycznych stało się powszechną praktyką we wszystkich dziedzinach gospodarki. W związku z tym coraz trudniej utrzymać przewagę konkurencyjną jedynie w oparciu o systemy informatyczne będące własnością organizacji<sup>93</sup>. Już w 2008 roku, na konferencji Professional Developer Conference, Ray Ozzie – Chief Software Architect w Microsoft – podkreślał, że istotna we współczesnym biznesie jest możliwość dopasowania technologii do potrzeb firm w skali globalnej<sup>94</sup>. Obecnie liczy się Internet i zdolność obsługi milionów klientów zlokalizowanych na całym świecie. Firmy skupiając się na swoich kluczowych kompetencjach i potrzebach szukają sposobów na obniżenie kosztów ponoszonych na obsługę informatyczną. W związku z tym coraz bardziej popularne stało się zastosowanie różnych form outsourcingu informatycznego. Należą do nich np.: wykorzystanie zewnętrznych dostawców w celach zapewnienia sprawnego i efektywnego funkcjonowania infrastruktury komputerowej, produkcja, zarządzanie i wsparcie dla aplikacji, zarządzanie bezpieczeństwem transmisji danych, czy też udostępnianie platformy sprzętowej, usług przetwarzania, archiwizacji i składowania danych. Dużym zainteresowaniem, zarówno wśród potencjalnych klientów, jak i producentów oprogramowania oraz dostawców usług informatycznych cieszy się model Software as a Service (SaaS) będący formą outsourcingu aplikacji<sup>95</sup> i przykładem omawianego w tym podpunkcie modelu Cloud Computing.

Nieustający rozwój i postęp technologii informacyjno-komunikacyjnych, zwiększająca się szybkość transmisji danych i upowszechnienie dostępu do szerokopasmowego Internetu, pozwalają na budowanie specjalistycznych centrum informatycznych do obsługi firm i klientów indywidualnych. Idea gromadzenia informacji i przetwarzania ich w tego typu ośrodkach, dla wielu firm i osób fizycznych określana jest mianem Cloud Computingu. Nazwa Cloud Computing wzięła się od symbolu chmury, którego często używano w wykresach w celu prezentacji Internetu. Idea pracy omawianej technologii przedstawiona jest

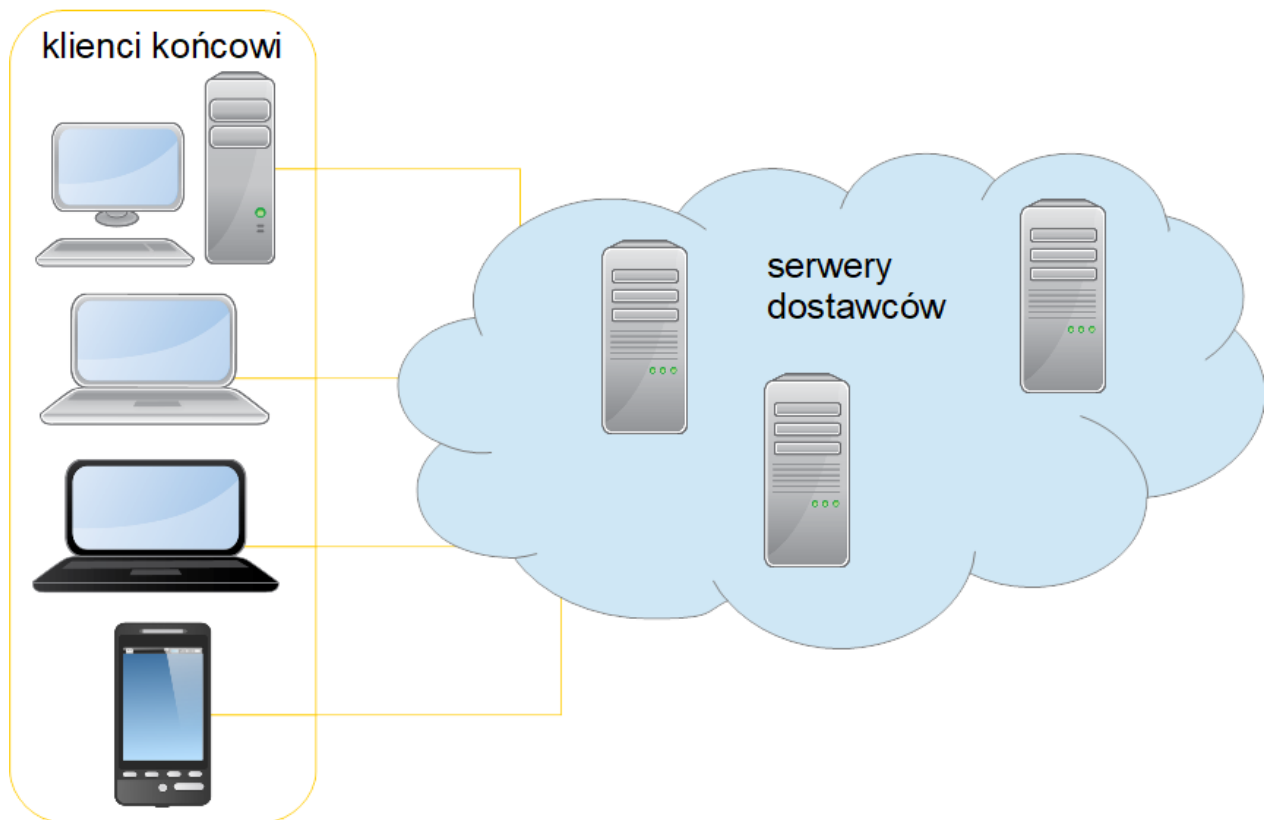
---

<sup>93</sup> N. G. Carr N.G., *It doesn't matter*, Harvard Business Review, maj 2003, s.42.

<sup>94</sup> D. Biesiada i in., *Windows Azure, APN Promise*, Warszawa 2016, s. 9.

<sup>95</sup> J. Kluk, *Wybór strategii rozwoju modelu SaaS opartej na analizie TOWS/SWOT*, w: *Technologie informacyjne dla społeczeństwa*, Wyższa Szkoła Informatyczno-Ekonomiczna w Warszawie, Warszawa 2009, s. 21-40.

na rysunku poniżej (rysunek 1.7). Wspomniane chmury to aplikacje i usługi zainstalowane na serwerach stacji roboczych w firmach oferujących usługi Cloud Computingowe.



**Rysunek 1.7. Model Cloud Computing**

Źródło: Na podstawie A. Bytniewski (red.), *Systemy informatyczne...*, op. cit., s. 98.

National Institutes of Standards and Technology na swoich stronach w publikacji P. Mell oraz Z. Grance „*The NIST Definition of Cloud Computing*”<sup>96</sup> wskazuje, że Cloud Computing to model umożliwiający szybki, wygodny i powszechny dostęp do sieci na żądanie (często określane mianem usługi „on demand”) – czyli wspólnej puli konfigurowalnych zasobów obliczeniowych (np.: sieci, serwery, pamięci masowe, aplikacje i usługi), które mogą być szybko dostarczone lub uwolnione przy minimalnym wysiłku zarządzania. Omawiany model według NIST składa się z pięciu podstawowych cech (samoobsługa na żądanie, szeroki dostęp do usługi, łączenie zasobów, szybka elastyczność, mierzalność usługi), trzech podstawowych modeli usług (choć w niniejszej dysertacji zostaną opisane również inne, mniej popularne i stosowane modele) oraz czterech modeli wdrażania (rodzajów chmur obliczeniowych). Zostaną one omówione w dalszej części niniejszej dysertacji.

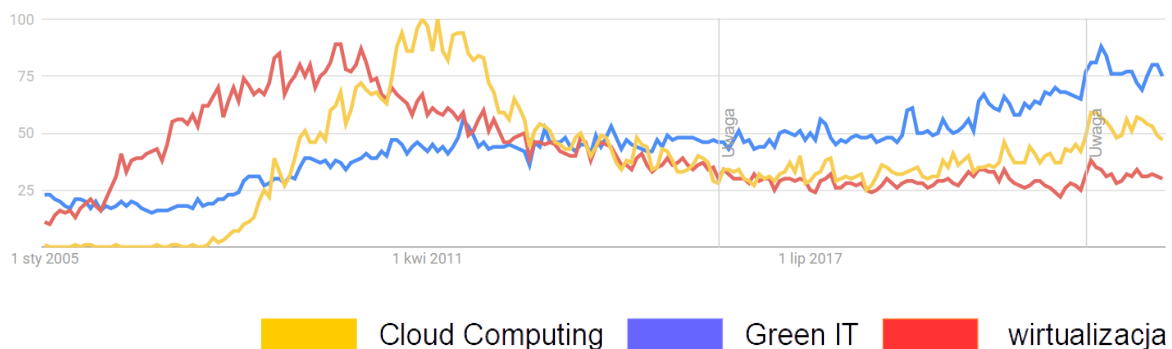
<sup>96</sup> P. Mell, T. Grance, *The NIST Definition of Cloud Computing*, <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>, z dn. 2023.06.12.

Swoją definicję Cloud Computingu przygotowali również analitycy Gartnera twierdząc, że jest to styl obliczeń, w którym dynamicznie skalowalne (zwykle zwirtualizowane) zasoby są dostarczane jako usługa za pośrednictwem Internetu. Użytkownik nie musi mieć wiedzy na temat tego, w jaki sposób ta usługa jest realizowana, nie musi też zajmować się aspektami technicznymi niezbędnymi do jej działania.

Mimo że istnieje wiele definicji terminu Cloud Computing, żadna z nich nie jest powszechnie uznana. Można się jednak zgodzić ze stwierdzeniem, że Cloud Computing oznacza użytkowanie zasobów firm zewnętrznych celem tworzenia pewnych aplikacji i udostępniania ich użytkownikom końcowym na żądanie.

Cloud Computing na rynku usług ICT okazał się technologią rewolucyjną, zmieniającą często podejście, a nawet pojęcie szeroko rozumianego IT. Chmury obliczeniowe wciąż ewoluują, ich istota, idea i cel rozwijają się poprzez ulepszanie wcześniejszych struktur technicznych i koncepcji takich jak Grid Computing, wirtualizacja, Web 2.0, czy też Software as a Services (SaaS)<sup>97</sup>. Dynamiczny rozwój technologii ICT jak również zastosowanie w różnego rodzaju kombinacjach nowych i już istniejących rozwiązań IT wpływa na fakt, że Cloud Computing to idea, która z każdym dniem znajduje nowe znaczenie oraz zastosowanie.

Cloud Computing (na osi czasu 2005-2023) jest relatywnie nowym terminem i obecnie bardzo popularną frazą w wyszukiwarce Google, niż wirtualizacja (rysunek 1.8).



**Rysunek 1.8. Zainteresowanie w wyszukiwarce Google ideą Cloud Computingu, Green IT i wirtualizacji**  
 Źródło: Google Trends, <https://trends.google.pl/trends>, z dn. 2023.06.12.

Zdecydowanym szczytem popularności frazy Cloud Computing były lata 2011-2012. Jednak wszystkie terminy są ze sobą powiązane, historycznie zyskiwały na popularności w innym czasie, obecnie trend jest względnie stały.

<sup>97</sup> C. Teixeira, R. Azevedo, J. Pinto, T. Batista, *User Provided Cloud Computing*, 10<sup>th</sup> IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing, May 2010.



Już w początkowym okresie rozwoju informatyki, pojęcie Cloud Computingu miało swoje zastosowanie, mimo że nikt wówczas nie nazywał i przyrównywał tego do chmury. Stacja robocza pełniła wówczas rolę terminala do pracy na serwerze wyposażonym w szereg aplikacji (serwer pełnił rolę „chmury”). Z biegiem lat trend ten jednak podlegał coraz mniejszej popularyzacji. Komputery osobiste miały coraz większą moc obliczeniową, dzięki czemu na nich instalowano coraz więcej aplikacji. Firmy budowały swoje własne działy IT. W dzisiejszej rzeczywistości i świetle kryzysu, jaki dotknął gospodarkę światową, wiele firm odnalazło ideę Cloud Computing na nowo. Dużą rolę odegrała tu analiza ekonomiczna i finansowa. Ważną rolę pełnił także aspekt ochrony środowiska, który Cloud Computing wspiera. Budowanie centrum obsługi danych zwiększa efektywność pracujących serwerów, a tym samym zmniejsza ilość zużywanego prądu przez komputery pracujące dawniej w każdym z działów IT poszczególnych korporacji. W większości przypadków ich moc obliczeniowa nie była wykorzystywana w 100%<sup>98</sup>. Dzięki zastosowaniu tego rozwiązania użytkownik nie musi posiadać bardzo wydajnej maszyny, nie musi instalować na swoim komputerze prawie żadnego oprogramowania. Poprzez wykorzystanie jedynie protokołu HTTP (ang. *Hypertext Transfer Protocol*) lub HTTPS (ang. *Hypertext Transfer Protocol Secure*) i dowolnej przeglądarki internetowej, użytkownik komunikuje się z serwerem firmy zewnętrznej, na którym są zainstalowane niezbędne programy i aplikacje wykorzystywane w pracy.

Posiadanie własnego działu IT przez duże przedsiębiorstwa niesie za sobą koszty związane z utrzymaniem przez nie infrastruktury sieciowej, serwerowej oraz zatrudnieniem etatowych specjalistów odpowiedzialnych za funkcjonowanie całego systemu. Znaczne środki finansowe są pochłaniane również przez oprogramowanie użytkowe oraz bardziej specjalistyczne aplikacje. Dynamiczny rozwój software-u wymusza nieustające wykonywanie aktualizacji aplikacji, oprogramowania do nowszych wersji, wsparcie dla usług co wiąże się z pochłonięciem sporej części czasu, a przede wszystkim z ciągłym ponoszeniem kosztów. Cloud Computing wspiera rozwiązanie powyższych wyzwań.

Cloud Computing bazuje na Internecie, ponieważ to dzięki niemu nawiązywana jest komunikacja klient-serwer<sup>99</sup>, kluczowa dla tej technologii. W prostym tłumaczeniu Cloud Computing oznacza „przetwarzanie chmur informacji”<sup>100</sup>. W pierwszych opracowaniach naukowych dotyczących idei Cloud Computingu definiowane były trzy podstawowe rodzaje

---

<sup>98</sup> P. Paszkiel, *Technologia Cloud Computing na rynku usług informatycznych*, w: *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Z. Zieliński (red.), Kielce 2010, s. 7-11.

<sup>99</sup> Architektura klient-serwer umożliwia komputerom klienckim (np. komputerom PC) wspólne korzystanie z zasobów takich jak baza danych, przechowywanych na serwerach o dużo większej mocy obliczeniowej.

<sup>100</sup> P. Paszkiel, *Technologia Cloud...*, op. cit., s. 7-11.

chmur obliczeniowych – **prywatna, publiczna i hybrydowa**. Jednak według National Institutes of Standards and Technology istnieje również czwarty rodzaj chmury - **partnerski** - określany przez NISR czwartym modelem wdrażania. Ponadto w literaturze przedmiotu oraz w praktyce można również spotkać piąty rodzaj – **dedykowany**. Wszystkie typy chmur wraz z opisem i przykładami zostały wskazane w poniżej tabeli (tabela 1.9).

**Tabela 1.9. Rodzaje chmur obliczeniowych**

Nazwa	Opis	Przykład
Prywatne – wewnętrzne	Model chmury prywatnej oparty jest na wewnętrznym wdrażaniu chmury z wykorzystaniem lokalnej infrastruktury IT. Prywatne chmury są częścią organizacji, aczkolwiek jednocześnie autonomicznym dostawcą usługi. Omawiany model jest często wykorzystywany w dużych firmach o rozległej lokalizacji – chmura jest tworzona tylko dla konkretnej, dedykowanej organizacji, bez możliwości dostępu dla innych podmiotów.	- Firmowa poczta, np. Outlook w pakiecie MS Office 365, dostępna przez przeglądarkę www, urządzenia mobilne. - Aplikacje księgowo klasy ERP (ang. <i>Enterprise Resource Planning</i> ) zainstalowane na własnym serwerze lub dzierżawionej chmurze. - Usługi terminalowe udostępniane studentom lub pracownikom na uczelniach wyższych.
Publiczne – zewnętrzne	Chmury zewnętrzne są wdrażane zewnętrznie na zdalnie dostępnej infrastrukturze IT. Rozwiązanie te jest popularne wśród mikro, małych i średnich przedsiębiorstw nieposiadających własnych działów IT. Dostawca zobowiązuje się do dostarczania niezbędnych aplikacji i programów.	- Dzierżawienie witryn www z dostępem do CMS (ang. <i>Content Management System</i> ). - Programy antywirusowe on-line np.: Panda Cloud Antivirus. - Systemy wysyłkowe np.: FreshMail, MailChimp. - Aplikacje księgowo klasy ERP (ang. <i>Enterprise Resource Planning</i> ) dostępne na ogólnym zasobie dostawcy.
Partnerskie społecznościowe	Model chmury partnerskiej jest wdrażany tylko dla zamkniętej grupy organizacji posiadającej wspólne cele i wymagania (np. misja, bezpieczeństwo, regulacje prawne i kwestie zgodności). Chmura może być własnością, zarządzana i prowadzona przez jedną bądź więcej organizacji w grupie lub osoby trzecie.	- Współdzielone systemy organizacji rządowych w danym państwie, które muszą dzielić swoje zasoby (np. baza obywatel.gov.pl <sup>101</sup> – profil zaufany, internetowe konto pacjenta).
Dedykowane (prawie własne)	Chmury dedykowane polegają na wydzieleniu pewnej części dostarczanej chmury na rzecz odbiorcy, który posiada do niej wyłączny dostęp. Jest to rozwiązanie dla odbiorców, którzy z różnych względów nie akceptują, nie chcą bądź nie mogą korzystać z chmury publicznej (np. ze względów bezpieczeństwa) i nie posiadają zasobów do utworzenia własnej chmury prywatnej.	- Dostęp do danego systemu zainstalowanego na dedykowanej części chmury, np. aplikacje księgowo klasy ERP (ang. <i>Enterprise Resource Planning</i> ) dostępne na wydzielonym zasobie dostawcy.
Hybrydowe – mieszane	Model hybrydowy jest kombinacją czterech wyżej wymienionych kategorii chmur. Łącząc powyższe przykłady możemy otrzymać model hybrydowy. Ten rodzaj jest powszechnie uważany za najlepsze rozwiązanie Cloud Computingowe – łączy zalety zdalnego dostarczania usługi z kontrolą na poziomie lokalnym.	- Pracownik wykonuje swoją pracę na terminalu, korzysta z firmowej poczty, którą sprawdza przez przeglądarkę www oraz redaguje stronę korzystając z systemu CMS.

Źródło: Na podstawie: P. Paszkiel, *Technologia Cloud...*, op. cit., s. 7-11; D. Dziembek, *Cloud Computing – charakterystyka i obszary zastosowań w przedsiębiorstwach*, XIX konferencja „Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji”, marzec 2016, s. 730; <http://www.appcore.com/types-cloud-computing-private-public-hybrid-clouds>, z dn. 2019.10.21.

Powyższe zestawienie jednoznacznie wskazuje różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami chmur. Jest to istotne, aby znać charakterystykę i zakres usług Cloud Computing, tylko wtedy

<sup>101</sup> <http://www.obywatel.gov.pl>, z dn. 2023.06.12.

kierownicy działów IT będą w stanie opracować lepszą strategię, we właściwy sposób balansującą chmurę wewnętrzną z chmurą zewnętrzną. Oczywiście, wciąż jest kilka wyzwań do rozwiązania jak model kosztów, który nie zawsze jest jednoznaczny i czasem może mieć wpływ na postrzeganie wartości rozwiązania opartego na Cloud Computing.

Interesujące przykłady zastosowania Cloud Computingu zostały opisane w opracowaniu „*Cloud Computing – historia, technologia, perspektywy*”<sup>102</sup> przygotowanym przez Polską Agencję Wspierania Przedsiębiorstw w projekcie „Wspieramy e-biznes”. W publikacji za przykład posłużył największy na świecie serwis aukcyjny eBay.com. W momencie przygotowania opracowania (2012 r.) eBay.com posiadał na całym świecie ponad 90 mln użytkowników<sup>103</sup>, którzy wówczas mogli wybierać pomiędzy 190 milionami produktów z 50 tysięcy różnych kategorii. Serwis notował ponad 8 milionów żądań URL dziennie. Oznacza to, że właśnie tyle razy każdego dnia użytkownicy, z różnych miejsc świata wpisywali adres eBay.com do przeglądarki internetowej. Portal działał wówczas w 39 krajach, w 10 wersjach językowych i wciąż był rozwijany, a w jego strukturach wciąż pojawiły się nowe rozwiązania i funkcjonalności. Liczba danych, jaką musiały przetworzyć maszyny obliczeniowe dochodziła do 50 petabajtów dziennie (1 PB = 1000 TB = 1000<sup>2</sup> GB = 1000<sup>3</sup> MB = 1000<sup>4</sup> kB = 1000<sup>5</sup> B). Niemożliwym było, aby taki ogrom danych mógł być przetwarzany bez nowoczesnych, zoptymalizowanych rozwiązań. Dlatego też eBay podobnie zresztą jak wszystkie największe serwisy internetowe na świecie zaczęły korzystać z chmury.

Do podobnych wniosków doszli również informatycy na Uniwersytecie Karoliny Północnej w USA. Uniwersytet ten słynie z prowadzonych badań i wysokiej jakości edukacji. Jest rozpoznawana na całym świecie ze względu na innowacyjność w dziedzinie nauki, technologii, inżynierii i matematyki. Przy wzrastającym zapotrzebowaniu na systemy obliczeniowe uczelnia stanęła przed problemem braku zasobów, niezbędnych do dalszego, szybkiego rozwoju swoich badań i studentów. W związku z tym, we współpracy z IBM, wdrożono modele przetwarzania w chmurze tak, aby znacznie poprawić efektywność i łatwość w dostępie do technologii. Dzięki wprowadzeniu nowych, chmurowych rozwiązań poczyniono oszczędności w zakresie zakupu licencji oprogramowania (aż do 75%), oraz zwiększono (o 150%) liczbę studentów korzystających z jednej licencji na oprogramowanie.

Fakt przygotowania publikacji „*Cloud computing historia, technologia, perspektywy*” oraz promowania przez Polską Agencję Wspierania Przedsiębiorstwa idei Cloud Computingu

---

<sup>102</sup> P. Szmit, *Cloud computing historia, technologia, perspektywy*, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, 2012.

<sup>103</sup> Liczba użytkowników eBay.com z każdym rokiem rośnie i w 2017 r. wyniosła 170 mln aktywnych użytkowników, <https://www.statista.com/statistics/242235/number-of-ebays-total-active-users>, z dn. 2023.06.12.

świadczy o tym, jak ważna i strategiczna jest to technologia. Albowiem dokument poprzez historię CC, teoretyczne wprowadzenie i praktyczne przykłady, przechodzi do informacji w jaki sposób praktycznie stosować rozwiązanie w chmurze by czerpać maksymalne korzyści z wdrożenia opisanej technologii. Publikacja przedstawia również konkretne narzędzia takie jak system zarządzania pracą i zespołem, księgowość i praca na dokumentach w chmurze, czy wirtualny dysk<sup>104</sup>.

#### **1.4.2. Usługi chmury publicznej**

Usługi oferowane jako publiczne chmury można podzielić na cztery główne modele usług<sup>105</sup>: SaaS (ang. *Software as a Services*), IaaS (ang. *Infrastructure as a Services*), PaaS (ang. *Platform as a Services*) oraz CaaS (ang. *Communications as a Services*). Natomiast istnieje również cały szereg usług, które rozwinęły się wraz z popularyzacją idei Cloud Computingu, często stanowiąc specyficzną, czy też wyspecjalizowaną usługę w ramach SaaS, IaaS lub PaaS. Poszczególne usługi opisane zostały w tabeli poniżej (tabela 1.10).

---

<sup>104</sup> P. Szmit, *Cloud computing...*, *op. cit.*, s. 26.

<sup>105</sup> F. Adnan, *Workflow Scheduling for Service Oriented Cloud Computing*, Wydawnictwo VDM Verlaq, 2009, s. 1-124.

**Tabela 1.10. Usługi oferowane w ramach Cloud Computingu**

Nazwa	Opis	Przykład
Software as a Service (SaaS) – oprogramowanie jako usługa	Forma tworzenia i udostępniania przedsiębiorstwom aplikacji przez Internet. Aplikacje w modelu SaaS udostępniane są na serwerach dostawcy usług i nie wymagają instalacji systemu na platformie sprzętowej klienta. Oprogramowanie dostępne jest w ramach opłaty abonamentowej świadczonej na rzecz usługodawcy. Klienta nie interesuje sprzęt oraz środowisko pracy, nie musi nabywać licencji na oprogramowanie – jedynie wynajmuje potrzebne programy. To dostawca SaaS przejmuje na siebie pełną odpowiedzialność za poprawne funkcjonowanie aplikacji – odpowiada za instalację, modyfikację, wsparcie techniczne, serwisowanie oraz dostępność oprogramowania.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zestawy aplikacji biurowych np.: MS Office 365.</li> <li>- Aplikacje księgowo klasy ERP (ang. <i>Enterprise Resource Planning</i>).</li> <li>- Aplikacje zarządzania relacjami z klientem CRM (ang. <i>Customer Relationship Management</i>).</li> <li>- Systemy wysyłkowe np.: FreshMail, MailChimp.</li> </ul>
Infrastructure as a Service (IaaS) – infrastruktura jako usługa	Usługodawca zobowiązuje się do dostarczenia infrastruktury informatycznej. Organizacja wykupuje konkretną liczbę serwerów, przestrzeń dyskową, określone zasoby pamięci, moc przerobową, oprogramowanie oraz opcje serwisowania. Wszystko to znajduje się na terenie centrum informatycznego dostawcy usług IaaS – tym samym klient jest zwolniony z obowiązku posiadania dedykowanego pomieszczenia do trzymania tam zasobów hardware-owych. Klient jedynie po swojej stronie ma dostęp do zakupionej infrastruktury oraz software-u do zarządzania – ma możliwość instalacji i konfiguracji systemu operacyjnego, systemów bazodanowych, czy aplikacji końcowych.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Serwis www Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2).</li> <li>- Usługi hostingowe oferowane przez firmę OVH.</li> </ul>
Platform as a Service (PaaS) – platforma jako usługa	Usługodawca udostępnia całe środowisko pracy. Firma kupuje dostosowany do swoich potrzeb komplet aplikacji. Wszystkie programy znajdują się na serwerach dostawcy. Klient po swojej stronie ma dostęp do interfejsu – środowiska programistycznego do budowania i uruchamiania aplikacji bazujących na technologiach internetowych o różnym stopniu złożoności. Jest to atrakcyjne rozwiązanie dla klientów, którym zależy na rozwijaniu aplikacji przy udziale własnego kapitału ludzkiego. Zatem PaaS to IaaS rozszerzony o środowisko do tworzenia, testowania i używania aplikacji.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platforma Windows Azure Microsoft-s Cloud Services Platform.</li> <li>- Usługa Salesforce.</li> <li>- Repozytorium GitHub.</li> </ul>
Communications as a Service (CaaS) – komunikacja jako usługa	Usługodawca zapewnia platformę pod telekomunikacyjne środowisko pracy (poczta e-mail, połączenia głosowe, połączenia videokonferencyjne, komunikatory, VPN, itp), jak również osoby odpowiedzialne za wykonanie usługi.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplikacja RedLink.</li> <li>- Usługa IVR (ang. <i>Interactive Voice Response</i>)</li> <li>- Narzędzie ClickMeeting.</li> <li>- Aplikacja Skype.</li> </ul>
Content as a Services (CaaS) – 62rocess (treść) jako usługa	Model polegający na dostarczeniu przez usługodawcę za pomocą serwisów webowych poprzez streaming danych licencjonowanych treści, najczęściej w formie subskrypcji czasowej.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Platforma netflix.com.</li> <li>- Platforma showmax.com.</li> <li>- Serwis ibuk.pl.</li> </ul>
Email as a Services (EaaS) – email jako usługa	Usługodawca dostarcza dedykowane konta poczty elektronicznej dla odbiorców.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poczta Outlook w pakiecie MS Office 365.</li> <li>- Aplikacja Gmail.</li> </ul>
Archive as a Services (AaaS) – archiwum jako usługa	Ten model polega na wykonaniu przez usługodawcę zadań dotyczących archiwizacji danych odbiorcy.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usługa Archivo.</li> </ul>

Nazwa	Opis	Przykład
Network as a Services (NaaS) – sieć jako usługa	Model dostarczania usług sieciowych przez Internet płatnych na zasadzie subskrypcji lub modelu „Per-pay-use”. Odbiorcy w każdym momencie usługi mają dostęp do dodatkowych zasobów obliczeniowych (switche i routery), z których mogą korzystać w zależności od potrzeb.	- Usługi sieciowe, np.: UPC.
Desktop as a Services (DaaS) – komputer jako usługa	Model, w którym dostawca oferuje odbiorcom stację roboczą o wymaganych, dedykowanych parametrach – VDI (ang. <i>Virtual Desktop Infrastructure</i> ).	- Narzędzie VMware Horizon Air. - Narzędzie Citrix XenDesktop.
Business Process as a Services (BpaaS) – proces biznesowy jako usługa	Dostawca stosując narzędzia IT w formie usługowej, przejmuje realizację określonych procesów biznesowych odbiorcy (np. księgowość, kadry, płace, HR, reklama, biuro obsługi klienta), przy czym odbiorca zachowuje funkcję kontrolną nad procesem przekazany do realizacji dostawcy.	- Usługi firmy HRK.
Storage as a Services (StaaS) – przechowywanie jako usługa	Model umożliwiający odbiorcom przechowywanie i wymianę danych.	- Aplikacja WeTransfer.
Disaster Recovery as a Services (DraaS) – odzyskiwanie awaryjne jako usługa	W tym modelu dostawca jest odpowiedzialny za odzyskiwanie danych po awarii w formie odrębnej usługi lub w pakiecie z inną usługą (np. IaaS lub PaaS). DraaS jest często definiowane jako element kompleksowej strategii dostępności, zapewniając spójne środowisko użytkowe i obniżając ogólne koszty ochrony danych (kopie zapasowe, replikacja, chmura).	- Usługi firmy Veeam.
Monitory as a Services (MaaS) – monitorowanie jako usługa	Model, w którym dostawca dostarcza odbiorcy narzędzia do obserwacji i analizy krytycznej infrastruktury i kluczowych aplikacji w celu minimalizowania ryzyka awarii i przestojów.	- Narzędzie firmy Altnix. - Serwis LogMeIn.
Integration Platform as a Services (Ipaas) – zintegrowana platforma jako usługa	Model polegający na dostarczeniu przez dostawcę spójnego środowiska zapewniającego integrację pomiędzy różnymi usługami udostępnionymi w chmurze obliczeniowej.	- Narzędzie firmy MuleSoft.
Anything as a Services (XaaS) – wszystko/cokolwiek jako usługa	Wszystkie powyższe modele usług są konsekwencją dynamicznego postępu Cloud Computingu, który w rezultacie umożliwia powstanie modelu XaaS, nawiązującego do coraz bardziej widocznego zjawiska, iż coraz większy wolumen różnego typu usług może być świadczona w chmurze obliczeniowej, z których odbiorcy mogą skorzystać poprzez sieć Internet.	

Źródło: Na podstawie: G. Blokdijk, *SaaS 100 Success Secrets – How Companies Successfully Buy, Manage, Host and Deliver Software as a Service (SaaS)*, Lulu.com, 2008, s. 24; P. Costa, M. Migliavacca, P. Pietzuch, A. Wolf, *NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud*, 2<sup>nd</sup> USENIX Workshop on Hot Topics in Management of Internet, Cloud and Enterprise Networks and Services, 2012, s. 1; D. Dziembek, *Cloud Computing ...*, op. cit., s. 730; D. Dziembek, *Rozwiązania Cloud Computing we wspomaganii strategii kodyfikacji wiedzy w organizacjach wirtualnych*, Informatyka Ekonomiczna 22/2011, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2011, s. 123; W. Wolny, *Uwarunkowania rozwoju IaaS, PaaS i SaaS – przegląd i analiza proponowanych rozwiązań we współczesnej organizacji*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 164-184.

Obserwując tendencje ostatnich lat z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że w niedalekiej perspektywie coraz więcej różnego typu usług na rzecz odbiorców będzie można przekazywać zewnętrznym i wyspecjalizowanym dostawcom do realizacji w chmurze

obliczeniowej i do obsługi poprzez sieć Internet. Ogromną szansą usług Cloud Computingu są nieustające zmiany modeli prowadzenia biznesu, które są oparte na technologiach IT. Organizacje, aby istnieć na rynku, osiągać zyski oraz być konkurencyjne muszą szybko reagować na zmiany otoczenia gospodarczego, w którym funkcjonują. W badaniach nad oceną wdrażania modeli biznesowych obejmujących takie elementy jak dostęp do Internetu, firmowe portale, e-commerce, e-busines, S. Wrycza i inni w opracowaniu „*Assessing the adoption of e-business in the region: A quantitative study*” wykazali, że aż 97% badanych organizacji z sektora małych i średnich przedsiębiorstw ocenia aplikacje jako ważne i bardzo ważne w procesie wdrażania nowego modelu<sup>106</sup>. Dostęp do aplikacji w modelach Cloud Computingu może stanowić optymalne narzędzie dla organizacji ułatwiające wdrażanie nowoczesnych modeli biznesowych. W powyższych badaniach poświęconych adaptacji modeli e-biznesowych w małych i średnich firmach S. Wrycza i inni wykazali, iż w ciągu ostatnich lat obserwowana jest tendencja wzrostowa wykorzystania usług on-line i zasobów internetowych wśród badanych organizacji. Wykazali oni m.in., iż w ciągu 7 lat poczynając od 1999 roku odsetek firm posiadających własne portale wzrósł z 5% do 63%<sup>107</sup>. Natomiast odsetek firm wykorzystujących technologie internetowe w swojej działalności jest ciągle jeszcze mały (z wyjątkiem branży turystycznej), niemniej stale przejawia tendencje wzrostowe.

K. Nowicka w artykule „*Wartość w modelu cloud computing*”<sup>108</sup> opisuje badanie dotyczące poziomu wdrożeń i oceny funkcjonowania modelu Cloud Computingu na próbie 1513 organizacji (zlokalizowanych w Stanach Zjednoczonych, Europie i Azji). Badanie zostało przeprowadzone w marcu 2011 roku. Korzystny wpływ Cloud Computingu na prowadzoną działalność zadeklarowało 60% respondentów. Analiza zwrotu z inwestycji ROI (ang. *Return on Investment*) z wdrożenia modelu Cloud Computing wykazała, że dla 41% podmiotów wskaźnik ROI waha się w granicach 21–50%.

W opracowaniu „*Cloud Computing – charakterystyka i obszary zastosowań w przedsiębiorstwach*”<sup>109</sup> autor powołał się na raport „*Badanie Comarch Cloud*” z 2014 roku. Badanie zostało przeprowadzone w Polsce na próbie 326 przedsiębiorstw zaliczanych do sektora małych i średnich przedsiębiorstw. Do głównych korzyści związanych z

---

<sup>106</sup> S. Wrycza, J. Auksztol, D. Gajda, *Assessing the adoption of e-business in the region: A quantitative study*, European Conference on Information Systems 2007, s. 268.

<sup>107</sup> *Ibidem*, s. 270.

<sup>108</sup> K. Nowicka, *Wartość w modelu cloud computing*, w: *Przedsiębiorstwo przyszłości*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa 2013.

<sup>109</sup> D. Dziembek, *Cloud Computing – charakterystyka i obszary zastosowań w przedsiębiorstwach*, XIX konferencja „Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji”, marzec 2016, s.730.



zastosowaniem Cloud Computing zaliczono: oszczędność czasu (51% respondentów), niższe nakłady na IT (40%), szybszy dostęp do danych firmowych (40%), wzrost mobilności użytkowników (40%). Ponadto respondenci wskazywali, iż Cloud Computing umożliwia przedsiębiorstwom elastyczne korzystanie z narzędzi informatycznych (76% ogółu respondentów) oraz zwiększa możliwości działania i rozwoju firm (65% badanych podmiotów).

Głównym atutem modelu Cloud Computing jest dostarczenie takiego narzędzia, które wspierając procesy biznesowe, kreuje przewagę konkurencyjną i kompetencje przedsiębiorstw oraz zwiększa rentowność prowadzonej działalności. Stwarza on nowe szanse biznesowe ze względu na swoje właściwości, to jest skalowalność i powszechną dostępność do zasobów z wykorzystaniem Internetu, mierzalność zwiększającą przewidywalność kosztów, łatwość wdrożenia, innowacyjność poprzez dostęp do najnowszych rozwiązań IT, wydajność będącą efektem korzystania z dowolnej liczby procesorów o bardzo dużej mocy, bezpieczeństwo i przeniesienie ryzyka na dostawcę usług. Niewątpliwie za stosowaniem powyższych modeli Cloud Computingu idą niskie koszty ponoszone przez firmy i korporacje, które z niego korzystają w porównaniu do utrzymania własnej infrastruktury i działów IT. Firmy te nie będą musiały wydzielać budżetu inwestycyjnego na infrastrukturę IT pod planowane usługi, a środki te będą mogły przesunąć do budżetu operacyjnego. Zatem model Cloud Computing zamienia wydatki inwestycyjne **CAPEX (ang. Capital Expenditures)** w wydatki operacyjne **OPEX (ang. Operating Expenditures)**, redukując tym samym koszty początkowe uruchomienia biznesu i optymalizując koszty prowadzenia działalności. Oznacza to, że przestaje istnieć bariera związana z zakupem infrastruktury IT, czy koniecznością poniesienia wysokich kosztów jej wynajmu z góry<sup>110</sup>. Ponadto CC zapewnia przewidywalną strukturę kosztów popełnianych przez klienta związanych ze wzrostem biznesu na zasadzie „Pay-as-You-Grow” (płać w miarę wzrostu potrzeb). Model Cloud Computing to niewątpliwie kusząca propozycja dla nowoczesnego biznesu, umożliwiająca uruchomienie nowych usług tylko za pomocą karty kredytowej oraz dobrej jakości połączenia sieciowego. Możliwość płacenia za usługi IT według skonsumowanych zasobów lub na zasadzie przedpłat upodabnia je do powszechnie dostępnej telefonii komórkowej czy elektryczności<sup>111</sup>.

Cloud Computing cechuje duża elastyczność — firma może dostosować sobie rozwiązania informatyczne do swoich potrzeb, bez konieczności inwestowania w nowy

---

<sup>110</sup> M. Wiśniewski, *Różne oblicza Cloud Computing – czy chmura jest dla każdego?*, w: *Informatyka w społeczeństwie informacyjnym*, W. Chmielarz, J. Kisielnicki, T. Parys (red.), Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2015, s. 155.

<sup>111</sup> S. Pomorski, *Więcej wirtualizacji...*, *op. cit.*

sprzęt, czy oprogramowanie. Ważną zaletą jest również aspekt ekologiczny oraz duża skalowalność mocy przerobowych do potrzeb klienta. Organizacje poprzez zastosowanie Cloud Computingu zyskują również dużą niezależność od sprzętu i lokalizacji. Analizować zgromadzone na serwerach dane, można wówczas z każdego miejsca na ziemi, szybki dostęp do niezbędnych zasobów z całą pewnością wspiera ważną zaletę jaką jest mobilność pracowników. Wystarczy tylko dostęp do stacji roboczej z podłączoną siecią Internet lub telefon komórkowy. Cloud Computing przyczynia się także do znacznej poprawy bezpieczeństwa danych. W przypadku dużych centrum informatycznych możliwe są lepsze zabezpieczenia, na które zwykła firma nie mogłaby sobie samodzielnie pozwolić. Model ten jest katalizatorem centralizującym informacje, łączącym luki w procesach, tworzącym w czasie rzeczywistym możliwość realizacji efektywnej obsługi coraz bardziej wymagających klientów w zglobalizowanej gospodarce.<sup>112</sup> Dzięki możliwości integracji danych na potrzeby realizacji dynamicznej współpracy w obrębie przejrzystego i elastycznego łańcucha dostaw wpływa na strukturę całkowitych kosztów posiadania. K. Nowicka powołując się na badanie M. Christophera<sup>113</sup> pisze, że rozwiązania dostępne w modelu Cloud Computing wychodzą naprzeciw wyzwaniu zachowania przejrzystości łańcucha dostaw.

Do głównych wad i wyzwań Cloud Computingu zaliczyć należy brak fizycznej kontroli użytkownika nad swoimi danymi. Wiąże się to bezpośrednio z kwestią zapewnienia należytej prywatności plików należących do konkretnych firm. Istotna jest także kwestia zapewniania ciągłości dostępu do nich, a także bezpieczeństwa w razie awarii serwera. Dodatkowym problemem jest sposób nawiązywania połączenia z centrum informatycznym poprzez sieć Internet, który w zależności od providera (dostawcy Internetu) nie zawsze działa prawidłowo – czasem bardzo wolno lub wcale nie działa (możliwość czasowego obniżenia wydajności). Wadą jest także pewne ograniczenie, jakie może wystąpić z racji oprogramowania, jakim dysponuje usługodawca w stosunku do firmy, która chce skorzystać z usług Cloud Computingowych. Dostawca usług może niechętnie odnieść się do prośby jednego klienta o poszerzenie działalności software-u. Czasem może także dojść do sytuacji, gdzie wprowadzone zostaną usprawnienia w pracy aplikacji, które nie zawsze dla każdej firmy będą zadowalające. Najważniejszym jednak problemem, na który zwrócić uwagę powinny firmy i duże korporacje jest kwestia uzależnienia się od dostarczanej zewnętrznie przestrzeni dyskowej. Uzależnienie się może także dotyczyć użytkowanego oprogramowania lub

---

<sup>112</sup> K. Nowicka, *Wartość w modelu...*, op. cit.

<sup>113</sup> M. Christopher, *Enhancing Customer-Centric Supply Chains. How B2B e-Commerce Increases Customer Satisfaction and Drives Revenue Growth*, SCM World, 2010, s. 26.

wdrożonych systemów bazodanowych dla gromadzonych informacji. Może także dojść do sytuacji, gdy ceny oprogramowania i utrzymania infrastruktury serwerowej dla konkretnej firmy, uzależnionej od danego centrum informatycznego mogą z biegiem czasu diametralnie wzrosnąć. Wtedy wynajmowanie usług może stać się nieopłacalne. Należy, więc zwracać uwagę na czas podpisywania umów i warunki proponowanych ofert.

Cloud Computing zmienia diametralnie sposób, w jaki korzysta się z komputera. Duże, energochłonne stacje robocze zostają zastępowane energooszczędnymi terminalami, czy netbookami lub innymi urządzeniami przenośnymi. Na nowo zostaje odkrywana komunikacja klient-serwer. Korzystanie z chmur obliczeniowych jest także krokiem w aspekcie światowej globalizacji, ponieważ firma posiadająca swoją siedzibę w Polsce może mieć swoje dane na serwerach znajdujących się np. w Chinach. Istotne są w takim przypadku regulacje prawne. Szeroki wachlarz usług Cloud Computingu często znajduje swoje zastosowanie wśród zwykłych użytkowników. Przykładów korzystania z chmur obliczeniowych jest wiele, różne rodzaje Cloud Computingu przenikają się wzajemnie tworząc środowisko pracy. Często użytkownicy sieci lub pracownicy korporacji nie zdają sobie sprawy, że z chmur obliczeniowych korzystają każdego dnia. Jednak dobrze jest wiedzieć o tej usłudze jak najwięcej i umieć ją jak najlepiej wykorzystywać gdyż chmura jest kolejnym milowym kamieniem w rozwoju informatyki<sup>114</sup> oraz jest ideą, która każdego dnia ewoluuje, a jej zastosowanie jest znajdowane w coraz to nowych dziedzinach życia. Dlatego też opisywanie chmur będzie się zmieniać wraz z nimi.

### 1.4.3. Wirtualizacja IT a Cloud Computing

Fundamentem efektywnie działającej usługi w modelu Cloud Computing jest technologia, a dokładnie jakość, szybkość i skalowalność infrastruktury oraz przepustowość sieci. Te kluczowe czynniki stanowią o sukcesie firmy dostarczającej usługi w tym modelu, a to implikuje zadowolenie jej klientów. Jednak tylko infrastruktura jest tym czynnikiem, który całkowicie jest zależny od dostawcy usług (sieć zależy również od łącza po stronie klienta), dlatego też jej prawidłowe zaprojektowanie i zarządzanie jest pierwszoplanową kwestią. Zatem czym od strony technologii (infrastruktury i procesów) jest Cloud Computing?

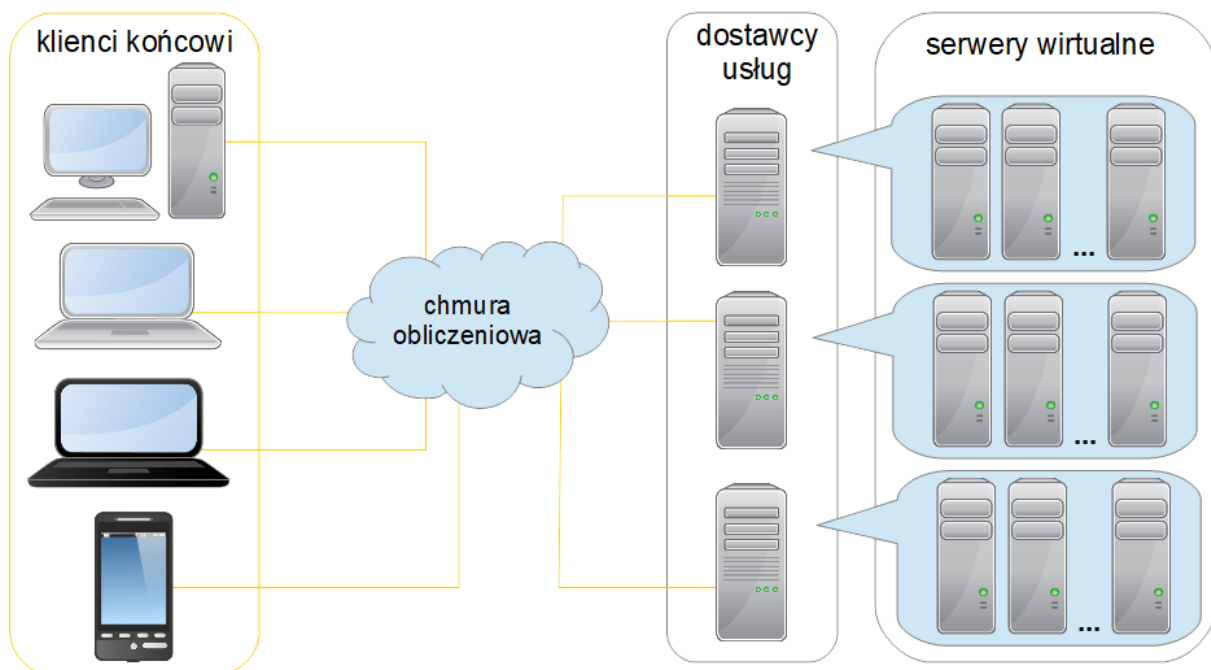
D. Dziembek w publikacji „*Cloud Computing – charakterystyka i obszary zastosowań w przedsiębiorstwach*”<sup>115</sup> słusznie zauważa, że Cloud Computing jest to ewolucyjna

---

<sup>114</sup> D. Biesiada i in., *Windows Azure...*, op. cit., s. 9.

<sup>115</sup> D. Dziembek, *Cloud Computing...*, op. cit., s. 726.

kombinacja stosowania istniejących już metod, technik i narzędzi IT. Na pierwszym miejscu wymieniona została wirtualizacja<sup>116</sup>. Albowiem technologia ta pozwala zoptymalizować wykorzystanie posiadanych zasobów sprzętowych i programowych, co w rezultacie pozwala uniknąć konieczności nadmiernej rozbudowy infrastruktury sprzętowej, a jednocześnie sprawić by moc obliczeniowa stojącego do dyspozycji przedsiębiorstwa sprzętu komputerowego, mogła być w pełni wykorzystana przez oprogramowanie. Koncepcja wirtualizacji w modelu Cloud Computing została przedstawiona na poniższym rysunku (rysunek 1.9).



**Rysunek 1.9. Wirtualizacja w modelu Cloud Computing**

Źródło: Na podstawie A. Bytniewski (red.), *Systemy informatyczne...*, op. cit., s. 98.

Niezależnie od rodzaju urządzenia z którego korzysta klient, poprzez chmurę obliczeniową użytkownicy końcowi łączą się do usług chmurowych, które bazują na technologii wirtualizacji. Za każdą usługą, systemem, serwisem stoi VM funkcjonująca w środowisku wirtualnym.

Od usług IT oczekuje się ich ciągłej dostępności. W przeszłości działy IT wdrażały rozbudowany sprzęt w zbędnych i nadmiarowych konfiguracjach po to, aby spełnić te oczekiwania. Wraz ze wzrostem potrzeb okazało się, że dostępna w serwerowni przestrzeń, zasilanie i chłodzenie stają się barierami w dostarczaniu usług, lub koszty funkcjonowania

---

<sup>116</sup> Pozostałe to: przetwarzanie sieciowe (ang. *Grid Computing*), użyteczność zasobów komputerowych (ang. *Utility Computing*), przetwarzanie autonomiczne (ang. *Autonomic Computing*) oraz architektura zorientowana na usługi (ang. *Service-Oriented Architecture - SOA*).

znacznie przekraczały przychody z tytułu ich dostarczania. W efekcie rynek skoncentrował się na rozwiązaniach do wirtualizacji w celu lepszego wykorzystania dostępnych zasobów. Dlatego też większość chmur bazuje na technologii wirtualizacji infrastruktury, ponieważ wirtualizacja okazała się skuteczną strategią wykorzystywaną w centrach przetwarzania danych do konsolidacji serwerów. Dzięki dostępowi do zautomatyzowanego, samoobsługowego katalogu usług standardowych z poziomu interfejsu klienta oraz funkcjom automatycznego skalowania w zależności od zapotrzebowania chmury obliczeniowe zapewniają nowy sposób świadczenia usług informatycznych<sup>117</sup>.

Wirtualizacja poprawiła dostępność, ponieważ w przypadku awarii czy prac serwisowych maszyny wirtualne można łatwo i szybko uruchomić na innym sprzęcie. Co więcej, wirtualizacja pozwala zapewnić wysoką dostępność starszych aplikacji, które nie są wyposażone w funkcje przywracania po awarii. Maszyny wirtualne można także migrować na żądanie podczas zaplanowanych prac serwisowych. Poza tym rozwiązania wirtualizacyjne zapewniają dynamiczne i automatyczne przenoszenie maszyn wirtualnych w celu zrównoważenia obciążeń. Technologia wirtualizacji na dobre zakorzeniła się w centrach danych i poszerza swoją ekspansję na nowe obszary, takie jak stacje robocze, czy aplikacje. Powszechność technologii wirtualizacji i jej naturalne właściwości sprawiają z kolei, że centra danych rozpoczęły ewolucję w kierunku nowego modelu, efektywnego dostarczania zasobów IT w postaci usług. Ponieważ korzyści z wirtualizacji są coraz bardziej widoczne, wiele firm próbuje wykorzystać te rozwiązania na wiele sposobów, oczywiście włączając w to tworzenie chmur obliczeniowych. W ten sposób otwarto drogę nowej technologii z jej zawiłościami i najlepszymi praktykami<sup>118</sup>.

Technologia wirtualizacji nie jest jednak synonimem przetwarzania w chmurze. Różnica polega na tym, że wirtualizacja wydziela zasoby obliczeniowe (najczęściej jako maszyny wirtualne) z pamięcią masową i dostępem do sieci. Chmura obliczeniowa zarządza przydzielaniem, dostarczaniem i prezentowaniem takich zwirtualizowanych zasobów. Wirtualizacja nie jest konieczna do utworzenia środowiska opartego na chmurze, ale umożliwia dynamiczne skalowanie zasobów w sposób nieosiągalny dla środowisk niewirtualizowanych.

---

<sup>117</sup> *Przewodnik po planowaniu: Infrastruktura chmury prywatnej jako usługa*, <https://www.intel.pl/content/dam/www/public/emea/pl/pl/documents/guides/cloud-computing-private-cloud-infrastructure-as-a-service-guide-pl.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<sup>118</sup> <http://www.virtualfocus.pl/raporty/cloud-computing/praktyczne-spojrzenie-cloud-computing>, z dn. 2019.10.21.

Wirtualizacja kładzie mocny fundament pod nowy model biznesowy, jakim jest dostarczanie szeroko pojętego IT jako usługi. Prognoza na nadchodzące lata przewiduje w centrum danych tzw. spore zachmurzenie, z dającymi się zauważyć i odróżnić na horyzoncie chmurami IaaS, PaaS, SaaS lub CaaS. Skorzystanie z jednego z tych modeli, to dla firm przede wszystkim możliwość bardzo szybkiego uruchamiania nowych usług na potrzeby biznesu, a dla dostawców konieczność zapewnienia niezbędnych do tego najlepszych, najbardziej wydajnych i elastycznych zwirtualizowanych zasobów informatycznych. Dlatego też podstawową cechą modelu typu „cloud” są mechanizmy umożliwiające dostawcom udostępnienie potrzebnych klientom zasobów obliczeniowych samodzielnie i na żądanie. Dzięki wysokiej elastyczności i skalowalności zasobów, dla klienta chmura jawi się jako nieskończone źródło zasobów, ponieważ mogą one być dodawane lub ujmowane w zależności od zaistniałych potrzeb, co nowo powstałym firmom daje pewność, że wraz z rozwojem biznesu nie wystąpi problem braku zasobów informatycznych.

Wirtualizacja wspiera ideę Cloud Computing w wielu aspektach i jest kluczem do chmur obliczeniowych. Technologia wirtualizacyjna pozwala łatwo zbudować zarządzalną infrastrukturę IT oraz posiada możliwość separacji systemu operacyjnego i aplikacji od sprzętu. Przytoczone fakty sprawiają, że jest to najbardziej efektywne rozwiązanie dla dostarczania usług w modelu Cloud Computing. Ważną zaletą jest również aspekt ekologiczny. Lepsze wykorzystanie mocy przerobowych serwerów, pozwala na ograniczenie zużycia energii elektrycznej, a co za tym idzie - redukcji emisji dwutlenku węgla. Zatem konwergencja zastosowań technologii wirtualizacji i przetwarzania w chmurze niesie za sobą korzyści zarówno dla klientów, dostawców chmur obliczeniowych oraz dla środowiska naturalnego.

## Rozdział 2. Rola wirtualizacji w infrastrukturze IT

### 2.1. Ewolucja wirtualizacji środowiska informatycznego

Pojęcie wirtualności pojawiło się prawdopodobnie w kulturze europejskiej po raz pierwszy w rozważaniach greckiego myśliciela Arystotelesa. Arystoteles sądził, że pojedyncze elementy, z których składa się świat mogą istnieć rzeczywiście lub potencjalnie. Jednostki są rzeczywiste w swoim istnieniu na świecie, ale każdy rodzaj istnienia jest urzeczywistnieniem potencjalności tego istnienia. Wirtualność w tej teorii wskazuje na mnóstwo możliwych stanów, jakich każda jednostka może potencjalnie doświadczyć<sup>119</sup>.

**Wirtualność** jest jednym z terminów najczęściej nadużywanych we współczesnym świecie, co zauważyć można również na gruncie nauki o organizacji i zarządzaniu. Pojęcie to traktuje się ponadto jako słowo-klucz do zrozumienia współczesnych przemian społeczno-gospodarczo-technologicznych<sup>120</sup>, a także jako etykietę dla istniejących zjawisk, które często nie mają swoich fizycznych odpowiedników. Jak natomiast było ono rozumiane i definiowane wcześniej, zanim nastąpiło przejście od społeczeństwa przemysłowego, nowoczesnego do społeczeństwa ponowoczesnego, czyli informacyjnego?

Wirtualność to nie tylko modne i nieznaczące hasło, to termin odzwierciedlający istotne zmiany w życiu i pracy człowieka na początku trzeciego tysiąclecia. Pomijając powszechne mnożenie rozmaitych postaci wirtualności – jak np.: wirtualny bank, uniwersytet, biuro albo rzeczywistość – trudno jest wskazać powszechnie akceptowaną definicję tego pojęcia. Różnorodne próby definiowania wirtualności sprawiają, że mówi się wręcz o ciągłej ewolucji tego terminu. Zasadnym wydaje się zatem stwierdzenie B. Wooley-a, który porównał wirtualność do ogromnego, ale zarazem pustego naczynia semantycznego, wciąż czekającego na wypełnienie właściwym znaczeniem<sup>121</sup>.

Obiekty wirtualne sklasyfikował i opisał M. Brzozowski w swojej publikacji „*Ewolucja pojmowania wirtualności i definiowanie organizacji wirtualnej*”<sup>122</sup>. Poniższy rysunek przedstawia propozycję klasyfikację poszczególnych pojęć (rysunek 2.1).

---

<sup>119</sup> J. Kisielnicki, *Zarządzanie i informatyka*, Placet, 2014, s. 197.

<sup>120</sup> M. Brzozowski, *Ewolucja pojmowania wirtualności i definiowanie organizacji wirtualnej*, w: *Management Forum 2020: Nowoczesne koncepcje i metody zarządzania strategicznego*, SGH, Warszawa 2006, s. 2.

<sup>121</sup> *Ibidem*, s. 2.

<sup>122</sup> *Ibidem*, s. 2.



**Rysunek 2.1. Obiekty wirtualne**

Źródło: Na podstawie M. Brzozowski, *Ewolucja pojmowania...*, op. cit., s. 2.

Przedstawiona powyżej klasyfikacja najbardziej precyzyjnie określa czym jest wirtualna organizacja dzieląc pojęcie na wewnątrzorganizacyjne i ponadorganizacyjne ujęcie. Jednak elementem wspólnym zdecydowanej większości współczesnych definicji wirtualności jest wskazywanie na jej łaćski źródłosłów. Pochodzenie terminu wywodzi się od łaćskich słów *virtus*, *virtutis* – znaczących tyle, co biegłość, sprawność, odwaga, męstwo – oraz *virtualis*, czyli skuteczny<sup>123</sup>. W literaturze można również doszukać się znaczeń takich jak moc, cnota; możliwy, mogący zaistnieć; spodziewany według teoretycznych obliczeń<sup>124</sup>, jak również „not absolutely or actually”<sup>125</sup>. Słownik języka polskiego PWN wskazuje natomiast, że wirtualny znaczy tyle, co stworzony w ludzkim umyśle, ale prawdopodobnie istniejący w rzeczywistości lub mogący zaistnieć lub wykreowany na ekranie komputera, telewizora, ale tak realistyczny, że wydaje się rzeczywisty<sup>126</sup>.

Bezsprzecznie największy wkład we współczesne pojmowanie wirtualności oraz rozpowszechnienie tego terminu ma informatyka. Na jej gruncie wirtualność traktuje się jako podkategorię terminu „symulacja”. W tym ujęciu wirtualny znaczy tyle, co tworzony

<sup>123</sup> Hasło: vitus, virtuti, virtualis, K. Kumaniecki, *Słownik łaćsko-polski*, PWN, Warszawa 1981, s.540.

<sup>124</sup> Hasło: vitus, Z. Rysiewicz (red.), *Słownik wyrazów obcych*, PIW, Warszawa, 1965.

<sup>125</sup> Hasło: virtually, *Merriam Webster-s Collegiate Thesaurus*, Merriam-Websters Inc. Publishers, 2003.

<sup>126</sup> Hasło: wirtualny, <https://sjp.pwn.pl/szukaj/wirtualny.html>, z dn. 2023.06.12.



sztucznie przy pomocy technik komputerowych przy wykorzystaniu rzeczywistości kreowanej w ten sposób<sup>127</sup>. Pierwszym praktycznym zastosowaniem teorii wirtualności na gruncie informatyki okazały się właśnie maszyny wirtualne oraz tzw. pamięć wirtualna (w początkowej fazie rozwoju nazywana również pamięcią symulowaną), która umożliwiła systemom komputerowym obsługę programów wymagających większej pamięci niż pamięć fizyczna.

**Technologia maszyn wirtualnych VM (ang. *Virtual Machine*)** zwana wirtualizacją jest istotna w społeczeństwie technologii informacyjnej<sup>128</sup>. Natomiast koncepcja wirtualizacji jest znana w informatyce w wielu formach, począwszy od lat 60-tych. Potrzeba VM zrodziła się wśród inżynierów i programistów jednej z najbardziej prestiżowych uczelni technicznych świata - Massachusetts Institute of Technology (MIT) z Cambridge. Prekursorem była firma IBM, która wraz z pracownikami MIT wprowadziła architekturę mainframe<sup>129</sup> – czyli architekturę komputerów tzw. trzeciej generacji opartych na układach scalonych (a dokładnie komputer IBM OS/360 w 1964 r.). Wielu użytkowników systemów OS/360 oczekiwało możliwość interaktywnej pracy przy terminalach, a duże gabaryty maszyny skłaniały twórców do wniosku, że na takim systemie powinno być realizowane więcej niż jedno zadanie w tym samym czasie. W związku z tym projektanci i architekci postanowili napisać system operacyjny z podziałem czasu, który posiadał zdolność do wielozadaniowości – CTSS (ang. *Compatible Time-Sharing System*). Pierwszym takim komputerem był CP-40 (CP/CMS, 1964-1967 r.) z systemem operacyjnym CMS (ang. *Cambridge Monitor System*), który później stał się podstawą do stworzenia CP-67 (TSS/360 model 67, 1967-1972 r.). Jednak te systemy okazały się zbyt duże i zbyt wolne. Dopiero zaprezentowana w 1972 roku wersja VM/370 była wydajnym systemem z podziałem czasu, który udostępniał funkcje wieloprogramowości z niezależnym od warstwy fizycznej interfejsem<sup>130</sup>. Następca tego systemu – z/VM (2000 r.) – jest obecnie powszechnie używany we współczesnych systemach mainframe IBM. Historię wirtualizacji w ciekawy sposób przedstawiła M. Varian w dokumencie „*VM and the VM Community: Past, Present, and Future*”<sup>131</sup> opisując technologię

---

<sup>127</sup> Hasło: wirtualny, B. Dunaj (red.), *Słownik współczesnego języka polskiego*, Wydawnictwo Przegląd Reader's Digest, Warszawa 1998.

<sup>128</sup> J. Daniels, *Server virtualization architecture and implementation*, Magazyn Crossroads, Volume 16 Issue 1, September 2009, s. 8-12.

<sup>129</sup> Architektura komputerowa używana głównie przez duże organizacje dla krytycznych aplikacji. Są to systemy o dużej wydajności przetwarzania danych. Dawniej mainframe to była główna jednostka przetwarzająca dane w dużych maszynach, składających się z wielu oddzielnych od siebie jednostek.

<sup>130</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 107.

<sup>131</sup> M. Varian, *VM and the VM community: Past, present, and future*, Office of Computing and Information Technology, Princeton University, Princeton, NJ, 1997.

wirtualnych maszyn począwszy od CTSS do VM/370. Opracowanie autorki obejmuje nie tylko powstawanie wirtualnych maszyn ale także zapis istotnych wydarzeń i spotkań oraz wpływ inżynierów w społeczność wirtualnych maszyn.

Kolejną istotną postacią w historii wirtualizacji był G. J. Goldberg. W jednym ze swoich opracowań stwierdza, że „większość współczesnych systemów komputerowych nie jest w stanie obsługiwać maszyn wirtualnych. System operacyjny CP-67, realizujący wirtualizację komputera, wykorzystuje techniki niewystarczające i niewygodne ze względu na nieodpowiednią architekturę”<sup>132</sup>. Autor proponuje natomiast tzw. „Harward Virtualizer”, w którym VM będzie bezpośrednio komunikować się ze sprzętem, zamiast „iść” za pośrednictwem oprogramowania hosta. Dopiero 30 lat później analitycy branży ogłosili powstanie architektury sprzętowej, która jest w stanie skutecznie wspierać wirtualne maszyny.

W 1974 roku Goldberg wraz z G. J. Popka sformułowali „formalne wymagania dotyczące wirtualizacji architektury trzeciej generacji”<sup>133</sup> - kryteria (nazwane później kryterium Popka-Goldberga) właściwego funkcjonowania maszyny wirtualnej oraz kryteria możliwości zbudowania takowej na zadanej architekturze komputera. Goldberg w swoich publikacjach „Virtual machines – Semantics and examples”<sup>134</sup> oraz „Hardware requirements for virtual machine systems”<sup>135</sup> opisuje VM jako programowo-sprzętową, identyczną kopię maszyny rzeczywistej. Maszynie wirtualnej poprzez wirtualizację zostaje dostarczony pełen zestaw sprzętowy, w tym procesor, pamięć i urządzenia peryferyjne. Oprogramowanie, które jest odpowiedzialne za stworzenie abstrakcji maszyny wirtualnej to monitor maszyn wirtualnych (VMM).

Maszyna wirtualna w myśl Popka i Goldberga by być skuteczna musi spełniać trzy warunki (kryterium jakości wirtualizacji):

- odpowiedniość – program działający na maszynie wirtualnej musi zachowywać się w dokładnie taki sam sposób, jak na rzeczywistym sprzęcie. Inaczej ujmując – program działający pod nadzorem VMM powinien wykazywać zachowanie zasadniczo identyczne, jak podczas pracy na fizycznej maszynie;

---

<sup>132</sup> R. P. Goldberg, *Architecture of virtual machines*. Honeywell Information Systems, Inc., Billerica, MA, 1973.

<sup>133</sup> G. J. Popka, R. P. Goldberg, *Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architectures*, Communications of the ACM 17 (7), 1974, s. 412–421.

<sup>134</sup> R. P. Goldberg, *Virtual machines — Semantics and examples*, IEEE Computer Society Conference, 1971, s. 141-142.

<sup>135</sup> R. P. Goldberg, *Hardware requirements for virtual machine systems*, Hawaii International Conference on System Sciences, 1971.

- kontrola zasobów – VMM musi w pełni kontrolować wszystkie zasoby, które są wirtualizowane;
- wydajność – większa część instrukcji musi być wykonywana bez udziału (a tym samym obciążenia) VMM.

W terminologii Popka i Goldberga VMM musi posiadać wszystkie trzy właściwości. Inaczej to postrzegają J. Smith i R. Nair, którzy w swojej książce zakładają, że monitor maszyn wirtualnych musi przede wszystkim spełniać kryterium równoważności i kontroli zasobów, natomiast dodatkowo może spełniać własność nazywaną „skuteczne VMM”<sup>136</sup>.

W celu przedstawienia twierdzenia, które daje wystarczające (a nie konieczne) warunki do wirtualizacji, Popok i Goldberg wprowadzili klasyfikację trzech zbiorów instrukcji, które można wyróżnić w systemie operacyjnym. Wymienione poniżej instrukcje są dostępne na danej architekturze, nie są ani rozłączne, ani nie sumują się do zbioru wszystkich instrukcji architektury procesora ISA<sup>137</sup>:

- instrukcje uprzywilejowane – ich efektem jest przerwanie lub wywołanie systemowe w trybie użytkownika<sup>138</sup> lub ich brak w trybie jądra<sup>139</sup> systemu operacyjnego, tworzą tzw. pułapki;
- instrukcja wrażliwe ze względu na kontrolę – w trakcie wykonywania mogą zmienić konfigurację zasobów systemowych;
- instrukcje wrażliwe ze względu na wykonanie – ich działanie jest zależne od konfiguracji systemu.

Instrukcje wrażliwe są uruchamiane tylko w trybie jądra, są odpowiedzialne za operacje wejścia/wyjścia, zmieniają instrukcje jednostki MMU<sup>140</sup>.

Po przyjęciu powyższych kryteriów Popok i Goldberg sformułowali twierdzenie określające, czy architektura danego komputera może być wirtualizowana<sup>141</sup>:

<sup>136</sup> J. Smith, R. Nair, *Virtual Machines*, Morgan Kaufmann, 2005, s. 387.

<sup>137</sup> Model programowy procesora ISA (ang. *Instruction Set Architecture*) – ogólne określenie dotyczące organizacji, funkcjonalności i zasad działania procesora, widoczne z punktu widzenia programisty jako dostępne mechanizmy programowania.

<sup>138</sup> Tryb użytkownika to pozostała (poza uprzywilejowanym trybem jądra) część oprogramowania, w której dostępny jest jedynie podzbiór rozkazów maszynowych. W tym trybie działają aplikacje użytkownika, ale zabronione są instrukcje mające wpływ na zarządzanie maszyną lub wykonanie operacji I/O.

<sup>139</sup> Tryb jądra to tryb uprzywilejowany, w którym działa system operacyjny, który ma pełen dostęp do całego sprzętu i może uruchomić każdą inną instrukcję, jaką komputer jest zdolny wykonać.

<sup>140</sup> MMU (ang. *Memory Management Unit*) – zestaw układów realizujących dostęp do pamięci fizycznej żądanej przez procesor.

<sup>141</sup> G. J. Popok, R. P. Goldberg, *Formal Requirements...*, op. cit., s. 412–421.

„Dla każdego standardowego komputera trzeciej generacji wirtualna maszyna może być skonstruowana, jeśli zbiór instrukcji wrażliwych jest podzbiorem zbioru instrukcji uprzywilejowanych.”

Z tego twierdzenie wynika, iż każda operacja, która mogła spowodować niepoprawne działanie maszyny wirtualnej, powoduje przerwanie lub wywołanie systemowe. Dzięki temu VM może podjąć odpowiednie kroki. Cała reszta instrukcji uprzywilejowanych jest przekazana po prostu do fizycznego sprzętu, aby uzyskać odpowiednią wydajność. Posługując się prostszym językiem: jeśli spróbujemy wykonać jakieś działanie w trybie użytkownika, czego nie należy robić w tym trybie, sprzęt powinien wykonać rozkaz pułapki<sup>142</sup>.

Jednak wraz z upływem lat okazało się, że można zbudować maszynę wirtualizującą architekturę nie spełniając założeń twierdzenia. Powoduje to utratę wydajności lub nakłada inne ograniczenia. Architektura x86<sup>143</sup> firmy Intel nie spełnia tych warunków, więc nie może być wirtualizowana w klasycznym tego słowa znaczeniu. Za pomocą różnych innych technik, zastępując wrażliwe instrukcje, architektury mogą być w pełni wirtualizowane<sup>144</sup>. To jednak sprawia, że VMM jest teoretycznie mniej skuteczne<sup>145</sup>. Kolejnym przykładem jest architektura PDP-10 (ang. *Programmed Data Processor model 10*), która była rodziną komputerów klasy mainframe<sup>146</sup>. Była to jedna z pierwszych maszyn, na której dzielenie czasu stało się powszechną praktyką. PDP-10 jest architekturą, która ma kilka instrukcji, które są wrażliwe ale nie są uprzywilejowane<sup>147</sup>. Technika wirtualizacji zasobów informatycznych, która nie spełnia twierdzenia Popka-Goldberga jest m.in. parawirtualizacja, opisana w dalszej części dysertacji.

Lata 80-te oraz początek lat 90-tych wniosły w centra danych sieci obliczeniowe. Zainteresowanie scentralizowaniem komputerów oraz wirtualizacją maszyn zostało zastąpione pojawianiem się samodzielnych serwerów z dedykowanymi funkcjami, np. e-mail, bazy danych, serwery www, aplikacji. Po inwestycjach w rozproszone architektury ponownie

---

<sup>142</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 671.

<sup>143</sup> Pojedynczy rozkaz mikroprocesora, wykonuje kilka operacji niskiego poziomu, jak na przykład pobranie z pamięci, operację arytmetyczną i zapisanie do pamięci.

<sup>144</sup> K. Adams, O. Agesen, *A comparison of software and hardware techniques for x86 virtualization*, International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, San Jose, CA, USA, 2006, s 2-3.

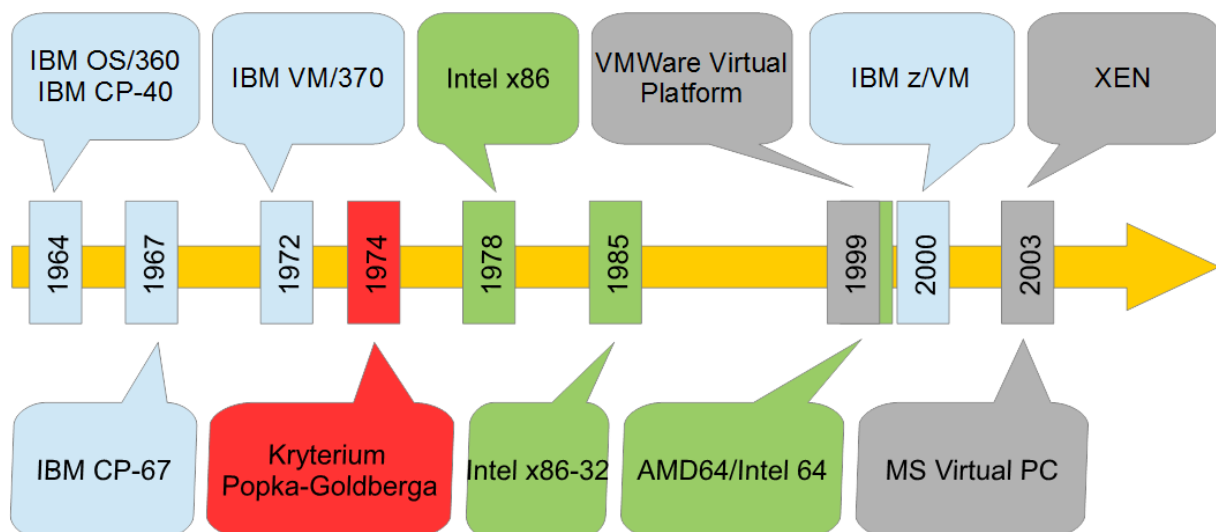
<sup>145</sup> J. Smith, R. Nair, *Virtual Machines...*, *op. cit.*, s. 391.

<sup>146</sup> P. E. Ceruzzi, *A History of Modern Computing*, MIT Press, 2003, s. 208.

<sup>147</sup> S. W. Galley, *PDP-10 Virtual machines*, ACM SIGARCH-SIGOPS Workshop on Virtual Computer Systems, 1969, s. 30–34.

powróciło zainteresowanie wirtualizacją maszyn jako bezpłatnego rozwiązania dla projektów konsolidacji serwerów i zarządzania centrum przetwarzania danych<sup>148</sup>. Pojawienie się komputerów klasy x86<sup>149</sup> otworzyło nowy rozdział w historii wirtualizacji. Jednak początkowo wydajność procesorów PC x86 była zbyt mała, aby wirtualizacja miała sens. Dopiero w miarę wzrostu zainteresowania serwerami z procesorami tej klasy pojawił się pomysł oddzielenia części procesorów od siebie, by zadania, uruchomione w pewnym drzewa katalogów systemu Unix, nie mogły wpływać na siebie. To dało początek implementacji rozwiązań firm takich jak VMware (VMware Virtual Platform, 1999 r.), Microsoft (MS Virtual PC, 2003 r.) i Xen (2003 r.), które skutecznie zachęcają do kreatywnego tworzenia nowych rozwiązań wirtualizacyjnych. Rozwój sieci komputerowych (ang. *Grid Computing*) i komputerów na żądanie (ang. *Computing on demand*), a także coraz bardziej wydajna technologia obliczeniowa dążą do maksymalnego zwiększenia mocy obliczeniowej w skuteczny, zarządzalny sposób. Maszyny wirtualne powstały na architekturze mainframe, ale dopiero niedawno zostały wprowadzone na rozproszonych platformach x86. Postęp technologiczny w dziedzinie sprzętu i oprogramowania czyni maszyny wirtualne stabilnymi, niedrogimi i oferującymi ogromne możliwości.

Historia wirtualizacji, przedstawiona na osi czasu poniżej (rysunek 2.2), jest odległa i pełna firm oraz instytucji, które głęboko wierzyły w ideę maszyn wirtualnych.



**Rysunek 2.2. Historia wirtualizacji – najważniejsze wydarzenia**

Źródło: Na podstawie A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, op. cit., s. 107; M. Varian, *VM and the VM...*, op. cit.

<sup>148</sup>A. Serjeant, *Building a case for server consolidation*, VMWorld, Presentation, October 2005.

<sup>149</sup>Pierwsze procesory 16-bitowe wypuściła firma Intel w 1978 r., a w 1985 r. – 32-bitowe x86-32 (IA-32, i386), procesor 64-bitowy AMD64 stworzyła w 1999 r. firma AMD, rozwiązanie zostało później zaadaptowane przez Intela jako Intel 64.

Tylko determinacja stojących za tym ludzi, a także duże nakłady finansowe, sprawiły, że po wielu latach implementacji, wirtualizacja stała się ważną, o ile nie najważniejszą technologią IT. Od teoretycznych założeń, poprzez lata prób i testów oraz późniejsze udoskonalanie, ów technologia obecnie stanowi kluczowy kierunek dla rozwoju usług ICT oraz szeroko rozumianego e-biznesu.

Historia wirtualizacji pokazała, że idee często wyprzedzają możliwości techniczne (zwłaszcza w informatyce), a „wirtualna” wizja – rzeczywistość. Jednak, gdy idea w końcu staje się możliwa do realizacji, to wizja szybko przekształca się w rzeczywistość, dając tym samym początek innowacyjnym rozwiązaniom, takim jak wirtualizacja.

## 2.2. Metody wirtualizacji zasobów informatycznych

### 2.2.1. Klasyfikacja typów architektury wirtualizacji

Praktycznie każdy proces wirtualizacji jest osobnym rozwiązaniem. Przebieg i wynik procesu wirtualizacji jest zależny zarówno od wymagań systemowych wirtualizowanego rozwiązania, jak i od charakterystyki zasobów sprzętowych, na których docelowe rozwiązanie będzie funkcjonować<sup>150</sup>. W literaturze tematu opisanych jest wiele klasyfikacji, typów, metod i zastosowań wirtualizacji. Omawiana technologia jest realizowana na kilka sposobów i na różnych poziomach w zależności od potrzeb, sprzętu i procesów danej organizacji. W niniejszej podrozdziale zostanie zaprezentowanych pięć różnych podejść do klasyfikacji wirtualizacji wraz z ich definicjami. Następnie autorka dokona oceny i usystematyzowania nomenklatury w celu opracowania jednej, pełnej klasyfikacji.

Do poznania i zrozumienia istoty wirtualizacji konieczne jest zdefiniowanie poniższych pojęć:

**Tryb jądra/nadzorcy** to uprzywilejowany tryb, w którym działa system operacyjny, który ma pełen dostęp do całego sprzętu i może uruchomić każdą inną instrukcję, jaką komputer jest zdolny wykonać.

**Tryb użytkownika** to pozostała (poza trybem jądra) część oprogramowania, w której dostępny jest jedynie podzbiór rozkazów maszynowych (w szczególności instrukcje mające wpływ na zarządzanie maszyną lub wykonanie operacji I/O są zabronione dla programów działających w trybie użytkownika).

---

<sup>150</sup> A. Sołtysik, *Rozwiązania wspierające wirtualizację we współczesnej organizacji*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 130.

**Host/host-OS** to komputer z systemem operacyjnym, bądź też sam system operacyjny, na którym będą uruchamiane inne systemy operacyjne.

**Guest/guest-OS** to system operacyjny uruchamiany na systemie hosta (w którym system host ma rolę zarządzającą).

**Pierścienie** (ang. *rings*) – każdy system operacyjny ma do wykorzystania cztery uprzywilejowane pierścienie (ang. *Protection rings*), które są numerowane od 0 do 3. Kod który działa w trybie ring 0 ma wszystkie uprawnienia, natomiast ring 3 przeznaczony jest na aplikacje, posiada najmniejsze uprawnienia. Pozostałe pierścienie ring 1 i ring 2 są stosunkowo rzadko wykorzystywane. Mechanizm przechodzenia pomiędzy pierścieniami, zwany „gates”, to specjalne bramki, które dają zewnętrznemu pierścieniowi dostęp do zasobów wewnętrznej warstwy. Przechodzenie między poszczególnymi trybami nie jest wydajne.

**Emulacja** (inaczej naśladowanie, imitowanie) polega na stworzeniu wirtualnego środowiska, które w praktyce dla systemu guest jest postrzegane jako kompletny komputer. Wszystkie elementy wirtualnego komputera są programowo emulowane, między innymi takie jak CPU, RAM, BIOS i CD. Emulator to kolejna aplikacja działająca w trybie ring 3. Potrzebuje on jednak o wiele więcej zasobów niż typowa aplikacja, aby realizować swoje zadania z sensowną szybkością. Wielką zaletą emulacji jest możliwość emulowania systemów, które wymagają innej architektury sprzętowej niż architektura systemu host. Natomiast wielką wadą emulacji jest jej niska wydajność, gdyż Guest jest często wielokrotnie wolniejszy od systemu host.

**Emulacja API** - z biegiem czasu zaczęto szukać coraz to wydajniejszych sposobów na realizację emulacji dążąc do emulowania jak najmniejszej ilości zasobów wirtualnego środowiska, a instrukcje guest wykonywać bezpośrednio na systemie host. Jednym z rozwiązań jest emulacja API (ang. *Application Programming Interface*), która pozwala uruchamiać aplikacje napisane dla innego OS i zamiast całego systemu emulowany jest tylko interfejs aplikacji. Z czasem pojawiło się jeszcze więcej rozwiązań mających na celu przyspieszenie działania systemu „gościa” (przede wszystkim wprowadzenie warstwy pośredniczącej VMM) i właśnie tutaj kończy się emulacja, a zaczyna wirtualizacja.

Monitor maszyn wirtualnych, czyli hipernadzorca działa na zasadzie emulatora. Już w 1969 roku H. A. Lichstein określił emulację jako „proces, w którym jeden komputer jest skonfigurowany w celu umożliwienia realizacji programów napisanych dla innego

komputera”<sup>151</sup>. Hypervisor oferuje pewien poziom efektywności, w którym emulatory tłumaczą każdą instrukcję lub system zapytań do CPU, pamięci i dysków. Hipernadzorca posiada funkcje zarządzania (dlatego zwany jest także zarządcą), które umożliwiają wielu maszynom wirtualnym współistnieć podczas dzielenia się prawdziwym, rzeczywistym zasobem maszyny fizycznej. Tak więc, aby dogłębnie zrozumieć istotę wirtualizacji należy przyjrzeć się właśnie hipernadzorcy, czyli warstwie oprogramowania odpowiedzialnej za prawidłowe funkcjonowanie tej technologii – zwanej również monitorem maszyn wirtualnych (VMM). VMM jest to oprogramowanie, które implementuje funkcje wirtualizacji zintegrowane z dedykowanym nadrzędnym systemem operacyjnym (ang. *host-OS*). Podstawowym zadaniem VMM jest wirtualizacja wybranych zasobów sprzętowych oraz emulacja sterowników do pozostałych urządzeń systemu każdemu „gościowi OS” (ang. *guest-OS*). Oznacza to, że VMM pełni rolę zarządcy platformy sprzętowej dla wirtualizowanych systemów operacyjnych, udostępniając lub ukrywając wybrane komponenty systemu.

Maszyny wirtualne są realizowane na różne sposoby. Poszczególne klasyfikacje architektury wirtualizacji, które można znaleźć w literaturze przedmiotu różnią się podejściem autorów do tematu, ale również nazewnictwem. A. Stasiak oraz Z. Skowroński w artykule „*Wirtualizacja – kierunek rozwoju platform n-procesowych*”<sup>152</sup> piszą, że istnieją trzy główne architektury programowe wirtualizacji VMM:

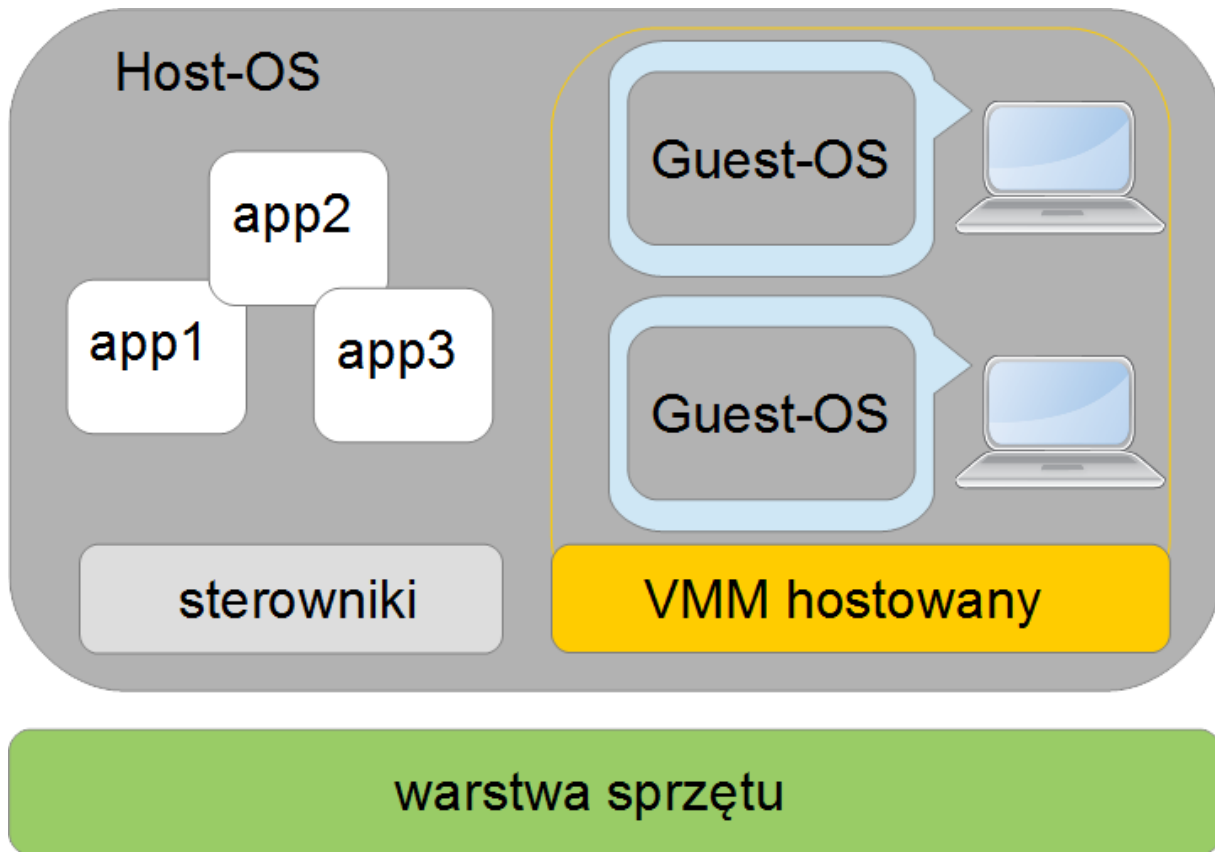
---

<sup>151</sup> H. A. Lichstein, *When should you emulate?*, *Datamatlon* 15, 1969, s. 205-210.

<sup>152</sup> A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, *op. cit.*, s. 856.



1. **OS-hosted VMM** – rozwiązanie, w którym zbudowanie architektury programowej VMM następuje w istniejącej infrastrukturze systemu operacyjnego (rysunek 2.3).

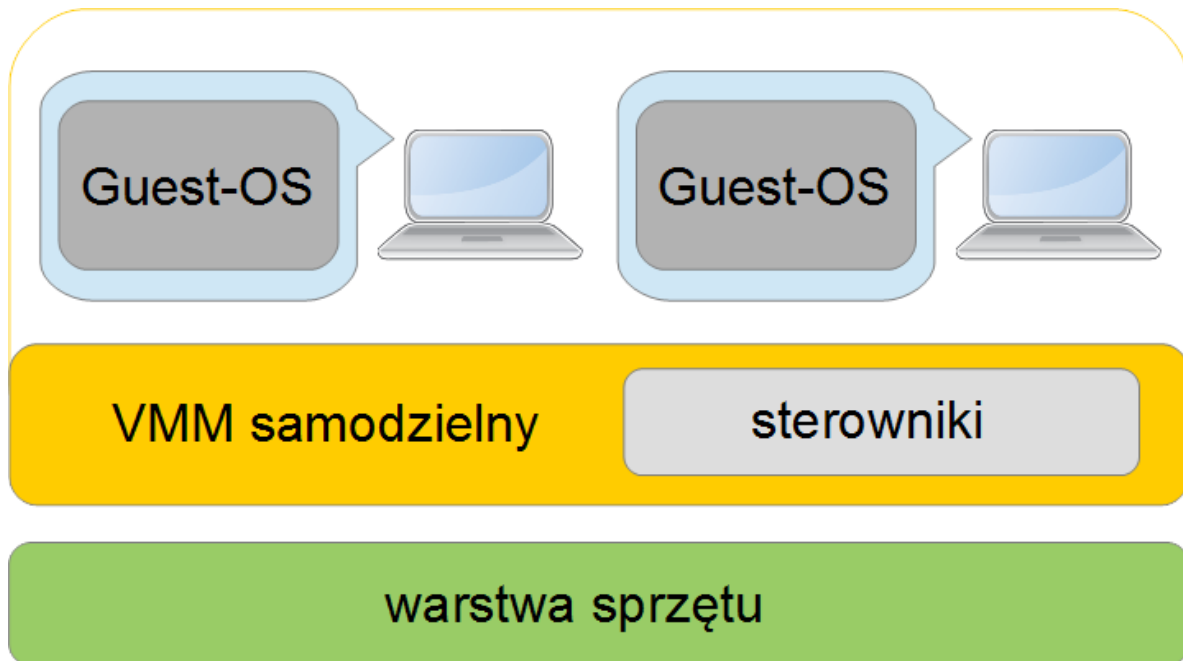


**Rysunek 2.3. Rozwiązanie osadzonego VMM w nadrzędnym systemie operacyjnym**

Źródło: Na podstawie A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek..., op. cit.*, s. 856.

W rozwiązaniu tym VMM uruchamiany jest przez nadrzędny system operacyjny w obszarze ring 0 - trybie pracy procesora o najwyższym poziomie przywilejów. Do końca swojej pracy pozostaje podrzędnym zadaniem w stosunku do głównego OS, który dostarcza do VMM kompletny interfejs platformy sprzętowej. Jądro VMM przełącza kontekst pomiędzy stanami guest-OS, a host-OS okresowo według zarządcy host-OS lub żądań zewnętrznych (np. przerw sprzętowych). Mimo, że guest-OS jest upoważniony do bezpośredniego wykonania kodu na fizycznym procesorze oraz dostępu do pamięci operacyjnej, to każdy dostęp/akcja do urządzeń wejścia/wyjścia jest przechwytywany przez jądro VMM i przekierowywany do poziomu drugiego VMM - do poziomu użytkownika ULM (ang. *User-Level Monitor*). Proces ULM uruchamiany jest jako zwykły proces nadrzędnego systemu operacyjnego host-OS, który zawiera i udostępnia modele wirtualnych urządzeń wejścia/wyjścia, obsługujące żądania guest-OS. Model wirtualnego urządzenia ULM komunikuje się w dalszej kolejności z systemem plików i sterownikami host-OS w celu realizacji żądań guest-OS.

2. **Samodzielny VMM** – rozwiązanie, w którym hypervisor nie jest zależny od nadrzędnego systemu operacyjnego (rysunek 2.4).

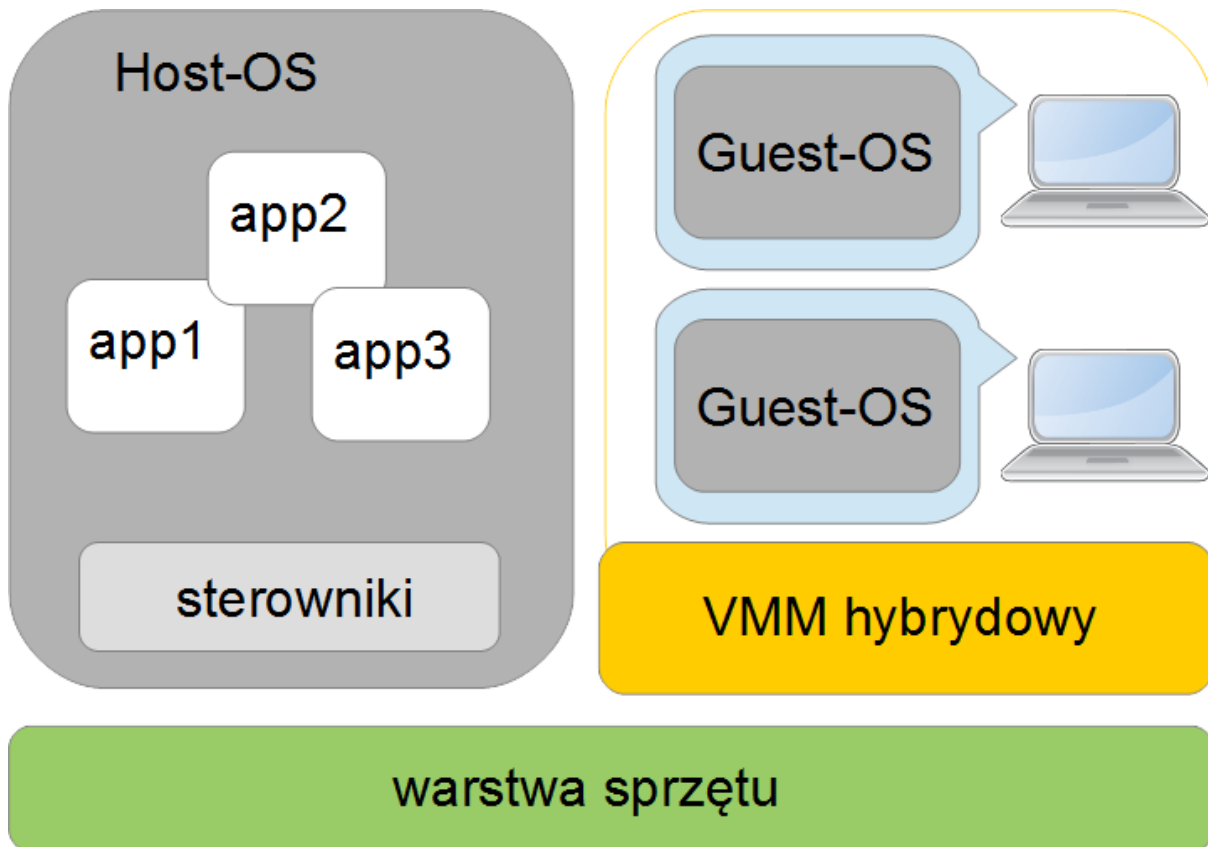


**Rysunek 2.4.** VMM jako samodzielny zarządca

Źródło: Na podstawie A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, op. cit., s. 856.

Alternatywnym podejściem jest realizacja VMM jako samodzielnego monitora VMM hypervisor., który dostarcza niezależny zestaw sterowników, modeli urządzeń oraz system zarządczy. Tego typu architektura zapewnia pełną kontrolę przydziału/dostępu do platformy sprzętowej wszystkim guest-OS, skracając jednocześnie ścieżkę przepływu żądania guest-OS do/od urządzeń wejścia/wyjścia. Przez minimalizację kodu oraz samodzielność pracy VMM możliwe jest dostarczenie bezpiecznego pod względem stabilności i gwarancji czasu rzeczywistego, niezawodnego rozwiązania. Zalety przedstawionej architektury VMM kontrastują z jej główną wadą: zależnością od platformy sprzętowej zestawu sterowników dla każdej nowej platformy – koniecznością dostarczenia tego zestawu razem z VMM.

3. **Hybrydowy VMM** - połączenie dwóch poprzednich rozwiązań (rysunek 2.5).



**Rysunek 2.5. Hybrydowy VMM**

Źródło: Na podstawie A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, op. cit., s. 856.

W podejściu tym podjęto wysiłek połączenia dwóch poprzednich rozwiązań. Cel osiągnięto dostarczając hybrydowy VMM, łączący cechy bezpieczeństwa, stabilności, niezawodności, niezależności, a przede wszystkim zastosowania sterowników urządzeń wejścia/wyjścia, dostarczanych z bazowym systemem operacyjnym. W omawianym rozwiązaniu VMM (rysunek 6) - małe jądro „hypervisor” - kontroluje wszystkie aspekty CPU oraz dostęp i zasoby pamięci operacyjnej. Natomiast urządzenia wejścia/wyjścia kontrolowane są bezpośrednio przez sterowniki „usługującego” systemu operacyjnego, pracującego w trybie ograniczonym (w pełni sterowanym przez VMM hypervisor). Przedstawiona architektura zapewnia najlepsze charakterystyki pracy oraz zarządzania usługowego i hybrydowego VMM. Próba zastosowania tej architektury VMM z użyciem procesorów x86, bez dedykowanego wsparcia w sprzęcie (związanego z implementacją nowych instrukcji w procesorach i układach chipset) zazwyczaj kończy się niepowodzeniem.

A. Stasiak i Z. Skowroński w swoim artykule piszą, że „kluczowym czynnikiem wpływającym na wydajność pracy VMM jest sposób wirtualizacji sterowników urządzeń platformy sprzętowej”<sup>153</sup>. Autorzy wyróżniają dwa podejścia: emulowanie i parawirtualizację. Emulowanie według A. Stasiaka i Z. Skowrońskiego to pojęcie związane z pełnym odwzorowaniem funkcjonalności urządzenia w programie, tzn. emulowane urządzenie „udaje” rzeczywistą pracę komponentu sprzętowego. System operacyjny typu guest-OS „nie wie”, że komunikuje się z programowym odpowiednikiem urządzenia. VMM jest odpowiedzialny za dostarczenie modeli sterowników w taki sposób, by były one „widoczne” dla maszyny wirtualnej oraz za obsługę przechodzących rozkazów, jak i wystawienie/przekserowanie przerwań do systemu operacyjnego. W literaturze przedmiotu nazywana jest po prostu pełną wirtualizacją. Natomiast technologia parawirtualizacji polega na modyfikacji sterowników w obszarze guest-OS. W rozwiązaniu tym maszyna wirtualna „wie” o tym, że pracuje w systemie wirtualnym, a sterowniki guest-OS dla platformy sprzętowej komunikują się bezpośrednio z urządzeniami, ale w dalszym ciągu są pod kontrolą VMM. Zaletą parawirtualizacji jest znaczące zwiększenie wydajności obsługi urządzeń w stosunku do emulacji poprzez między innymi zmniejszenie liczby interakcji pomiędzy guest-OS, a VMM oraz bezpośrednim dostępem do urządzeń.

Inaczej klasyfikację wirtualizacji w artykuł „*Server virtualization architecture and implementation*”<sup>154</sup> opisuje i nazywa J. Daniels. Autor podaje, że istnieją 3 warianty maszyn wirtualnych VM:

1. **Programowa VM** (ang. *software virtual machines*) – zarządzanie interakcją odbywa się pomiędzy systemem operacyjnym hosta (host-OS), a systemem operacyjnym „gościa” (guest-OS).

Opisana architektura jest odpowiednikiem rozwiązania osadzonego VMM w nadrzędnym systemie operacyjnym (OS-hosted VMM), opisanego przez A. Stasiaka i Z. Skowrońskiego, w którym nadzorca uruchamiany jest w istniejącej warstwie systemu operacyjnego.

2. **Sprzętowa VM** (ang. *hardware virtual machines*) – wirtualna warstwa abstrakcji położona jest bezpośrednio na sprzęcie hosta.

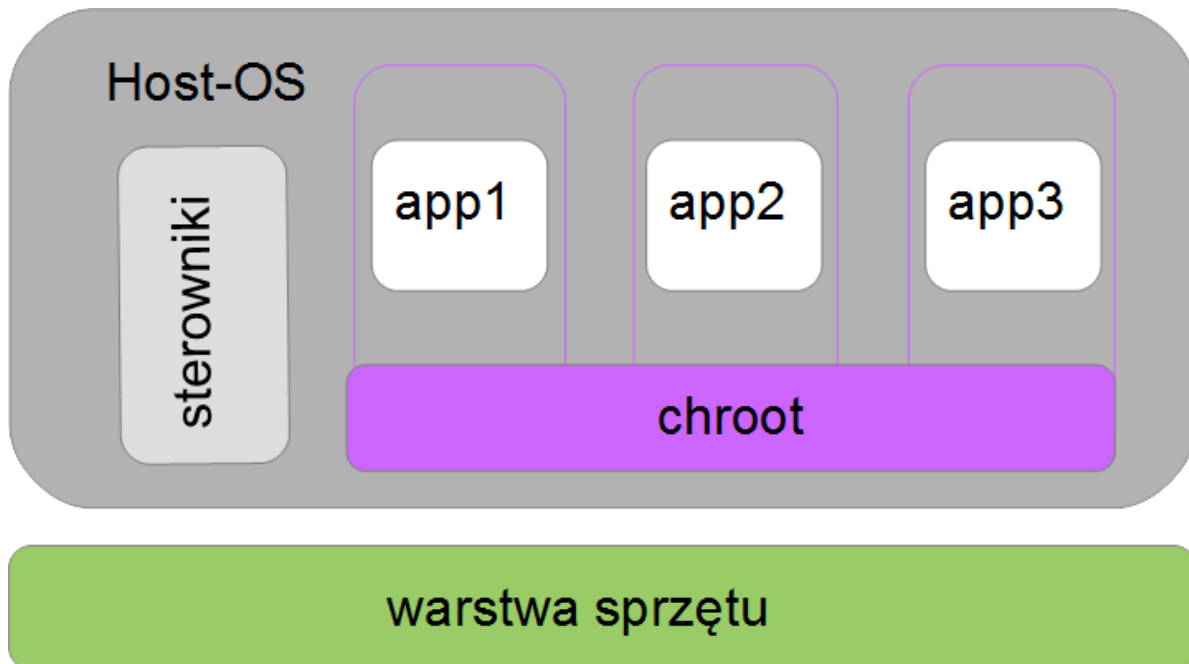
To podejście to opisanie powyżej przez A. Stasiaka i Z. Skowrońskiego VMM jako samodzielnego zarządcy.

---

<sup>153</sup> A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, *op. cit.*, s. 856.

<sup>154</sup> J. Daniels, *Server virtualization...*, *op. cit.*, s. 8-12.

3. **Kontenerowa VM** (ang. *virtual OS/containers*) - system operacyjny hosta jest podzielony na tzw. kontenery (pojemniki) lub strefy (rysunek 2.6).



**Rysunek 2.6. Kontenerowa maszyna wirtualna**

Źródło: J. Daniels, *Server virtualization...*, *op. cit.*, s. 8-12.

Jest to najmniej znana i rzadko opisywana w literaturze przedmiotu technologia maszyn wirtualnych nazywana również wirtualizacją z poziomu OS hosta, która odbywa się w systemie operacyjnym i w przeciwieństwie do poprzednich metod nie używa hypervisora (VMM). Wykorzystana jest tu funkcjonalność chroot<sup>155</sup> z systemów Unix, która pozwala na alternatywny dostęp do głównego systemu plików. To stwarza wrażenie „więzienia” (ang. *jail*) dla nowych lub nieznanych aplikacji<sup>156</sup>.

Zgodnie z przyjętą w niniejszej dysertacji definicją wirtualizacji jako „(...)trwałe rozdzielanie dwóch warstw każdego systemu komputerowego: warstwy sprzętu (hardware) i warstwy systemu operacyjnego (OS), na której zainstalowane są aplikacje (app) – rezydujących i pracujących w obrębie jednej maszyny cyfrowej. Oprócz starych komponentów dodatkem jest warstwa programowa – serce systemu - zwana hipernadzorcą lub hypervisorem (oprogramowanie zapewniające podstawowy interfejs umożliwiający obsługę sprzętu) albo monitorem maszyn wirtualnych (VMM), implementująca funkcjonalność sprzętu – komputer w komputerze”, technologia kontenerowa nie jest

<sup>155</sup> Uniksowe polecenie uruchamiające program ze zmienionym katalogiem głównym (root). Zmiana katalogu głównego może być przydatna podczas uruchamiania niepewnych programów, gdyż nie mają one wtedy dostępu do katalogu nadrzędnego względem nowego katalogu głównego.

<sup>156</sup> J. Daniels, *Server virtualization...*, *op. cit.*, s. 8-12.

wirtualizacją w pełnym tego słowa znaczeniu. Główna różnica tkwi w zasobach, które są współdzielone. W przypadku kontenerów współdzielony jest sprzęt oraz jądro systemu operacyjnego, podczas gdy wirtualizacja serwerów współdzieli tylko sprzęt, dlatego też M. Serafin w publikacji „*Wirtualizacja w praktyce*”<sup>157</sup> używa sformułowania „wirtualizacja oparta na współdzielonym jądrze” (gospodarza). Natomiast w praktyce, w przypadku technologii kontenerowej, można spotkać się z określeniem „lekka” wirtualizacja (ang. *Lightweight Virtualization*)<sup>158</sup>, co wskazuje, że termin „wirtualizacja” oznacza również współdzielenie danego zasobu przez wielu uczestników<sup>159</sup>. J. Daniels opisuje także parawirtualizację - nie jako typ ale jako wariant pełnej wirtualizacji systemu operacyjnego. Autor cytując A. Whitakera i innych pisze, iż ta technologia „unikaj wad pełnej wirtualizacji przedstawiając abstrakcyjną warstwę sprzętu jako podobną, a nie identyczną do rzeczywistej warstwy sprzętowej”<sup>160</sup>.

Temat wirtualizacji szeroko opisał A. S. Tanenbaum w książce „*Systemy operacyjne*”<sup>161</sup>. Autor podaje, że istnieją tylko dwa sposoby wirtualizacji dzieląc hypervisor na dwa rodzaje:

1. **Hipernadzorca typu 1** – system operacyjny (działający w trybie jądra), którego zadaniem jest obsługa wielu VM, zajmuje miejsce pomiędzy sprzętem komputera, a guest-OS, którym udostępnia zasoby sprzętowe.

A. S. Tanenbaum określenia monitor maszyn wirtualnych (VMM) używa w odniesieniu tylko do hipernadzorcy typu 1. Omawiany typ działa bezpośrednio na sprzęcie. VM działa jako proces użytkownika w trybie użytkownika. W związku z tym nie ma uprawnień do uruchamiania wrażliwych instrukcji<sup>162</sup>. Na maszynie wirtualnej działa system operacyjny „gościa”, który „uznaje”, że jest w trybie jądra, choć w rzeczywistości znajduje się w trybie użytkownika. Taki tryb określany jest mianem trybem wirtualnego jądra<sup>163</sup>. W efekcie system operacyjny w maszynie wirtualnej działa na wyższym poziomie niż hypervisor (dwa poziomy nad sprzętem). Maszyna wirtualna uruchamia także procesy użytkownika, które również „myślą”, że są w trybie użytkownika (i rzeczywiście w tym trybie się znajdują). Ten rodzaj wirtualizacji A. Stasiak i Z. Skowroński określają jako samodzielny VMM, a J. Daniels jako sprzętowy VM.

---

<sup>157</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce...*, *op. cit.*, s. 201.

<sup>158</sup> *Wirtualizacja kontenerowa w systemie Linux*, <http://forcore.pl/pl/node/58>, z dn. 2023.06.12.

<sup>159</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, *op. cit.*, s. 115.

<sup>160</sup> A. Whitaker, M. Shaw, S. D. Gribble, *Denali: Lightweight virtual machines for distributed and networked applications*, University of Washington, 2002.

<sup>161</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 671.

<sup>162</sup> Instrukcje opisane w kryterium Popka-Goldberga.

<sup>163</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 672.

2. **Hipernadzorca typu 2** – program użytkownika działający w systemie Windows lub Linux, który „interpretuje” zbiór instrukcji maszynowych i tworzy wirtualną maszynę, działa pod kontrolą systemu operacyjnego hosta (gospodarza) jak każda inna aplikacja.

Ten typ hypervisor to oprogramowanie, które działa jako konwencjonalna aplikacja w systemie operacyjnym. Traktując warstwę hypervisor jako oddzielną warstwę programową, można powiedzieć, że system operacyjny w maszynie wirtualnej działa na trzecim poziomie nad sprzętem (pomiędzy jest system operacyjny hosta i hypervisor). Kiedy hypervisor typu 2 uruchomi się po raz pierwszy, działa jak komputer, który włączony – spodziewa się znalezienia płyty CD-ROM z systemem operacyjnym w napędzie CD-ROM. Następnie instaluje system operacyjny na swoim wirtualnym dysku (w rzeczywistości jest to plik Windows lub Linux) poprzez uruchomienie programu instalacyjnego znalezionej na płycie CD-ROM. Kiedy system operacyjny „gościa” zostanie zainstalowany na dysku wirtualnym, może on się załadować i uruchomić<sup>164</sup>. Ten rodzaj wirtualizacji A. Stasiak i Z. Skowroński określają jako OS-hosted VMM, a J. Daniels jako programowa VM. Parawirtualizację A. S. Tatnenbaum opisuje jako alternatywę dla rozwiązań pełnej wirtualizacji. Omawianą technologię określa jako system operacyjny „gościa”, z którego celowo usunięto (niektóre) wrażliwe instrukcje<sup>165</sup>.

Warto także przytoczyć klasyfikację opisaną przez firmę Microsoft w swojej bazie wiedzy. Autor klasyfikacji podaje, że istnieją trzy ogólne architektury stosowane dla wirtualizacji serwera<sup>166</sup>:

1. **VMM typu 1** - warstwa VMM działa bezpośrednio na najwyższym poziomie sprzętu (firma Microsoft również rozróżnia nazwę hypervisor, stosując ją tylko w tym przypadku).
2. **VMM typu 2** – w tym przypadku celem wirtualizacji jest tworzenie środowiska uruchomieniowego, w którym proces może wykonywać zestaw instrukcji bez opierania się na systemie hosta. Izolacja dotyczy różnych procesów i pozwala, aby pojedyncza aplikacja była uruchamiana na różnych systemach operacyjnych bez martwienia się o zależności systemu operacyjnego. Wirtualizacja serwera nie należy do tej kategorii.

---

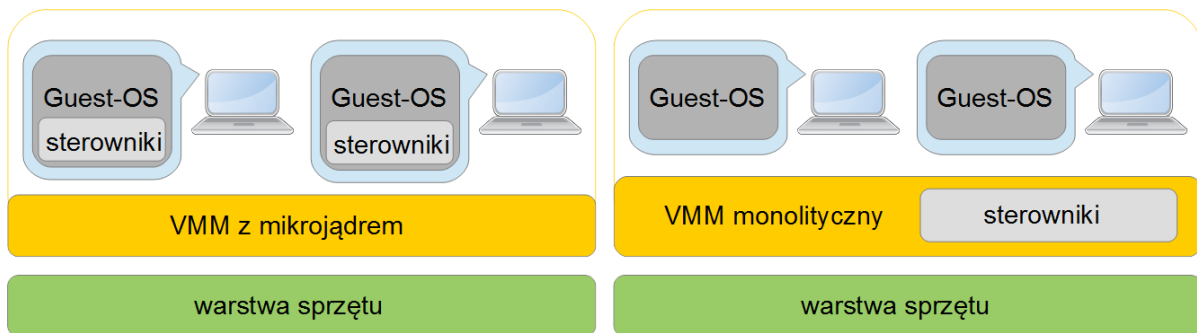
<sup>164</sup> *Ibidem*, s. 674.

<sup>165</sup> *Ibidem*, s. 675.

<sup>166</sup> D. Porowski, *Hyper-V – Architektura*, <https://technet.microsoft.com/pl-pl/library/architektura-hyper-v.aspx>, z dn. 2023.06.12.

3. **Hybrydowy VMM** - jest miejscem, w którym VMM jest uruchomiony równolegle z systemem operacyjnym hosta i pomaga tworzyć wirtualne maszyny w jego najwyższej warstwie.

Jest to podejście zbliżone najbardziej do opisanego przez A. Stasiaka i Z. Skowrońskiego. Natomiast w omawianej klasyfikacji został dodatkowo podzielony hypervisor typu 1 na dwa rodzaje (rysunek 2.7)<sup>167</sup> z mikrojądrem i monolityczny.



**Rysunek 2.7. Dwie metody budowania rozwiązań hypervisora**

Źródło: Na podstawie D. Porowski, *Hyper-V...*, *op. cit.*

1. **Z mikrojądrem** – w tym podejściu mamy do czynienia z bardzo uproszczonym, specjalizowanym hypervizorem, który wykonuje tylko podstawowe zadania izolacji partycji oraz zarządzania pamięcią. Ta warstwa nie obejmuje stosu wejścia/wyjścia lub sterowników urządzeń. W omawianej architekturze wirtualizacji sterowniki urządzeń właściwe dla sprzętu są umieszczone w specjalnej partycji zwanej partycją nadrzędną.
2. **Monolityczny** – rozwiązanie to zawiera hypervisor/VMM w pojedynczej warstwie, która obejmuje również większość wymaganych komponentów, takich jak jądro, sterowniki urządzeń oraz stos wejścia/wyjścia.

Odmienne podejście do klasyfikacji technologii maszyn wirtualnych zaprezentował A. Sołtysik w podrozdziale „Rozwiązania wspierające wirtualizację we współczesnej organizacji”<sup>168</sup> w monografii „Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT”, gdzie definiuje aż sześć typów wirtualizacji:

1. Emulacja i emulacja API.
2. Pełna wirtualizacja.
3. Parawirtualizacja.

<sup>167</sup> *Ibidem*, z dn. 2019.10.21.

<sup>168</sup> A. Sołtysik, *Rozwiązania wspierające...*, *op. cit.*, s. 131.



4. Wirtualizacja z poziomu systemu operacyjnego hosta.
5. Wirtualizacja na poziomie aplikacji.
6. Wirtualizacja desktopów VDI (ang. *Virtual Desktop Infrastructure*).

Autor w swoim opracowaniu zestawia ze sobą poszczególne architektury wirtualizacji razem z ich zastosowaniem (wirtualizacja aplikacji i desktopów). Taka klasyfikacja typów wirtualizacji wymaga rozdzielenia i uporządkowania, jednak jednoznacznie wskazuje jak wielowymiarowe może być pojmowanie tego tematu. Wszystkie przedstawione powyżej klasyfikacje różnią się od siebie i są niejednoznaczne. Jednak wspólną cechą jest ujęcie w każdej z nich dwóch podstawowych typów monitorów maszyn wirtualnych (VMM).

W pierwszym przypadku hypervisor znajduje się między warstwą hardware-u, a systemem operacyjnym „gościa”. Ta architektura w literaturze przedmiotu określana jest jako hypervisor typu 1, samodzielny, sprzętowy (ang. *hardware VM*) lub natywny. Zaletą hypervisora typu 1 jest lepsza wydajność, ponieważ nie jest potrzebny dodatkowy system operacyjny do uruchomienia hypervisora (działa on bezpośrednio na sprzęcie, ścieżki przepływu żądań między systemem „gość”, a urządzeniami wejścia/wyjścia są skrócone, a zestaw sterowników danej platformy dostarczany jest wraz z hipernadzorcą<sup>169</sup>). Poza tym nie ma ryzyka, że użytkownik zrobi coś nieodpowiedniego w systemie operacyjnym, w wyniku czego mogłaby spaść wydajność maszyn wirtualnych. Rozwiązanie jest także potencjalnie bardziej bezpieczne, choćby z tego względu, że użytkownik nie ma możliwości dostępu do podstawowego środowiska (hypervisora). Wadą jest ograniczona liczba kompatybilnego sprzętu oraz inwazyjna instalacja, w wyniku której usunięte zostaje całe oprogramowanie z komputera. Rozwiązanie lepiej sprawdzi się w sytuacji, gdy właścicielem urządzenia jest dział IT (to pozwala wybrać odpowiednie urządzenie znajdujące się na liście zgodności i daje pewności, że hypervisor będzie w nim zainstalowany), a użytkownicy nie są zmuszeni do zrozumienia specyfiki korzystania z maszyn wirtualnych, co ma miejsce w przypadku hypervisora typu 2<sup>170</sup>.

W przypadku drugiego typu VMM to system operacyjny pełni rolę hosta, mając pod kontrolą cały sprzęt i udostępnia go jedynie hypervisorowi (VMM). Ten typ określany jest jako hypervisor typu 2, programowy (ang. *software VM*) lub OS-hosted, a nawet zarządca, właściciel. Zaletą hypervisora typ 2 jest fakt, że działa on praktycznie na każdym komputerze

---

<sup>169</sup> T. Mendyk-Krajewska, Z. Mazur, H. Mazur, *Konkurencyjność rozwiązań wirtualnych infrastruktury informatycznej*, Ekonomiczne Problemy Usług nr 113, 2014, s. 262-271.

<sup>170</sup> R. Janus, *Kliencki hypervisor – VMware kontra Citrix*, <http://itfocus.pl/dzial-it/wirtualizacja/kliencki-hypervisor-vmware-kontra-citrix>, z dn. 2023.06.12.

z Windows, Linuksem lub Mac OS. Instalacja hypervisorów nie wymaga usunięcia istniejącego systemu operacyjnego, a użytkownik może sam zainstalować wybrany przez siebie hypervisor. Zaletą jest również możliwość przenoszenia VMM w zakresie innych systemów hosta. Rozwiązanie jednak nie jest potencjalnie tak bezpieczne, ponieważ działa w systemie operacyjnym, który może być zainfekowany wirusem, czy w inny sposób stwarzać zagrożenie. Nie daje również gwarancji wydajności. Przykładowo, użytkownik może uruchamiać w systemie hosta aplikacje zużywające dużo zasobów procesora. Wadą jest również konieczność zarządzania dwoma systemami operacyjnymi (systemem hosta i systemem w maszynie wirtualnej) i całkowite uzależnienie VMM od systemu hosta<sup>171</sup>. Hypervisor typu 2 sprawdzi się, gdy użytkownicy są na tyle doświadczeni, żeby zarządzać systemem operacyjnym hosta<sup>172</sup>. W obydwu przypadkach maszyny wirtualne muszą zachowywać się tak jak fizyczny sprzęt. W szczególności musi być możliwe ich uruchamianie – tak jak uruchamia się fizyczne komputery – oraz instalowanie na nich dowolnych systemów operacyjnych. Zapewnienie tej iluzji w wydajny sposób (bez konieczności wykonywania pełnej interpretacji) jest zadaniem hipernadzorcy<sup>173</sup>. Powyższe wady i zalety obydwu hypervisorów dobrze pokazują, że żaden z nich nie jest najlepszy w każdej sytuacji.

Przeprowadzona i przedstawiona analiza klasyfikacji wirtualizacji opisanych w literaturze, wskazuje, że dostępne opracowania są niepełne i niewystarczające. Dlatego też po dokonaniu przeglądu literatury, autorka niniejszej dysertacji proponuje podzielenie rozwiązań wirtualizacyjnych na następujące klasyfikacje, oddzielając metody wirtualizacji (ze względu na architekturę), od jej rodzajów, typów i zastosowań (serwer, desktop, aplikacje itp.), które będą opisane w dalszej części dysertacji:

1. Rozwiązania wirtualizacyjne (rozdzielenie ze względu na architekturę):
  - Emulacja (wirtualizacji podlega warstwa sprzętowa i programowa);
  - Wirtualizacja (wirtualizacji podlega tylko warstwa programowa);
2. Rodzaje emulacji (rozdzielenie ze względu na emulowane elementy):
  - Emulacja pełna (emulowane wszystkie elementy wirtualnego komputera);
  - Emulacja API (emulowany tylko interfejs aplikacji);
3. Rodzaje wirtualizacji (rozdzielenie ze względu na wirtualizowane elementy i dostęp VM do zasobów):

---

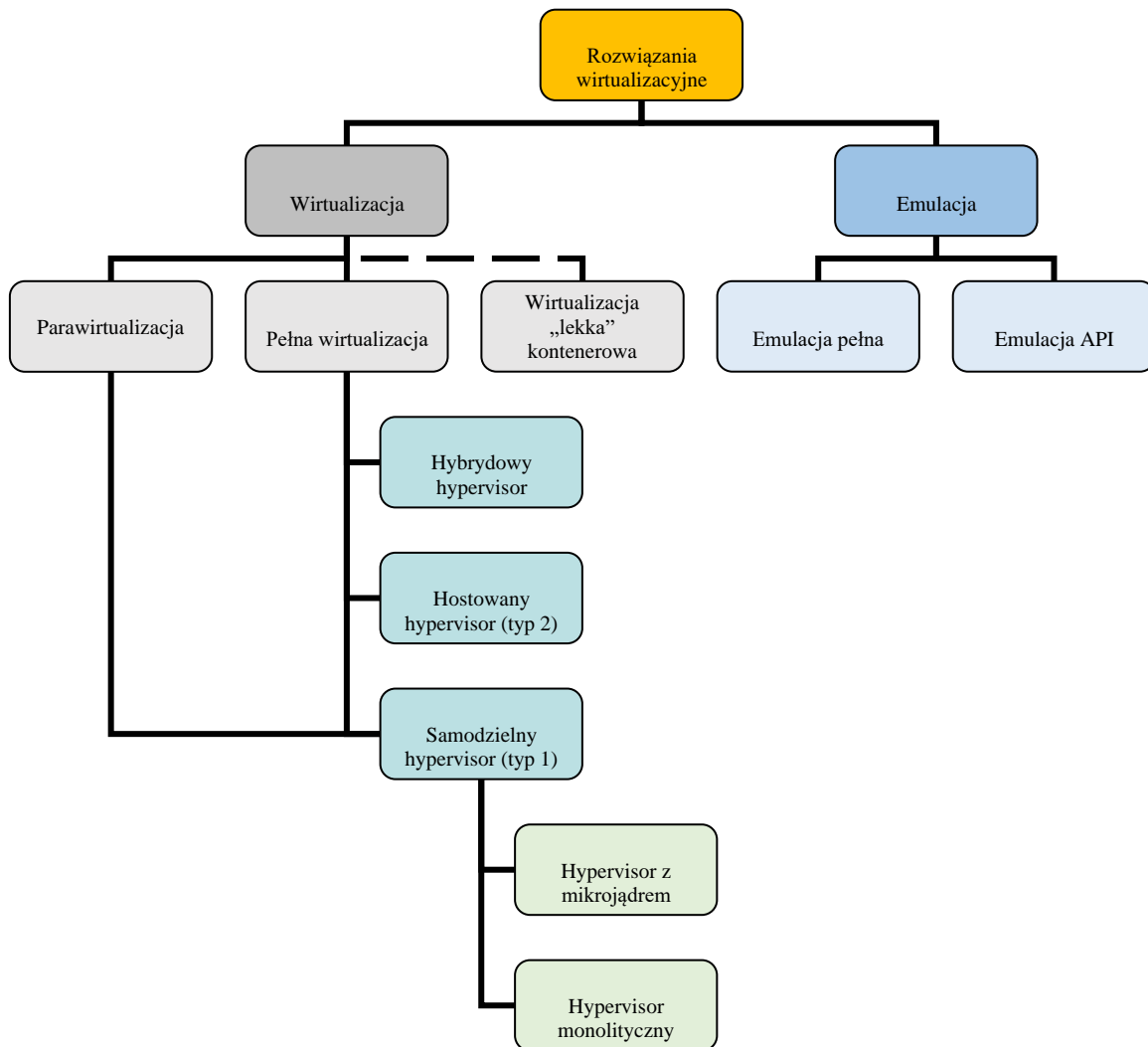
<sup>171</sup> T. Mendyk-Krajewska, Z. Mazur, H. Mazur, *Konkurencyjność rozwiązań...*, op. cit., s. 262-271.

<sup>172</sup> R. Janus, *Kliencki hypervisor...*, op. cit.

<sup>173</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, op. cit., s. 671.

- Pełna wirtualizacja (udostępnienie VM wszystkich zasób, VMM przekazuje instrukcje, zawiera wrażliwe instrukcje);
  - Parawirtualizacja (udostępnienie VM wybranych zasobów, VMM kontroluje instrukcje, brak wrażliwych instrukcji);
  - Wirtualizacja „lekka” na poziomie systemu operacyjnego (kontenery, brak VMM);
4. Typ hypervisor-a (rozdzielenie ze względu na rolę i położenie VMM):
- Samodzielny hypervisor (typ 1);
  - Hostowany hypervisor (typ 2);
  - Hybrydowy hypervisor;
5. Rodzaj hypervisora typu 1 (rozdzielenie ze względu na działanie samodzielnego VMM):
- Z mikrojądrem;
  - Monolityczny.

Powyższą klasyfikację można usystematyzować i przedstawić w postaci schematu (rysunek 2.8).



**Rysunek 2.8. Klasyfikacja rozwiązań wirtualizacyjnych**

Źródło: Na podstawie J. Daniels, *Server virtualization...*, op. cit., s. 8-12.; A. Sołtysik, *Rozwiązania wspierające...*, op. cit., s. 130-131; A. Stasiak, Z. Skowroński, *Wirtualizacja – kierunek...*, op. cit., s. 856; A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, op. cit., s. 671; D. Porowski, *Hyper-V...*, op. cit.

Każda z wymienionych technologii, sposobu wirtualizacji posiada pewne zalety i wady. Decyzja o wyborze właściwego rozwiązania podyktowana jest najczęściej wymaganiami stawianymi modelowi użycia systemu komputerowego w wybranym segmencie rynku, gdzie dane rozwiązanie będzie miało swoje zastosowanie. Ważnym aspektem są także procesy biznesowe w danej organizacji, jak również posiadane już zasoby sprzętowe i generowane przez nie koszty OPEX oraz potencjalny wydatek, który trzeba ponieść na wdrożenie CAPEX. W kolejnym podrozdziale opisane zostaną dostępne rozwiązania wirtualizacyjne na rynku IT, z zaznaczeniem tych, które są dostępne w modelu open source.

## 2.2.2. Komercyjne rozwiązania wirtualizacyjne

Posługując się powyższą klasyfikacją zaproponowaną i opisaną przez autorkę niniejszej dysertacji, w tym podrozdziale zostały przedstawione przykłady rozwiązań technologii wirtualizacji, dostępne na rynku IT wraz z ich krótką charakterystyką oraz wskazaniem rodzaju licencji. Omówione zostaną emulatory, rozwiązania parawirtualizacyjne i wirtualizacyjne z rozróżnieniem na typ. Przedstawiona również zostanie szeroka oferta technologii kontenerowej. Wskazane zostaną narzędzia najpopularniejsze, które często pojawiały się na rynku jak pierwsze w danym rodzaju i typie wirtualizacji.

Bochs to emulator komputera rodziny x86 na licencji GNU Lesser General Public License (LGPL)<sup>174</sup>. Umożliwia uruchamianie jednego systemu operacyjnego na systemach Unix/Linux, MS Windows (w wersji 32-bitowej), Mac OS X, AmigaOS, itp. Szybkość działania programu wewnątrz Bochs-a jest o wiele niższa niż wewnątrz programów wirtualizujących typu VMware (emulacja procesora). Bochs pozwala emulować nie tylko cały wirtualny komputer, ale także BIOS oraz konkretne modele procesorów wraz z ich sprzętowymi rozszerzeniami. Dodatkowo pozwala uruchamiać aplikacje takie jak i386 oraz AMD64 na innych architekturach, świetnie nadaje się zatem do rozwijania oraz debugowania oprogramowania do wirtualizacji.

QEMU to szybki emulator napisany przez Fabrice Bellarda i dostępny bezpłatnie (open source). QEMU umożliwia uruchomienie kilku OS jednocześnie na jednej maszynie. Dla systemu guest dostarczany jest w pełni emulowany kompletny komputer z wszystkimi peryferiami i podzespołami. Jest podobny do Bochs-a, jednak dzięki większej szybkości i obsługi wielu architektur CPU, korzystanie z niego wydaje się być bardziej efektywne.

Wine (ang. *Wine is not emulator*) to emulator API umożliwiający wykonywanie aplikacji przeznaczonych dla systemu operacyjnego MS Windows w środowisku OS klasy Unix (Linux, Solaris, FreeBSD). Przy pomocy bibliotek Wine można również przenosić niektóre aplikacje systemu MS Windows do natywnych plików binarnych systemu Unix. Początkowo był udostępniony na licencji MIT<sup>175</sup>. Od marca 2002 Wine jest licencjonowany na GNU LPGL.

---

<sup>174</sup> Licencja wolnego oprogramowania zaaprobowana przez FSF (Fundacja Wolnego Oprogramowania), zaprojektowana jako kompromis między otwartą licencją GNU GPL a liberalnymi licencjami jak licencja BSD lub licencja X11 (MIT).

<sup>175</sup> Licencja MIT (Licencja X11) – jedna z najprostszych i najbardziej liberalnych licencji otwartego oprogramowania. Daje użytkownikom nieograniczone prawo do używania, kopiowania, modyfikowania i rozpowszechniania (w tym sprzedaży) oryginalnego lub zmodyfikowanego programu w postaci binarnej lub

Microsoft Hyper-V to przykład pełnej wirtualizacji typu 1 z mikrojądrem. Jest to sztandarowe rozwiązanie wirtualizacyjne firmy Microsoft<sup>176</sup>. Narzędzie dostępne jest jako zewnętrzny program doinstalowany do Windows Server 2008 lub jako oddzielny produkt Microsoft Hyper-V Server, instalowany bezpośrednio na serwerze. Narzędzie jest odpowiedzią Microsoftu na rozwiązania VMware. Najnowsza wersja Hyper-V pozwala dynamicznie zarządzać zasobami fizycznej pamięci RAM oraz dysków twardych. Maszyny wirtualne pozwalają w prosty sposób tworzyć kopie bezpieczeństwa danych oraz serwerów uzyskując szybki i prosty sposób odtwarzania systemów po awarii. Narzędzie posiada darmową konsolę do zarządzania Virtual Machine Manager lub komercyjną System Center Virtual Machine Manager<sup>177</sup>, która pozwala zarządzać chmurą prywatną<sup>178</sup>.

Przykładem pełnej wirtualizacji typu 1 z hypervisorem monolitycznym jest VMware ESX/ESXi, wchodzące w skład całej platformy wirtualizacyjnej – vSphere, w której pełni najważniejszą rolę hipernadzorca<sup>179</sup>. VMware ESX/ESXi to jedno z najpopularniejszych rozwiązań wirtualizacyjnych będące obecnie liderem na rynku<sup>180</sup>. To komercyjne oprogramowanie, które opiera się na własnym jądrze systemu operacyjnego i używa zmodyfikowanego systemu Linux, posiada własne sterowniki, które obsługują specyficzny sprzęt komputerowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu omijany jest spory narzut wydajnościowy dodatkowej warstwy, jaką jest system operacyjny hosta (komputera fizycznego) stosujący własne algorytmy zarządzania zasobami. Jądro VMware bezpośrednio zarządza pamięcią i procesorami, co umożliwia mu przechwytywanie i obsługę wrażliwych lub niebezpiecznych instrukcji systemów gościa. Rozwiązanie oferuje również specjalną konsolę do zdalnego zarządzania vSphere Client (darmowy) i vCenter Client (komercyjny).

Pierwszą implementację architektury opartej na pełnej wirtualizacji typu 2 był system firmy VMware, który powstał na bazie projektu badawczego DISCO na Uniwersytecie w Stanford<sup>181</sup>. Jednym z przykładów jest VMware Workstation i jest to komercyjny pakiet oprogramowania. Najważniejszym jego składnikiem jest stacja robocza, składająca się z maszyny wirtualnej odpowiedniej dla komputera w architekturze x86, która pozwala na

---

źródłowej. Jedynym wymaganiem jest, aby we wszystkich wersjach zachowano warunki licencyjne i informacje o autorze.

<sup>176</sup> P. Karwatka i in., *Technologia w e-commerce. Teoria i praktyka. Poradnik menedżera*, HELION, Gliwice 2013, s. 181.

<sup>177</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce ...*, op. cit., s. 153.

<sup>178</sup> E. A. Cardoso, *Microsoft System Center Virtual Machine Manager 2012. Poradnik praktyczny*, APN Promise, Warszawa 2013, s. 7.

<sup>179</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce...*, op. cit., s. 59, 97.

<sup>180</sup> P. Karwatka i in., *Technologia w e-commerce...*, op. cit., s. 181.

<sup>181</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, op. cit., s. 673.

tworzenie i uruchamianie wielu wirtualnych komputerów jednocześnie. Systemem host może być Linux lub Windows, system guest może być dowolny. Pozwala na wirtualizację na architekturach i386 oraz AMD64.

Typ 2 i pełna wirtualizacja to także VMware Server, uprzednio VMware GSX Server – darmowe oprogramowanie przeznaczone do wirtualizowania serwerów. Instalowany w systemie Linux lub MS Windows, guest dowolny, obsługuje większość sprzętu komputerowego rozpoznawanego przez macierzysty system operacyjny. Działa na architekturach i386 oraz AMD64. Wydajność stoi na dobrym poziomie, produkt ten jest przeznaczony jedynie na rynek serwerów i został pozbawiony jakichkolwiek rozwiązań związanych z pracą w stacjach roboczych, czy desktopach. Nadaje się do prostej wirtualizacji co najwyżej kilku systemów, dobrze nadaje się jako platforma testowa<sup>182</sup>. VMware Server pozwala zarządzać maszynami wirtualnymi przez interfejs przeglądarki stron www, czy też specjalną konsolę zdalną. Z punktu widzenia logiki działania produkt VMware Server jest bardzo podobny do opisanego poniżej VirtualBoxa<sup>183</sup>.

Podobną architekturę (hipernadzorca typu 2) reprezentuje VirtualBox. Narzędzie zostało stworzone przez niemiecką firmę Innotek dla systemów x86 i x64 MS Windows, Mac OS X oraz Linux. Obecnie obsługuje również OpenSolaris oraz teoretycznie na FreeBSD. System guest może być dowolny. VirtualBox oferuje wirtualizację na architekturach i386 oraz AMD64. W 2008 Sun Microsystems ogłosił przejęcie firmy Innotek, a w 2010 Sun został przejęty przez Oracle Corporation. VirtualBox dostępny jest w dwóch wariantach: jako wersja komercyjna oraz darmowa, wydana na licencji GPL v.2 (pozbawiona kilku funkcji). W wersji komercyjnej można używać za darmo w zastosowaniach domowych i tzw. ewaluacyjnych<sup>184</sup>.

Microsoft VirtualPC posiada również hypervisor typu 2. Program został wyprodukowany przez firmę Connectix koncentrującą się na oprogramowaniu do komputerów Apple. VirtualPC kupiony został w 2003 roku przez firmę Microsoft. VirtualPC dla MacOS X nie jest już produkowany i sprzedawany, ponieważ firma Microsoft nie chciała dalej implementować rozwiązań pod procesor Intela, który jest podstawą dzisiejszych Macintosh-y. Obecnie VirtualPC nie jest rozwijany, a jego następcą jest Windows Virtual PC

---

<sup>182</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce...*, op. cit., s. 69.

<sup>183</sup> *Ibidem*, s. 59.

<sup>184</sup> *Ibidem*, s. 19.

na licencji open source. Jest to proste narzędzie „dla użytkownika”, świetnie nadaje się do budowania środowisk testowych<sup>185</sup>.

Xen to rozwiązanie parawirtualizacyjne, jest to monitor maszyn wirtualnych VMM wydany na licencji open source, opracowany na Uniwersytecie Cambridge, dalszym rozwojem produktu zajmowała się firma XenSource, a obecnie w rozwój platformy Xen komercyjnie zaangażowana jest firma Citrix, która przejęła XenSource<sup>186</sup>. Komercyjne rozwiązanie Citrix XenServer wykorzystuje Xen jako technologię wirtualizacji i dodaje do niej między innymi oprogramowanie ułatwiające zarządzanie<sup>187</sup>. Swoją popularność Xen zawdzięcza faktowi, że zajmuje stosunkowo niewiele zasobów sprzętowych. Systemy operacyjne działające pod jego kontrolą w trybie parawirtualizacji muszą zostać odpowiednio zmodyfikowane (przeportowane na specjalną architekturę Xen), dlatego nadaje się do wirtualizacji sprzętu dla systemów z dostępnym kodem źródłowym. Xen jest wykorzystywany także przez firmę Amazon do świadczenia usługi przetwarzania w chmurze w ramach usługi Elastic Compute Cloud (Amazon EC2).

Linux VServer to technologia wirtualizacji na poziomie systemu operacyjnego (kontenerowa), jest to implementacja dla platformy Linux. Zasoby komputera fizycznego jak pamięć, czas procesora, interfejsy sieciowe są dzielone poprzez tworzenie tzw. partycji. Maszyny wirtualne są od siebie odizolowane, każdy z nich posiada osobną bazę użytkowników, procesów, strukturę katalogów ale własnego odrębnego adresu IP już nie można przydzielić, gdyż z VServer nie zapewnia wirtualizacji stosu sieciowego. Mechanizm ten podobny jest do rozwiązania BSD-Jail (opisanego poniżej). Oprogramowanie Linux-VServer jest tworzone jako rozszerzenie funkcjonalności jądra systemu Linux i dystrybuowane w oparciu o licencję GPL<sup>188</sup>.

Technologia kontenerowa to także Linux OpenVZ – otwarta platforma „lekkiej” wirtualizacji systemu operacyjnego dla Linuxa. Rozwiązanie Linux OpenVZ jest konkurencyjnym rozwiązaniem dla Linux VServera, również wykorzystuje jądro systemu Linux, aby serwować wirtualne instancje na nim oparte. OpenVZ w porównaniu z VServer jest rozwiązaniem o wiele dojrzałym i elastycznym, zapewniając wydajność na tym samym poziomie. Posiada o wiele więcej możliwości zarządzania, a przez wirtualizację stosu sieciowego oraz wirtualnych systemów plików zapewnia, że wszystkie aplikacje będą działać w wirtualnych instalacjach prawidłowo. OpenVZ jest darmową (GPL v.2) podstawą dla

---

<sup>185</sup> *Ibidem*, s. 141.

<sup>186</sup> *Ibidem*, s. 215.

<sup>187</sup> P. Karwátka i in., *Technologia w ecommerce...*, op. cit., s. 181.

<sup>188</sup> J. Kosiński, *Zarządzanie zasobami gridowymi z użyciem parawirtualizacji*, AGH w Krakowie, 2009, s. 38.



komercyjnego oprogramowania Virtuozzo, dostarczanego przez firmę Parallels<sup>189</sup>. Parallels koordynuje projekt OpenVZ, ale nie daje komercyjnego wsparcia jego użytkownikom.

Kontenery Solarisa (ang. *Solaris Containers*) są technologią dostępną począwszy od Solaris 10. Jest to implementacja, która pozwala tworzyć maszyny wirtualne odseparowane od systemu hosta, posiadające własnych użytkowników, własne usługi i procesy, ale z izolacją od procesorów systemu hosta. Każda taka instalacja może być dowolnie zmodyfikowana wersją systemu Solaris. Każda z takich maszyn korzysta bezpośrednio z jądra systemu host. Obecnie na licencji CDDL<sup>190</sup>.

Free BSD Jails to mechanizm umożliwiający administratorom systemu podział systemu komputerowego opartego na FreeBSD na kilka niezależnych mini-systemów zwanych więzieniami. Mechanizm FreeBSD Jail jest częścią samego systemu operacyjnego i można go uaktywnić w dowolnej chwili. Pozwala bezpiecznie odseparować każdą wirtualną maszynę zarówno od pozostałych maszyn, jak i od systemu host. Każdy kontener może posiadać swój adres IP i odpowiednio zmodyfikowany system FreeBSD w swoim katalogu. Każda maszyna korzysta i komunikuje się bezpośrednio z jądrem systemu host, pamięć jest dynamicznie przydzielana według potrzeb. Rozwiązanie to, podobnie jak system FreeBSD, rozwijane jest na licencji BSD<sup>191</sup>.

Prekursorem i zdecydowanym światowym liderem rynku w dziedzinie wirtualizacji (ale także chmur obliczeniowych) jest firma VMware, która wyznacza kierunki rozwoju i nieustająco tworzy nowe standardy. Natomiast prócz rozwiązań VMware istnieje całe portfolio produktów wirtualizacyjnych dostępnych w różnych modelach licencjonowania. W tym podpunkcie zostały przedstawione te najpopularniejsze – podsumowane i przedstawione w tabeli poniżej (tabela 2.1).

---

<sup>189</sup> M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce...*, op. cit., s. 201.

<sup>190</sup> CDDL (ang. *Common Development and Distribution License*) - bezpłatna licencja na oprogramowanie open-source, wyprodukowana przez firmę Sun Microsystems, oparte na licencji Mozilla Public License (MPL).

<sup>191</sup> Licencja BSD lub BSDL (ang. *Berkeley Software Distribution License*) – jedna z licencji zgodnych z zasadami wolnego oprogramowania. Licencja BSD skupia się na prawach użytkownika. Jest bardzo liberalna, zezwala nie tylko na modyfikacje kodu źródłowego i jego rozprowadzanie w takiej postaci, ale także na rozprowadzanie produktu bez postaci źródłowej czy włączenia do zamkniętego oprogramowania, pod warunkiem załączenia do produktu informacji o autorach oryginalnego kodu i treści licencji.

**Tabela 2.1. Zestawienie technik wirtualizacji**

Nazwa	Technologia	Twórca	Host OS	Guest OS (VM)	Licencja
Bochs	emulacja	Kevin Lawton, później projekt społeczny	Linux, Windows, Mac OS X, Android, iOS, Windows Mobile, BeOS, MorphOS, OS/2, AmigaOS	DOS, Linux, Windows, Mac OS X, BDS (FreeBSD, OpenBSD, NetBSD), OS/2, Haiku	open source -GPL/LGPL
QEMU	emulacja	Fabrice Bellard	Linux, Windows, Solaris, FreeBSD, OpenBSD	DOS, Linux, Windows, Mac OS X, Solaris, FreeBSD, OpenBSD, BeOS	open source -GPL/LGPL
Wine	Emulacja API	bd.	Linux, Solaris, FreeBSD	Windows	open source -GPL/LGPL
Microsoft Hyper-V (2008 i 2012)	pełna wirtualizacja typ 1 (z mikrojądrem)	Microsoft	Windows (od 8), Windows Server (od 2008), Hyper-V Server	Windows (od XP), Windows Server (od 2000), FreeBDS, Linux	zastrzeżona - komercyjna
VMware ESX/ESXi (vSphere)	pełna wirtualizacja typ 1 (monolityczny)	VMware	brak	Linux, Windows, Solaris, FreeBSD, OS/2, BeOS, Haiku	zastrzeżona - komercyjna
VMware Workstation	pełna wirtualizacja typ 2	VMware	Linux, Windows	Linux, Windows, Solaris, FreeBSD, OS/2, BeOS, Haiku	zastrzeżona – open source (Workstation Player) i komercyjna (Workstation Pro)
VMware Server	pełna wirtualizacja typ 2	VMware	Linux, Windows	Linux, Windows, Solaris, FreeBSD, OS/2, BeOS, Haiku	zastrzeżona – niektóre podstawowe składniki są open source
VirtualBox	pełna wirtualizacja typ 2	Innotek, obecnie Oracle	Linux, Windows, Mac OS X, Solaris, FreeBSD	DOS, Linux, Windows, Mac OS X, FreeBSD, OpenBSD, OS/2, Haiku, Solaris	open source – GPL v.2, pełna wersja z dodatkowymi funkcjami jest zastrzeżona - komercyjna
Microsoft VirtualPC (później Windows Virtual PC)	pełna wirtualizacja typ 2	Connectix, obecnie Microsoft	Windows 7	Windows(od XP), Windows Server (od 2003)	zastrzeżona - open source (Windows), komercyjna (MacOS X)
Xen	parawirtualizacja	University of Cambridge, obecnie Citrix	Linux/Unix	Linux, Windows (od XP), Windows Server 2008, FreeBSD, NetBSD, Solaris	open source – GPL v.2 zastrzeżona – komercyjna (Citrix XenServer)
Linux VServer	kontenerowa	Projekt społecznościowy	Linux	Linux	open source – GPL v.2
Linux OpenVZ	kontenerowa	Projekt społecznościowy, wspierany przez SWsoft, obecnie Parallels	Linux	Linux	open source – GPL v.2
Solaris Containers	kontenerowa	Sun Microsystems, obecnie Oracle	Solaris (od 10), OpenSolaris	Linux, Solaris (od 8)	open source - CDDL
Free BSD Jail	kontenerowa	FreeBSD	FreeBSD	Linux, FreeBSD	open source - BSD/BSDL

Źródło: Na podstawie P. Karwatka i in., *Technologia w ecommerce ...*, op. cit., s. 182; J. Kosiński, *Zarządzanie zasobami ...*, op. cit., s. 38; M. Serafin, *Wirtualizacja w praktyce ...*, op. cit., s. 59, 69, 97, 153, 201; A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne ...*, op. cit., s. 673.

Oprócz konkretnych rozwiązań technologicznych, które każdy z administratorów może z powodzeniem implementować we własnych serwerowniach i w całej infrastrukturze IT, coraz większą popularnością cieszą się dzierżawy serwerów w modelu Cloud Computing (IaaS). Takie rozwiązanie jest coraz częściej stosowane i daje możliwość pracy w trybie dualnym – maszyny krytyczne ze względu na wrażliwe i istotne z punktu widzenia organizacji dane pozostają na fizycznych serwerach (często w ramach technologii wirtualizacji) znajdujących się w lokalizacji organizacji, zaś pozostałe zasoby są hostingowane.

Firmy zajmujące się hostingiem maszyn oferują pełne portfolio usług – od możliwości wykupienia hostingu www i rejestrację oraz transfer domen, przez dzierżawę serwera dedykowanego, po dostęp do chmury publicznej lub prywatnej. Takie kompleksowe podejście pozwala potencjalnemu klientowi wybrać usługę najlepiej dostosowaną do jego potrzeb. Ponadto „chmury” dostarczane są wraz z całym zestawem specjalistycznych paneli i narzędzi, których użycie jest znacznie prostsze niż konfiguracja serwerów na fizycznych zasobach. Ważną kwestią jest możliwość dokupienia dodatkowych zasobów na żądanie – o każdej porze dnia i nocy, praktycznie za pomocą kilku dodatkowych kliknięć (i opłacie) można w prosty sposób zamówić nowy zasób lub rozszerzyć istniejący. Nie wymaga to zakupu i konfiguracji sprzętu, dlatego też rozwiązanie budzi coraz większą sympatię wielu administratorów i menedżerów działu IT.

Zatem organizacja decydując o optymalizacji swoich zasobów IT poprzez wdrożenie wirtualizacji, niekoniecznie musi inwestować we własną infrastrukturę i zakup konkretnego narzędzia (ewentualnie implementację rozwiązania open source). Zawsze ma alternatywę w postaci przejścia do chmury i dzierżawy odpowiedniej usługi u dostawcy. Powinien pamiętać o tym każdy menedżer IT, podejmując decyzję o wyborze rozwiązania wirtualizacyjnego.

### **2.3. Zastosowanie wirtualizacji w praktyce**

Wirtualizacja to szerokie pojęcie odnoszące się głównie do technologii i może obejmować różne rozwiązania. Gdy przyjmiemy, że wirtualizacja oznacza również współdzielenie danego zasobu przez wielu uczestników<sup>192</sup>, to termin można używać także w odniesieniu nie tylko do serwerów i desktopów, ale także do gospodarki, kultury i edukacji (w tym wirtualizacja książek), społeczeństwa, polityki i prawa<sup>193</sup>, jak również do marketingu<sup>194</sup>. W niniejszym

---

<sup>192</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, op. cit., s. 115.

<sup>193</sup> L. W. Zacher (red.), *Wirtualizacja. Problemy, wyzwania, skutki*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2013.

podrozdziale zostaną jednak opisane zastosowania technologiczne takie jak wirtualizacja serwerów, desktopów, aplikacji, prezentacji, pamięci i sieci.

### 2.3.1. Wirtualizacja serwerów

Najczęstszym zastosowaniem omawianej technologii jest konsolidowanie obciążeń pracą dużej liczby osobnych serwerów fizycznych (co zostało szeroko opisane w niniejszej dysertacji przy definiowaniu pojęcia wirtualizacji), których zasoby są w niskim stopniu wykorzystywane, a następnie ich izolowanie i gromadzenie z wykorzystaniem mniejszej liczby tego typu urządzeń. W ten sposób można osiągnąć natychmiastowy spadek kosztów operacyjnych. Technologia wirtualizacji serwerów w większości centrów danych od dawna nie jest postrzegana jako tylko modny trend, lecz stała się koniecznością i powszechnie przyjętym standardem. Trudno znaleźć serwerownię, w której nie pracowałby chociaż jeden hypervisor hostujący maszyny wirtualne lub firmę, która nie korzystałaby z dzierżawy serwerów wirtualnych w ramach usług Cloud Computing (np.: IaaS oraz PaaS). Trudno nie dostrzec korzyści wynikających z wdrożenia wirtualizacji, takich jak obniżenie całkowitych kosztów utrzymania infrastruktury sprzętowej, czy zwiększenie elastyczności całego środowiska informatycznego. Coraz większe możliwości obliczeniowe serwerów oraz dojrzałość i pełniejsza znajomość technologii wirtualizacji sprzyjają podejmowaniu decyzji o wirtualizacji kolejnych systemów w centrach danych. Mając na uwadze masowość i skalę wdrożeń technologii wirtualizacji serwerów, coraz większego znaczenia zaczyna nabierać konieczność posiadania odpowiednich narzędzi do zarządzania i zapewnienia bezpieczeństwa tego typu środowiskom. Wdrożenie technologii wirtualizacji serwerów kładzie w centrum danych solidny fundament pod platformę hostingową dla wirtualnych desktopów i aplikacji<sup>195</sup>, które będą opisane w kolejnych podpunktach tego rozdziału.

Wirtualizacja serwera tworzy środowisko zawierające osobne systemy operacyjne (różnej klasy) – maszyny wirtualne, które są logicznie odizolowane od serwera głównego. Pozwala to na efektywniejsze wykorzystanie zasobów zapewniając jednocześnie izolację i bezpieczeństwo (rysunek 2.9).

---

<sup>194</sup> G. Mazurek, *Znaczenie wirtualizacji marketingu w sieciowym kreowaniu wartości*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2012.

<sup>195</sup> S. Pomorski, *Więcej wirtualizacji...*, *op. cit.*



### **Rysunek 2.9. Wirtualizacja serwera**

Źródło: <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Powyższa koncepcja wskazuje na ideę wirtualizacji, czyli na rozdzielanie warstw – w jednej znajdują się VM, w drugiej serwer fizyczny hosta.

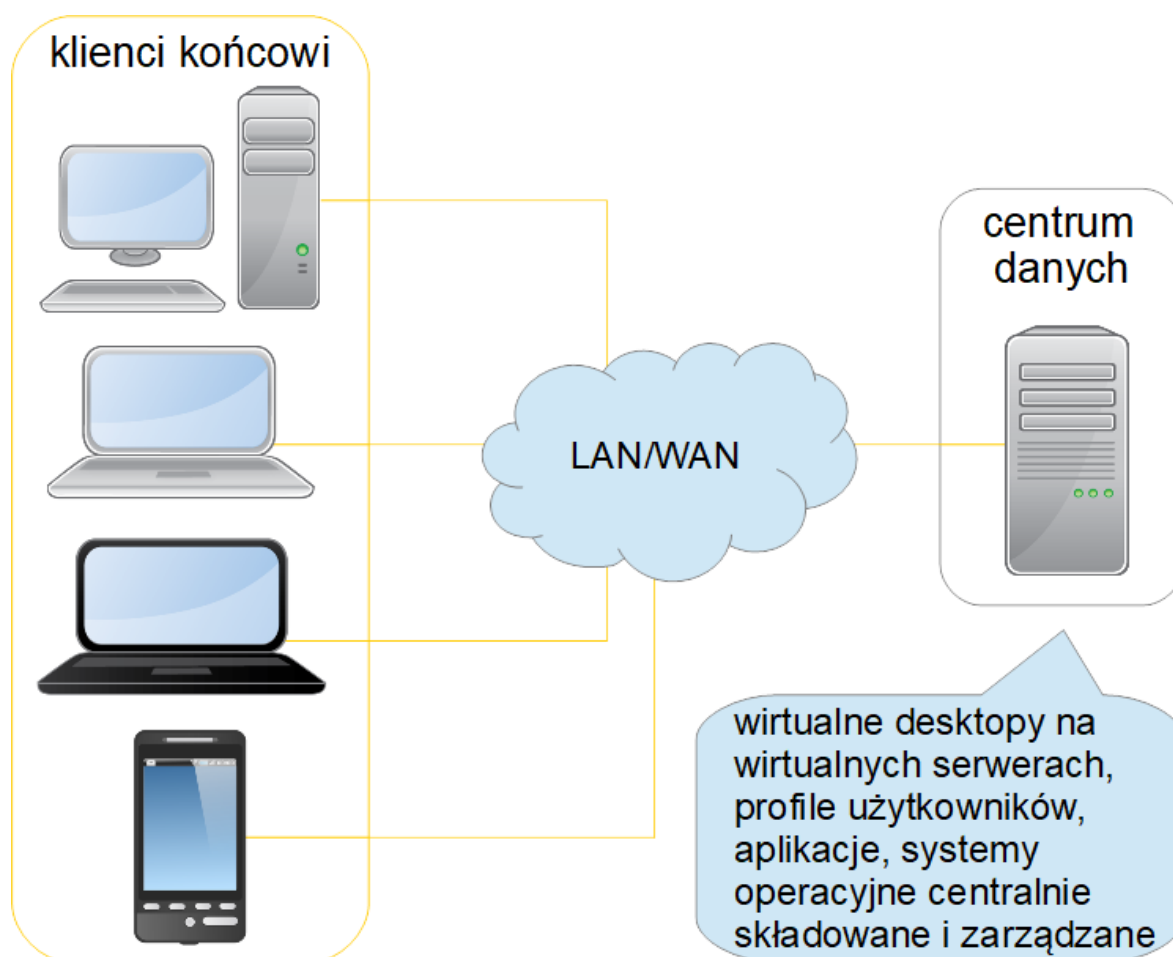
Konsolidacja serwerów jest ciągłym procesem, a nie stanem i powinna być początkiem globalnych zmian implementacji wirtualnych rozwiązań w całą infrastrukturę danej organizacji. We wczesnej fazie wdrażania technologii wirtualizacji firmy, które są dopiero na początku tego procesu, powinny skoncentrować się na krytycznych obciążeniach produkcyjnych ale nie kluczowych dla biznesu. W ten sposób można osiągnąć pierwsze korzyści, opanowując jednocześnie efektywne zarządzanie wirtualnymi i fizycznymi serwerami wchodzącymi w skład infrastruktury. W miarę rozwoju procesów i zdobywania nowej wiedzy przez pracowników, konsolidację można zacząć przeprowadzać w sposób bardziej aktywny, z uwzględnieniem aplikacji istotnych z biznesowego punktu widzenia. Na tym etapie korzyści w zakresie odzyskiwania danych i zapewnienia ciągłej działalności firmy stają się ważniejsze od redukcji kosztów. Kiedy organizacja opanuje zarządzanie krytycznymi i taktycznymi obciążeniami pracą w ramach racjonalizowanej infrastruktury serwerów, może wykorzystać wirtualizację w celu dynamicznego przyporządkowywania zasobów. Zwiększa to elastyczność, podnosząc tym samym strategiczną wartość wdrażanej technologii dla przedsiębiorstwa. Z odpowiednimi narzędziami i procesami biznesowymi opartymi o zbiory reguł można uzyskać niezwykle elastyczną infrastrukturę IT, która wspomaga działalność biznesową, zmniejszając jednocześnie koszty jej prowadzenia<sup>196</sup>. Temu zagadnieniu, czyli opracowaniu modelu wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych w organizacji, został poświęcony ostatni rozdział niniejszej dysertacji.

---

<sup>196</sup> [http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie\\_wirtualizacji.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie_wirtualizacji.mspix), z dn. 2019.10.21.

### 2.3.2. Wirtualne środowisko desktopów

Doświadczenia zdobyte przez zespoły IT przy wdrażaniu wirtualizacji serwerów oraz korzyści z tego wynikające, przekonują coraz bardziej do wirtualizacji stacji roboczych w centrach danych – idea określana jest jako technologia VDI (ang. *Virtual Desktop Infrastructure*). Również w tych obszarach szeroko pojęta wirtualizacja oferuje wiele ciekawych zastosowań i możliwości. Przede wszystkim scentralizowane zarządzanie stacjami roboczymi, bezpieczeństwo oraz ochronę danych. Wirtualizacja komputera biurowego polega na utworzeniu osobnego środowiska (z własnym systemem operacyjnym) na komputerze biurowym. Umożliwia to uruchamianie starych, niekompatybilnych programów lub aplikacji biznesowych na bardziej aktualnym systemie operacyjnym<sup>197</sup>. Wirtualne desktopy rezydują na serwerach w centrum przetwarzania danych, a użytkownicy końcowi łączą się z nimi zdalnie z różnych urządzeń i miejsc (rysunek 2.10).



**Rysunek 2.10. Idei pracy w wirtualnym środowisku desktopów**

Źródło: Na podstawie S. Pomorski, *Więcej wirtualizacji...*, op. cit.

<sup>197</sup> <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Na urządzeniach końcowych nie działają żadne aplikacje i nie są przetwarzane jakiegokolwiek dane – wszystko przetwarzane i składowane jest w centralnej pamięci masowej, a do połączenia niezbędne jest jedynie szyfrowane łącze internetowe LAN/WAN,. Użytkownicy nie mają często świadomości, że pracują w wirtualnym środowisku – prawidłowo skonfigurowany wirtualny desktop zapewnia taki sam komfort (w tym wydajność) pracy jak jego fizyczny odpowiednik.

Można wymienić kilka powodów, dla których organizacje wdrażają wirtualizację desktopów<sup>198</sup>. Przede wszystkim zastosowanie technologii VDI implikuje znacznym skróceniem czasu odpowiedzi IT na pojawiające się potrzeby biznesowe. To, jak szybko możliwe będzie otwarcie nowego oddziału firmy i dostarczenie gotowych do pracy desktopów pracownikom, czy nowych aplikacji, jest często kluczowe i daje przewagę biznesową nad konkurencją. Mając technologię wirtualizacji desktopów, można wykonać te zadania w kilka godzin lub dni, zamiast tygodni lub miesięcy, oszczędzając czas i środki finansowe. Kolejnym argumentem przemawiającym za wirtualizacją desktopów, zwłaszcza w niektórych branżach, jest nacisk kładziony na bezpieczeństwo i ochronę danych. Bezpieczeństwo jest dla wielu organizacji kluczowe — firmy deweloperskie i ich własność intelektualna, organizacje finansowe i dane klientów, jednostki służby zdrowia przetrzymujące dane pacjentów — we wszystkich tych instytucjach centralizacja danych pozwala je lepiej chronić, niż gdyby były przechowywane na lokalnych stacjach roboczych. Centralizacja to również lepsze i łatwiejsze zarządzanie. Wdrożenie wirtualizacji desktopów i aplikacji pozwala zaoszczędzić do 50% czasu wymaganego na czynności administracyjne<sup>199</sup>. Coraz ważniejsza staje się także możliwość dostępu do danych i aplikacji z dowolnego miejsca. Żyjąc w czasach globalnej gospodarki, często zadania biznesowe są realizowane w podróży. Pracownicy często też zmieniają miejsce swojej pracy między oddziałami firmy rozszanymi po całym świecie, w różnych strefach czasowych. W ostatnich latach zmienił się styl pracy, konieczna w czasie pandemii COVID-19 i popularna obecnie stała się praca zdalna. Dzięki elastycznemu, zdalnemu dostępowi nie trzeba znajdować się w biurze, aby wykonywać swoje obowiązki.

Wirtualizacja zasobów informatycznych, a w szczególności jej zastosowanie w odniesieniu do desktopów, znalazła swoje zastosowanie również w usługach e-learningu. Dostęp do laboratoriów specjalistycznych i bezpośrednia obserwacja wykonywanych zadań

---

<sup>198</sup> S. Pomorski, *Więcej wirtualizacji...*, *op. cit.*

<sup>199</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.04.28.

przez uczniów lub studentów są bardzo ważnymi czynnikami w kształtowaniu na odległość<sup>200</sup>. Powszechnie dostępne platformy e-learningowe są projektowane do samodzielnej pracy studenta lub ucznia. Brak możliwości pomocy oraz kontroli jest głównym problemem w zdalnym nauczaniu, gdyż nie zapewnia interakcji pomiędzy uczniem, a nauczycielem. Rozwiązaniem tego problemu jest udostępnienie identycznych wirtualnych maszyn dla każdego studenta, wykorzystujących wzorcowy, stworzony dla celów poszczególnych przedmiotów obraz, co zostało zaprezentowane na poniższym rysunku (rysunek 2.11).



**Rysunek 2.11. Wirtualizacja desktopów**

Źródło: <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Powyższa koncepcja to powielanie identycznych obrazów wielu użytkownikom, które można udostępniać praktycznie w dowolnym miejscu na świecie, co pozwala na reedukację sprzętu fizycznego. W drugim etapie powstaje wirtualna maszyna instruktorska, która ma dodatkowo wbudowane narzędzie do zarządzania maszynami studenckimi. Dzięki zintegrowanemu systemowi prowadzący jest w stanie z jednego miejsca zarządzać każdą studencką maszyną, przekazywać treści wykładu lub ćwiczeń za pomocą pokazów i prezentacji oraz wspomagać studenta przy wykonywaniu zadań, tak jakby znajdowali się obaj w stacjonarnym laboratorium lub sali wykładowej<sup>201</sup>.

Wdrożenie desktopów sprawdziło się również w środowisku akademickim, co zostało opisane przez A. Rota i P. Chrobaka w artykule „*Wirtualizacja infrastruktury informatycznej w środowisku akademickim. Studium przypadku z zastosowaniem technologii VDI*”<sup>202</sup>. Autorzy artykułu opisują proces budowy chmury prywatnej na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu, nie tylko do obsługi procesów wewnętrznych, lecz także do dostarczania

---

<sup>200</sup> L. Pyzik, *Wirtualizacja na usługach e-learningu*, „e-mentor” nr 1(33), 2010, s. 48.

<sup>201</sup> *Ibidem*, s. 50.

<sup>202</sup> A. Rot, P. Chrobak, *Wirtualizacja infrastruktury informatycznej w środowisku akademickim. Studium przypadku z zastosowaniem technologii VDI*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie nr 26, 2017, s. 167–177.



studentom zwirtualizowanych stacji roboczych w modelu DaaS. Jako autorzy koncepcji przebudowy infrastruktury IT, zgodnej ze strategią rozwoju uczelni na latach 2010-2020, kierowali pracami wdrożeniowymi, które objęły ponad 300 terminali i ponad 500 zwirtualizowanych systemów udostępnianych studentom w 11 laboratoriach. Prace pozwoliły na zastosowanie w procesie dydaktycznym najnowszych narzędzi. Zakup nowoczesnego sprzętu umożliwił realizować znacznie bogatszy wachlarz scenariuszy w programie laboratoriów. Jednocześnie elastyczność zaplecza sprzętowego pozwoliła prowadzącym w taki sposób dobierać konfiguracje laboratoryjne, aby pokrywać możliwie szeroką gamę zagadnień. Dzięki temu studenci są nie tylko w stanie rozwiązywać omówione w trakcie zajęć problemy, ale także uczą się samodzielnej pracy ze sprzętem<sup>203</sup>.

W literaturze przedmiotu można spotkać się z podejściem, w którym usługi terminalowe są kwalifikowane jako wirtualne desktopy. Nie jest to jednak takie oczywiste. Ważny jest aspekt, czy dany desktop zawiera zwirtualizowany system operacyjny, czy jest jedynie interfejsem dla wirtualnego środowiska znajdujące się na innej maszynie. Wówczas taka usługa powinna zostać zakwalifikowana jako wirtualna prezentacja (interfejs), która jest opisana w podrozdziale 2.3.4.

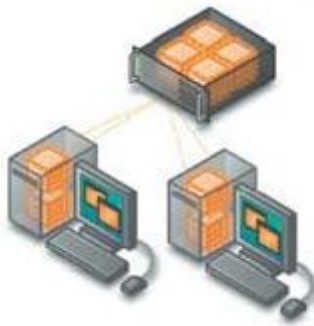
Technologia VDI, obok wirtualizacji serwerów, ma kluczowe znaczenie dla rozwoju organizacji (i strategii wdrażania technologii), w tym także środowiska akademickiego. Swoje zastosowanie znajduje w e-learningu oraz jest fundamentem dla usług w modelu DaaS. VDI dzięki dużej elastyczności wspiera szeroko rozumianą mobilność (pracowników), ponieważ uniezależnia użytkownika od urządzenia. Ponadto niesie ze sobą szereg zalet – optymalizuje wykorzystanie istniejących zasobów, zapewnia ciągłość działania, zwiększa zabezpieczenie zasobów, przyczynia się do oszczędności oraz wspiera ideę „zielonego IT”.

### **2.3.3. Wirtualizacja aplikacji**

Podobnie do wirtualizacji desktopów można ją także rozpatrywać w przypadku aplikacji, które są strumieniowane na klienckie urządzenia odbiorcze z centrali (taką aplikacją może być np. poczta elektroniczna dostępna w „chmurze”). Technologia ta daje izolację aplikacji od systemu operacyjnego oraz innych programów, co redukuje ryzyko wystąpienia konfliktów między tymi elementami. Koncepcja ta została ujęta na poniższym rysunku (rysunek 2.12).

---

<sup>203</sup> A. Rot, P. Chrobak, *Wirtualizacja infrastruktury...*, *op. cit.*, s. 174.



**Rysunek 2.12. Wirtualizacja aplikacji**

Źródło: <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Wirtualizacja aplikacji to termin odnoszący się do szeregu technologii ułatwiających zarządzanie i przenoszenie aplikacji oraz zwiększanie ich kompatybilności poprzez oddzielenie od systemu operacyjnego, w którym są uruchamiane. W pełni zwirtualizowana aplikacja nie jest instalowana w systemie operacyjnym, ale użytkownik może ją uruchomić i korzystać z niej. Zatem wirtualizacja aplikacji polega na oddzieleniu warstwy konfiguracji aplikacji od systemu operacyjnego w ramach środowiska komputera biurowego. Zmniejsza to liczbę konfliktów między programami, nadaje zarządzaniu poprawkami oraz uaktualnieniami aplikacji kluczową rolę i przyspiesza tworzenie nowych programów oraz uaktualnień<sup>204</sup>.

Zarządzanie wieloma obrazami systemów zwiększa koszty oraz zużycie zasobów w działach IT, podobnie jak pobieranie aktualizacji i poprawek do posiadanych aplikacji. Oddzielając warstwę aplikacji od systemu operacyjnego zainstalowanego na komputerze następuje redukcja złożoności, co ułatwia zarządzanie infrastrukturą. Zwykle przed wypuszczeniem aktualizacji aplikacji lub systemu operacyjnego konieczne jest przeprowadzenie kompleksowych testów dotyczących wzajemnego współdziałania aplikacji. W środowisku, w którym aplikacje są wirtualizowane i udostępniane na żądanie, konflikty między programami są niemal zupełnie wyeliminowane, ponieważ poszczególne operacje wykonywane są bez wpływu na system operacyjny lub inne aplikacje. Takie rozwiązanie eliminuje również konieczność posiadania programu do zdalnego zarządzania aplikacjami na komputerze (np. program Altiris Agent firmy Symantec), które nie są technologiami niskokosztowymi, a ich wdrożenie zajmuje sporo czasu. Dodatkowo usprawniony zostaje proces zarządzania i pobierania poprawek związanych z bezpieczeństwem aplikacji. Wynika to z faktu, iż wszelkie związane ze wspomnianymi procesami czynności wykonywane są jedynie na komputerze bazowym, a nie na setkach lub tysiącach oddzielnych maszyn.

---

<sup>204</sup> <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Zmniejsza to nakład pracy związany z obsługą komputerów i umożliwia szybkie i skuteczne likwidowanie luk w bezpieczeństwie. Zastosowanie wirtualizacji komputera oraz prezentacji zmniejszy ryzyko pojawienia się problemów związanych z kompatybilnością aplikacji i OS – aplikację uruchamiamy w przypisanym jej systemie operacyjnym, obsługiwanym przez wybrany komputer<sup>205</sup>.

Wirtualizacja aplikacji pozwala również na jej personalizację - aby zwirtualizować aplikację, konieczne jest odizolowanie jej od systemu operacyjnego dodatkową warstwą i może być to warstwa dedykowana danemu użytkownikowi, w której będą zapisywane jego dane oraz ustawienia aplikacji. W efekcie aplikacja jest uruchamiana w wirtualnym środowisku przechwytyjącym odwołania do specyficznych danych systemu operacyjnego oraz sesji użytkownika i udostępniającym te dane odpowiednio do zalogowanego użytkownika<sup>206</sup>.

Istotnym aspektem wirtualizacji aplikacji jest również możliwość ograniczania zakupu niezbędnych licencji. Rozwiązanie pozwala uruchamiać wiele instancji danej aplikacji i udostępniać je tylko tym użytkownikom, którzy w danej chwili ich potrzebują. Dzięki temu można ograniczyć w organizacji liczbę licencji na oprogramowanie komercyjne. W takim wypadku użytkownicy uruchamiają daną sesję pracy z aplikacją oraz blokują czasowo jej licencję. Po zakończonej pracy licencja wraca do puli licencji i może być wykorzystana przez kolejnych użytkowników<sup>207</sup>. Jednak A. S. Tanenbaum w swojej publikacji „*Systemy operacyjne*”<sup>208</sup> poruszył szerzej kwestie licencyjne, gdyż oszczędność z tego tytułu nie zawsze była i jest oczywista. Licencje większości programów są przypisane do konkretnego procesora. Inaczej mówiąc, kiedy ktoś kupuje program, ma prawo go używać tylko na jednym procesorze. Zatem zastanawiające jest, czy taka umowa daje prawo do uruchamiania oprogramowania na wielu maszynach wirtualnych, z których wszystkie działają na tej samej fizycznej maszynie i mają ten sam procesor. Wielu producentów oprogramowania nie miało pewności, co należy zrobić w tym przypadku. Największy problem był w firmach, które posiadały licencję na określoną liczbę maszyn, na których jednocześnie może być uruchomione oprogramowanie. Ma to istotne znaczenie zwłaszcza wówczas, gdy maszyny wirtualne mogą być tworzone i usuwane na życzenie. Jednak z biegiem czasu twórcy oprogramowania wyszli naprzeciw temu problemowi i jawnie zaczęli umieszczać w licencji klauzulę zakazującą posiadaczowi licencji uruchamiania oprogramowania na maszynie

---

<sup>205</sup> [http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie\\_wirtualizacji.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie_wirtualizacji.mspix), z dn. 2019.10.21.

<sup>206</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, *op. cit.*, s. 121.

<sup>207</sup> *Ibidem*, s. 121.

<sup>208</sup> A. S. Tanenbaum, *Systemy operacyjne...*, *op. cit.*, s. 682.

wirtualnej lub nieuprawnionej maszynie wirtualnej<sup>209</sup>. Wielu dostawców oprogramowania zmieniło również nazwę licencji z „cena za procesor” na „cena za instancję”. W przypadku migracji z systemów fizycznych na wirtualne licencjonowanie na zasadzie „instancji” może nie być jednak skuteczne.

Wykorzystanie idei wirtualizacji również na polu aplikacji jest rozwiązaniem, które ma swoje uzasadnienie biznesowe – przede wszystkim redukuje złożoność systemu, optymalizuje koszty oraz wspiera mobilność użytkowników. Technologia jest fundamentem dla modelu SaaS, ponieważ dokładnie w taki sposób dostarczane są aplikacje przez dostawców usług. Zatem wirtualizacja aplikacji jest podobnie wykorzystywana bez względu na to, czy jest to chmura prywatna, publiczna, czy hybrydowa. Jej uniwersalne zastosowanie sprawia, że wirtualne aplikacje stały się kolejnym, kluczowym czynnikiem dla rozwoju organizacji i krokiem w strategii optymalizacji infrastruktury.

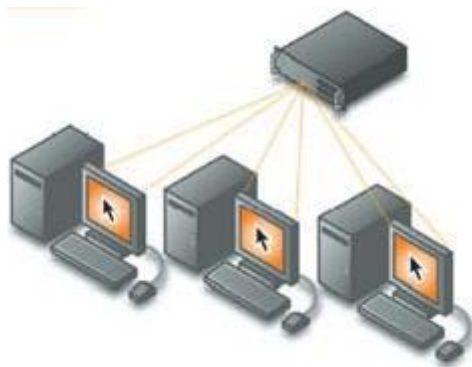
#### **2.3.4. Wirtualna prezentacja (interfejs)**

W wybranych sytuacjach niezwykle istotne jest umieszczenie wszystkich danych w jednym miejscu, zamiast rozpraszania ich na wielu komputerach. Może to być związane z wymogami bezpieczeństwa, ogólnymi regulacjami lub wymaganiami użytkowników. Dzięki wirtualizacji prezentacji wszystkie informacje zgromadzić można w jednej lokalizacji, w której odbywa się również ich przetwarzanie. Inaczej rzecz ujmując – wirtualizacja desktopa lub serwera odnosi się do wirtualizacji całego systemu operacyjnego, w przypadku wirtualizacji warstwy prezentacji wirtualizowany może być jedynie ekran dostępu (interfejs) do zasobów użytkowników w postaci zdalnego pulpitu, czego przykładem są usługi terminalowe. Zatem komputer wykorzystywany przez użytkownika obsługuje będzie jedynie stosowny interfejs<sup>210</sup>, co zostało przedstawione na poniższym rysunku (rysunek 2.13).

---

<sup>209</sup> *Ibidem*, s. 682.

<sup>210</sup> [http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie\\_wirtualizacji.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie_wirtualizacji.mspix), z dn. 2019.10.21.



**Rysunek 2.13. Wirtualizacja prezentacji**

Źródło: <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

Wirtualizacja prezentacji oddziela przetwarzanie danych od interfejsu graficznego i obsługi urządzeń wejścia/wyjścia. Dzięki temu aplikacje działającą na jednym komputerze można kontrolować innym komputerem. Jest to pomocne w wielu sytuacjach, w tym gdzie podstawowe znaczenie mają poufność i bezpieczeństwo informacji<sup>211</sup>. Zaletą tego rozwiązania jest także możliwość zastosowania komputerów (terminali) o małej mocy obliczeniowej, ponieważ przetwarzanie danych odbywa się po stronie serwera. Serwer jednak musi być wydajną maszyną wspartą odpowiednim łączem internetowym<sup>212</sup>.

Wirtualne prezentacje (interfejsy), podobnie jak desktopy i aplikacje, są kolejnym przykładem na efektywne wykorzystanie technologii wirtualizacji, która w tym przypadku szczególnie sprawdza się, gdy dostęp do komputera należy udostępnić możliwie jednolicie, szybko i tanio. Usługi terminalowe taki dostęp gwarantują – znacznie upraszczają złożoność infrastruktury, a to implikuje redukcję kosztów. Dlatego też ta idea powtórnie odnalazła swoje szerokie zastosowanie oraz uzasadnienie biznesowe.

### 2.3.5. Pamięć wirtualna

Lawinowy przyrost informacji oraz ich postępująca digitalizacja sprawiają, że stale rośnie zapotrzebowanie na pamięć masową. W okresie spowolnienia gospodarczego organizacje i instytucje zmuszane są jednak do redukcji kosztów i ograniczania wydatków, co wymusza także redukcję budżetów inwestycyjnych CAPEX i operacyjnych OPEX – przeznaczonych na infrastrukturę informatyczną, w tym w dużej mierze na pamięci masowe. Dlatego też, bardziej niż kiedykolwiek, ważna staje się umiejętność osiągnięcia zamierzonych celów przez

---

<sup>211</sup> <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

<sup>212</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, op. cit., s. 120.

maksymalne wykorzystywanie posiadanych zasobów. Stąd też rosnące zainteresowanie technologią wirtualizacji i oferowanymi przez nią możliwościami także dla pamięci masowej. Wirtualizacja w wydaniu dla pamięci masowych to swego rodzaju warstwa abstrakcji nad fizycznymi urządzeniami pamięci masowej, w której zachodzi proces tworzenia wspólnej przestrzeni adresowej, złożonej z jednostek logicznych utworzonych na wielu heterogenicznych pamięciach masowych. Zwirtualizowane zasoby są następnie prezentowane systemowi operacyjnemu, aplikacjom oraz użytkownikom, umożliwiając zarządzanie wolumenami rozlokowanymi na heterogenicznej pamięci masowej z poziomu pojedynczej konsoli.

Wirtualizacja pamięci masowej pozwala znacząco zwiększyć stopień wykorzystania posiadanych zasobów dyskowych, dzięki czemu następuje uwolnienie przestrzeni do nowych zastosowań, takich jak np. środowiska testowe dla nowych aplikacji. Równocześnie można obserwować uwolnienie przestrzeni fizycznej w serwerowni. Dzięki tej technice program zaadresuje znacznie większy obszar pamięci niż w rzeczywistości jest dostępny. Aby to osiągnąć, zazwyczaj aktualnie niewykorzystany obszar pamięci fizycznej składowany jest na dysku twardym, by w późniejszym czasie ponownie zostać skopiowany do pamięci operacyjnej. W efekcie powstaje przestrzeń do zagospodarowania na nowe urządzenia i niższe rachunki za energię elektryczną<sup>213</sup>.

Rosnąca ilość przetwarzanych danych oraz konieczność ich współdzielenia spowodowała powstanie takich rozwiązań jak DAS (ang. *Direct Attached Storage*), NAS (ang. *Network Attached Storage*) i SAN (ang. *Storage Area Network*). Pierwsze rozwiązanie należy do rozwiązań konwencjonalnych, gdzie urządzenia pamięci masowych są bezpośrednio połączone z serwerem. Drugie z rozwiązań zapewnia możliwość podłączenia pamięci masowej do dowolnego systemu operacyjnego i współdzielenie jej z innymi użytkownikami sieci. Powoduje to, iż miejsce składowania danych może być współdzielone między użytkowników. Trzecie rozwiązanie jest bardziej skomplikowane i polega na udostępnieniu obszaru sieci, poprzez który komputery zyskują dostęp do pamięci masowej<sup>214</sup>.

Wirtualna pamięć to kolejny przykład efektywniejszego i elastycznego wykorzystania, a przede wszystkim współdzielenia posiadanych zasobów. Rozwiązanie sprawdza się praktycznie zawsze, bez względu na to jak bardzo złożona jest infrastruktura. Technologia powinna być uzupełnieniem i nieodzowną częścią optymalizacji zasobów i strategii wdrażania wirtualizacji.

---

<sup>213</sup> S. Pomorski, *Więcej wirtualizacji...*, *op. cit.*

<sup>214</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, *op. cit.*, s. 121.

### 2.3.6. Wirtualizacja zasobów sieciowych

Wirtualizacja sieci, podobnie jak pamięci, daje kolejną możliwość konsolidowania zasobów celem uzyskania większej elastyczności i skalowalności. Zarządzanie zasobami sieciowymi w wirtualnym środowisku usprawnia proces alokacji i udostępniania zasobów, jak również obsługę całej infrastruktury, zmniejszając jednocześnie złożoność systemu, wykorzystywanego przez menedżerów IT.

M. Żytniewski w podrozdziale „*Wirtualizacja zasobów informatycznych organizacji. Analiza metod i typów wirtualizacji oraz stosowanych standardów*”<sup>215</sup> monografii „*Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*” wymienia trzy główne zastosowania wirtualizacji sieci. Mianowicie w przypadku budowy sieci LAN (ang. *Local Area Network*) udostępniane zasoby sieciowe mogą być współdzielone przez jej użytkowników w danej lokalizacji. LAN są często budowane jako sieci strukturalne ograniczające się do danego budynku lub sieci budynków będących w jednej lokalizacji. Co jednak w przypadku kiedy dana organizacja jest rozproszona globalnie, a konieczne jest współdzielenie między oddziałami wspólnego oprogramowania? Rozwiązaniem jest VPN<sup>216</sup>, który pozwala na tworzenie szyfrowanego „mostu” pomiędzy sieciami LAN oddziałów i przesyłanie między nimi w bezpieczny sposób informacji, danych poprzez Internet. VPN jest również stosowany w przypadku udostępnienia zasobów sieciowych organizacji pracownikom znajdujących się poza budynkami (np. usługa VPN w Bibliotece Uniwersytetu Gdańskiego, która pozwala na zdalny dostęp do e-zasobów bibliotecznych). Dzięki temu pracownicy otrzymują dostęp do zasobów poprzez szyfrowany, tymczasowy kanał – „most”.

Innym pojęciem stosowanym w odniesieniu do wirtualizacji sieci jest VLAN<sup>217</sup>, które umożliwia odseparowanie różnych grup urządzeń znajdujących się w ramach jednej sieci lokalnej LAN. Inaczej ujmując – różne komputery firmowe stosowane w określonych działach organizacji, mimo że będą podłączone do tych samych urządzeń sieciowych, to będą działały w odseparowanych sieciach VLAN. Dzięki temu można zminimalizować wydatki na nowe urządzenia sieciowe (nie ma potrzeby tworzenia drugiej sieci LAN) oraz poprawia się bezpieczeństwo danych firmy. Jednak sieci dla środowiska wirtualnego powinny zapewniać

---

<sup>215</sup> *Ibidem*, s. 115.

<sup>216</sup> VPN (ang. *Virtual Private Network*) – tunel, przez który płynie ruch w ramach sieci prywatnej pomiędzy klientami końcowymi za pośrednictwem publicznej sieci w taki sposób, że węzły tej sieci są przezroczyste dla przesyłanych w ten sposób pakietów. Można opcjonalnie kompresować lub szyfrować przesyłane dane w celu zapewnienia lepszej jakości lub większego poziomu bezpieczeństwa.

<sup>217</sup> VLAN (ang. *Virtual Local Area Network*) – sieć komputerowa wydzielona logicznie w ramach innej, większej sieci fizycznej.

także większą przepustowość, wynikającą z większej liczby maszyn. Wirtualizacja oparta na hiperwizorach zmienia wiele aspektów projektowania centrum danych. W celu rozwiązania problemów sieciowych wirtualizacji konieczne stało się opracowanie specjalnych protokołów i opartych na nich produktów, które mogą sprostać powyższym wymaganiom. Jednym z takich rozwiązań jest protokół VXLAN<sup>218</sup>. Pozwala on na tworzenie izolowanych, skalowalnych sieci wirtualnych - w oderwaniu od sieci fizycznej - bez ograniczeń, które niosła ze sobą technologia VLAN. Korzyścią ze stosowania tego protokołu jest łatwe tworzenie i zarządzanie logicznie odseparowanymi sieciami oraz przypisywanie do nich określonych polityk bezpieczeństwa i wydajności<sup>219</sup>.

Kolejnym rozwiązaniem wirtualizacji sieci są wirtualne adresy IP, które nie są przypisane do konkretnego komputera i karty sieciowej. Dzięki zastosowaniu tej technologii możliwe jest tworzenie rozwiązań o wysokim poziomie dostępności odpornych na awarie, ponieważ w przypadku uszkodzenia serwera obsługującego dany wirtualny adres IP lub w przypadku zastosowania mechanizmów zapewnienia odpowiedniej wydajności działania sieci, jego zadania może przejąć inna maszyna, do której będą przekierowane pakiety danych.

Wyżej wymienione formy wirtualizacji sieci są znane wśród administratorów sieci i wdrażane od dawna. Technologie wirtualizacji umożliwiają podział sieci fizycznej na wiele podsieci oraz znacznie podnoszą bezpieczeństwo w środowiskach produkcyjnych, przy projektach konsolidacji systemów i rodzącym się modelu świadczenia IT, jako usługi dostępnej przez sieć publiczną (Internet).

Wirtualizacja sieci wynikająca z wirtualizacji serwerów to jednak dużo szersze zagadnienie. Idea tej technologii obejmuje również komponenty sieciowe, takie jak routery VRF (ang. *Virtual Routing/Forwarding*), przełączniki VSS (ang. *Virtual Switching System*), zapory ogniowe czy systemy IDS/IPS<sup>220</sup>, znane dotychczas w postaci urządzeń fizycznych, oferując je w postaci programowej, tzw. *virtual appliances*. Te maszyny wirtualne, prekonfigurowane do pełnienia określonych funkcji, działają w ramach wirtualnego ekosystemu, obsługując pracujące w nim serwery produkcyjne. Wirtualizacja sieci polega na tworzeniu zwirtualizowanej przestrzeni adresowej wewnątrz danej podsieci lub między podsieciami. Rozróżnia się dwa przypadki: wirtualizację zewnętrzną i wewnętrzną. O

---

<sup>218</sup> VXLAN (ang. *Virtual Extensible LAN*) – technologia wirtualizacji sieci, która próbuje rozwiązać problemy związane ze skalowalnością związaną z dużymi infrastrukturami, często „w chmurze”.

<sup>219</sup> P. Szczepaniak, *Wirtualizacja i elastyczna infrastruktura sieciowa*, <https://www.computerworld.pl/news/Wirtualizacja-i-elastyczna-infrastruktura-sieciowa.386023.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>220</sup> IDS/IPS (ang. *Intrusion Detection System/Intrusion Prevention System*) – urządzenia sieciowe zwiększające bezpieczeństwo sieci komputerowych przez wykrywanie (IDS) lub wykrywanie i blokowanie ataków (IPS) w czasie rzeczywistym.



pierwszej można mówić wówczas, gdy wiele sieci jest łączonych w jeden wirtualny organizm. Z kolei wirtualizacja wewnętrzna polega na tworzeniu funkcjonalności przypominającej sieć wewnątrz pojedynczego systemu<sup>221</sup>.

Największą korzyścią wynikającą z wirtualizacji sieci i serwerów jest znaczna redukcja wymagań sprzętowych infrastruktury sieciowej. Instalacja nowej zapory ogniowej lub systemu IDS/IPS nie będzie już wymagać zakupu drogiego urządzenia fizycznego, bo zaporą taka będzie działać jako maszyna wirtualna na odpowiednio wydajnym serwerze fizycznym. Ciekawym rozwiązaniem są również tzw. dystrybuowane wirtualne przełączniki VSS, które mogą scalać wiele fizycznych serwerów hostujących (w tym połączyć dwa przełączniki w jedno urządzenie), co powoduje zwiększenie wydajności rozwiązania oraz ułatwia zarządzanie. Przyspiesza to również proces konfiguracji sieci i zapewnia krótszy czas odpowiedzi na pojawiające się potrzeby biznesowe.

Rozwiązań sieciowych, które wpisują się w ideę wirtualizacji jest wiele. Oczywiście to od specyfiki infrastruktury będzie zależne, które z rozwiązań sieciowych będzie tym najbardziej efektywnym i które najlepiej dopełni strategię wdrożenia technologii wirtualizacji do organizacji.

#### **2.4. Modele wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych**

Szeroki wachlarz dostępnych rozwiązań wirtualizacyjnych powoduje, że wdrożenie tej technologii może być wielowymiarowe i dotyczyć wielu komponentów posiadanych zasobów. Takie podejście zaproponował Microsoft w dokumencie „*Wirtualizacja. Od czego zacząć?*”<sup>222</sup> uznając, że najefektywniejsza konsolidacja ma miejsce wówczas, gdy brane jest pod uwagę całe środowisko IT firmy oraz wszystkie procesy w nim zachodzące i dokonywana jest wirtualizacja jak największej jego części. Niezależnie od skali, każda implementacja powinna nieść za sobą nowe, lepsze rozwiązania, z uwzględnieniem osiągniętych w przyszłości korzyści z tego tytułu. Dlatego też proces wdrożenia powinien być procesem przemyślanym i przekalkulowanym, nie przypadkowym działaniem. W literaturze przedmiotu można znaleźć opracowania, które identyfikują poszczególne etapy implementacji wirtualizacji w infrastrukturę IT, które pozwolą zaplanować szczegółowo wszystkie działania począwszy od przygotowania się i analizy kosztów, skończywszy na ewentualnym wycofaniu się z wdrożenia.

---

<sup>221</sup> <http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

<sup>222</sup> [http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/od\\_czego\\_zaczac.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/od_czego_zaczac.mspix), w dn. 2019.10.21.

Proces wdrożenia wirtualizacji opisał M. Żytniewski w podrozdziale „*Wirtualizacja zasobów informatycznych organizacji. Analiza metod i typów wirtualizacji oraz stosowanych standardów*”<sup>223</sup> monografii „*Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*”. Autor wskazuje, że jest to proces, który wymaga starannego przygotowania planu działania i analiz dotyczących posiadanych zasób. Złożoność systemów informatycznych powoduje, że nieprzemyślane działania wykonane w fazie konfiguracji środowiska, w jakiej będzie działać zwirtualizowane rozwiązanie, dopiero mogą po czasie spowodować problemy dotyczące zarządzania lub wydajności. Dlatego kluczowe jest wskazanie kluczowych etapów tego procesu. Realizacja procesu wirtualizacji zasobów organizacji powinna zostać poprzedzona działaniami zmierzającymi do analizy zadań z nią związanych. M. Żytniewski wyróżnia następujące cztery kroki:

1. Określenie kosztów wirtualizacji.
2. Zaplanowanie procesu.
3. Zarządzanie i optymalizacja.
4. Dokumentacja realnych oszczędności.

W pierwszym kroku (określenie kosztów), przed przystąpieniem do procesu wirtualizacji zasobów organizacji należy określić, jaki będzie wpływ całego przedsięwzięcia na redukcję kosztów oraz wzrost wydajności systemu poprzez np. redukcję liczby serwerów. Konieczne jest jasne wskazanie tych wartości, ponieważ stanowią one realny zysk organizacji. Takie korzyści mogą dotyczyć ograniczenia ilości zakupionego sprzętu oraz redukcji sprzętu już istniejącego. Autor nie wskazuje żadnej metody do obliczenia, ani nie wyjaśnia czym tak naprawdę jest zysk. W drugim kroku (zaplanowanie procesu wdrożenia) należy dokonać inwentaryzacji posiadanego sprzętu oraz określić etapy wdrożenia nowych rozwiązań. Proces wdrożenia całego rozwiązania nie powinien zakłócać działania organizacji, dlatego na tym etapie konieczne jest przeprowadzenie analizy wykorzystania obecnie stosowanych zasobów i określenie punktów krytycznych, które mogą wpłynąć na powodzenie całego procesu. Zalecane jest pilotowe wdrożenie niewielkiego fragmentu proponowanej infrastruktury, aby osoby zarządzające zwirtualizowanym systemem miały czas na zapoznanie się z jego funkcjonalnością. Krok trzeci (zarządzanie i optymalizacja) zakłada korzystanie z narzędzi, które powinny wspomagać zarządzanie, optymalizację i monitorowanie wykorzystania całej zwirtualizowanej infrastruktury. Administrator powinien mieć dostęp do informacji na temat

---

<sup>223</sup> M. Żytniewski, *Wirtualizacja zasobów...*, op. cit., s. 112-113.

stanu działania serwera fizycznego (hosta), ale także powinien móc monitorować wszystkie maszyny wirtualne, które działają po jego stronie. Z reguły dostawcy oprogramowania wirtualizacyjnego dostarczają takie narzędzia w pakiecie, które dodatkowo pozwalają na długoterminowe zbieranie logów, co może wspomóc proces optymalizacji jej działania. Ostatni krok (dokumentacja realnych oszczędności), to bieżące prowadzenie ewidencji oszczędności, które organizacja uzyskuje w czasie działania systemu, np. poprzez rezygnację z zakupu dodatkowego sprzętu. Prowadzenie takich obliczeń wymaga pełnej świadomości wszystkich zysków operacyjnych, a także znajomości analiz i wskaźników, dzięki którym można oszczędności jednoznacznie wyliczyć.

Proces bezpiecznego planowania i wdrażania opracował również National Institutes of Standards and Technology w dokumencie pt. „*Guide to Security for Full Virtualization Technologies*”<sup>224</sup>, na który M. Żytniewski również się powołuje w swojej publikacji. NIST określa pięć podstawowych faz:

1. Inicjacja.
2. Planowanie i projektowanie.
3. Implementacja.
4. Eksploatacja i konserwacja.
5. Wycofanie.

Faza pierwsza (inicjacja) obejmuje zadania, które organizacja powinna wykonać przed rozpoczęciem projektowania rozwiązania wirtualizacyjnego. Obejmują one identyfikację potrzeb w zakresie wirtualizacji, ogólną wizję tego, w jaki sposób rozwiązania wirtualizacyjne wsparłyby misję organizacji, stworzenie ogólnej strategii wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych, identyfikację platform i aplikacji, które można zwirtualizować, oraz określenie wymagań biznesowych i funkcjonalnych potrzeb. Na etapie fazy drugiej (planowanie i projektowanie) menedżerowie IT lub administratorzy określają techniczne cechy rozwiązania wirtualizacyjnego i jej specyfika (w tym metody uwierzytelniania i mechanizmy szyfrowania). Faza kończy się wyborem i zakupem (lub pobraniem rozwiązania open source) odpowiedniego rozwiązania. Faza trzecia (implementacja) to konfiguracja, instalacja i testowanie prototypu, który finalnie zostaje aktywowany w sieci produkcyjnej. Implementacja obejmuje również mechanizmy kontroli i bezpieczeństwa, takie jak

---

<sup>224</sup> K. Scarfone, M. Souppaya, P. Hoffman, *Guide to Security for Full Virtualization Technologies: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*, <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-125.pdf>, z dn. 2023.06.12.

rejestrwanie zdarzeń bezpieczeństwa, zarządzanie siecią i integracja serwera uwierzytelniającego. Faza czwarta (eksploatacja i konserwacja) obejmuje zadania związane z bezpieczeństwem, które organizacja powinna wykonywać na bieżąco po uruchomieniu rozwiązania wirtualizacji, w tym przeglądanie dzienników, wykrywanie ataków i reagowanie na wszelkie potencjalne niebezpieczeństwa. Ostatnia faza (wycofanie) określa zadania, które występują, gdy rozwiązania wirtualizacyjne są wycofywane (z powodu niespełnienia wymagań wydajności lub bezpieczeństwa), w tym prawidłowa utylizacja sprzętu i trwałe usunięcie danych.

Opisane przez M. Żytniewskiego i NIST procesy wdrażania dotyczą tylko i wyłącznie implementacji rozwiązań serwerowych, natomiast wirtualizacja to dużo szersze pojęcie i docelowo model wdrożenia powinien być zaprojektowany całościowo dla całej infrastruktury, celem zminimalizowania złożoności systemu, i osiągnięcia maksymalnych korzyści. W rezultacie zaplanować należy wieloetapową implementację całego środowiska, biorąc pod uwagę wszystkie systemy, aplikacje i procesy w nim zachodzące. To może spowodować, że na etapie planowania i projektowania nie da się przewidzieć wszystkich potrzeb, skutków wdrożenia zmian, a nawet kosztów. Dlatego też tak ważne będzie cykliczne „sprawdzanie i dostosowywanie” (skutków i potrzeb), co w praktyce oznaczać będzie sukcesywne budowanie infrastruktury poprzez etapowe dążenie do ostatecznego celu – osiągnięcia pełnej wirtualizacji całego środowiska IT.

## **2.5. Prognozy rynku rozwoju technologii wirtualizacji**

Wartość rynku usług IT stale rośnie. Według Gartnera światowe wydatki na IT wyniosą w 2023 roku 4,66 bln USD, co stanowi wzrost o 5,1% w stosunku do 4,43 bln USD z prognozowanych na 2022 roku<sup>225</sup>. Prognoza jest oparta na ankiecie przeprowadzonej wśród ponad 200 dyrektorów finansowych, z której wynika, że 69% z nich spodziewa się zwiększenia wydatków na technologie cyfrowe. Według firmy analitycznej stoi to w sprzeczności z powszechnym przekonaniem, że wydatki na IT mogą spaść w okresie spowolnienia gospodarczego. Zdaniem analityków Gartnera budżety przedsiębiorstw na IT mają być odporne na recesję (czyli znaczne zahamowanie tempa wzrostu gospodarczego), ponieważ prezesi i dyrektorzy finansowi zamiast je redukować to zwiększają wydatki na cyfrowe inicjatywy biznesowe. Chociaż turbulencje w gospodarce światowej zmieniają

---

<sup>225</sup> <https://crn.pl/aktualnosci/gartner-wydatki-na-it-wzrosna-w-2023-r>, z dn. 2023.06.12.

kontekst inwestycji przedsiębiorstw w technologie (co przełoży się na zwiększenie wydatków w niektórych obszarach IT i przyspieszenie spadków w innych), to Gartner nie przewiduje, aby miało to istotny wpływ na ogólny poziom wydatków. Z drugiej strony inflacja obniżyła siłę nabywczą klientów na całym świecie. Została ona zmniejszona do tego stopnia, że wiele przedsiębiorstwa odłożyło zakup urządzeń z roku 2022 na 2023. Ma to przełożyć się na spadek wydatków na sprzęt o 8,4 % w tym roku i 0,6 % w 2023<sup>226</sup>.

Podobny trend można zaobserwować w Polsce. Raport „*Rynek IT w Polsce 2022. Analiza rynku i prognozy rozwoju na lata 2022-2027*”<sup>227</sup> firmy PMR wskazuje, że polski rynek IT utrzyma pozytywną dynamikę wzrostu w kolejnych latach. Autorzy raportu podkreślają, że w ostatnich dwóch latach nastąpił dynamiczny wzrost branży ICT, dzięki przyspieszonej i postępującej transformacji cyfrowej. Digitalizacja jest konsekwencją predefiniowania reguł gry na rynku, według których stopień adaptacji cyfrowych rozwiązań decyduje o konkurencyjności przedsiębiorstwa. Dla rozwoju rynku istotny jest też sektor konsumencki, który również podlega digitalizacji. Rynek ICT udowodnił wcześniej, że potrafi radzić sobie w sytuacjach kryzysowych i wychodzić obronną ręką. Obecna sytuacja makroekonomiczna i geopolityczna, pandemia COVID-19, wojna w Ukrainie, inflacja, wysokie stopy procentowe i spowolnienie gospodarcze są niewątpliwie czynnikami ryzyka. Z drugiej strony, mając na uwadze wyniki osiągnięte przez branżę IT w czasie kryzysu pandemicznego, tym większe zainteresowanie wzbudza sposób, w jaki rynek IT w Polsce przejdzie przez kryzys energetyczny oraz wysoką inflację. Raport PMR „*Rynek ICT w Polsce 2022*” jest szczegółową analizą sprzedaży sprzętu, usług i oprogramowania oraz struktury wydatków IT w podziale na poszczególne grupy odbiorców oraz branże w Polsce. Zawiera najnowsze dane uzyskane dzięki: bezpośrednim kontaktom z uczestnikami rynku, analizie wyników finansowych graczy i badaniom własnym PMR. Raport analizuje wpływ aktualnych trendów w transformacji cyfrowej biznesu, trendów konsumenckich oraz otoczenia makroekonomicznego na poszczególne segmenty rynku i grupy produktowo-usługowe w zróżnicowanej branży IT. Szczegółowe dane są dostępne po zakupie raportu, gdyż jest to materiał płatny.

Początek roku 2023 nie przyniósł znaczących zmian w polskim sektorze IT. Wynagrodzenia specjalistów nadal rosną. Postępuje także obserwowana od początku pandemii zmiana modelu pracy ze stacjonarnego na hybrydowy lub zdalny. Zgodnie z danymi

---

<sup>226</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.04.28.

<sup>227</sup> *Rynek IT w Polsce 2022. Analiza rynku i prognozy rozwoju na lata 2022-2027*, <https://mypmr.pro/content/freeresources/19556/69091170b75856a7fc5128079a7e96d2bb86c773-Pdf>, z dn. 2023.06.12.

zebranych przez NoFluff Jobs ofert zatrudnienia, w których obowiązki służbowe wykonuje się z domu w całości lub częściowo, przed rokiem przybyło o 8%, wynosząc obecnie 62% wszystkich ogłoszeń o pracę<sup>228</sup>. Nie ma powodu, by uważać, że w 2023 roku i latach późniejszych trend ten ulegnie zmianie. Najbliższy czas będzie stał także pod znakiem postępowania tendencji do poszukiwania specjalistów średniego i wyższego szczebla. Na największą liczbę ofert mogą liczyć osoby poszukujące zatrudnienia na stanowiskach takich jak DevOps Engineer, Big Data Specialist oraz Fullstack Developer. Branża potrzebuje także coraz większej ilości ekspertów od sztucznej inteligencji. Spadek liczby ofert widać za to w przypadku stanowisk początkowych takich jak junior tester, które są dość dobrze obsadzone.

Z całą pewnością w Polsce brakuje 147 tys. specjalistów IT – wynika z wyliczeń Polskiego Instytutu Ekonomicznego<sup>229</sup>. W badaniu z udziałem firm z sektora IT aż 42 % wakatów uznano za trudne do obsadzenia. Większość, bo 64 % ankietowanych, zatrudniło mniej specjalistów IT niż planowało, a 20 20% firm często musiało odmawiać realizacji projektu z powodu braku wystarczającej liczby specjalistów. Przedsiębiorcy z branży nie są w stanie pozyskać tylu ludzi, ilu potrzebują, głównie z powodu zbyt małej liczby zgłoszeń oraz zbyt wysokich oczekiwań płacowych kandydatów. W Polsce specjaliści IT stanowią ok. 3,5 % wszystkich zatrudnionych wobec ok. 4,5 % średniej w UE. Ten dystans utrzymuje się w ostatniej dekadzie. Instytut podaje też taki wskaźnik, jak „różnica między faktyczną liczbą specjalistów, a wartością wynikającą z potencjału gospodarki”. W tym wyliczeniu deficyt specjalistów IT w kraju oszacowano na 25 tys.

Warto ponownie przeanalizować najnowszy raport Gartnera (tabela 1.8) i przytoczone już w niniejszej dysertacji wnioski – technologia wirtualizacja i CC to podstawy do tworzenia nowych usług, narzędzi i modeli usług IT oraz biznesów cyfrowych. Biorąc również pod uwagę trend jakim jest technologia mobilna, superaplikacje, AI, branżowe platformy chmurowe, gdzie praktycznie większość tych rozwiązań działa w modelach SaaS, PaaS czy EaaS wspieranych przez wirtualizację, wydaje się niemożliwym odcięcie się od tych technologii.

Technologia kontenerowa jest wskazywana jako ta najbardziej perspektywiczna z całego portfolio rozwiązań wirtualizacyjnych. Kontenery cechują się lepszą wydajnością niż wirtualizacja z użyciem hypervisor, ponieważ jedno współdzielone jądro systemu oznacza mniejszy narzut. W porównaniu z uruchamianiem aplikacji bezpośrednio na sprzęcie –

---

<sup>228</sup> <https://serwisy.gazetaprawna.pl/nowe-technologie/artykuly/8666055,tendencje-w-branzy-nowych-technologie-co-czeka-zatrudnionych-w-it-w-2023-roku.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>229</sup> <https://crn.pl/aktualnosci/w-polsce-brakuje-blisko-150-tys-specjalistow-it>, z dn. 2023.06.12.

konteneryzacja nie powoduje utraty wydajności. Ma to swoją cenę – system operacyjny gospodarza i system operacyjny w kontenerze muszą korzystać z tego samego jądra, co oznacza, że w Linuksie można uruchamiać tylko kontenery z Linuksem. Ponadto kontenery charakteryzują się słabszą izolacją niż maszyny wirtualne, ich zabezpieczenie jest więc trudniejsze<sup>230</sup>. Mimo to producenci obecni na rynku wirtualizacji i Cloud Computing bardzo szybko włączyli się do działań związanych z nową technologią. Liderem w tym zakresie jest Docker – firma i projekt open source promujący korzystanie z tej formy przechowywania danych. Także lider wirtualizacji – firma VMware zapowiedziała, że stworzy system, który umożliwi użytkownikom maszyn wirtualnych korzystanie z kontenerów w ich ramach, przy zachowaniu poziomu zabezpieczeń i opcji zarządzania dostępnymi standardowo w samych maszynach wirtualnych. System ma być także potwierdzeniem, że kontenery nie wykluczają przydatności hipernadzorcy<sup>231</sup>.

Pochylając się także nad wynikami finansowymi wiodących firm IT, które zajmują się wirtualizacją, bądź też usługami opartymi o technologii wirtualizacji, jednoznacznie widać, że ten sektor rynku IT będzie się rozwijał. Wyniki finansowe Amazona za IV kwartał 2022 i cały 2022 rok zostały opublikowane na początku 2023 roku. Sprzedaż wzrosła o 9%, do 149,2 mld USD, w porównaniu do 137,4 mld USD w IV kw. 2021<sup>232</sup>. Natomiast warto zwrócić uwagę na wzrost przychodów Amazona w sektorze usług CC, gdyż jednym z najszybciej rosnących obecnie źródeł zysku dla koncernu jest dział Amazon Web Services (AWS), oferujący usługi chmury obliczeniowej. Sprzedaż w segmencie AWS wzrosła o 29% rok do roku do 80,1 mld USD<sup>233</sup>. Firma VMware zaś ogłosiła wraz z komentarzem wyniki finansowe za I kwartał 2023 roku. Przychody wyniosły 3,09 mld USD, co oznacza wzrost o 3% w porównaniu z analogicznym okresem w 2022<sup>234</sup>. VMware utrzymuje dynamiczny rozwój działalności związanej z subskrypcjami i SaaS, które stanowią 29% całkowitych przychodów w kwartale. Połączenie subskrypcji i SaaS oraz przychodów z licencji wyniosło 1,47 mld USD, co stanowi wzrost o 6% w porównaniu z pierwszym kwartałem roku obrotowego 2022. Przychody z

---

<sup>230</sup> *Kontenery chcą podbić świat IT*, <http://blog.integratedsolutions.pl/wirtualizacja/kontenery-chca-podbic-swiat>, z dn. 2023.06.12.

<sup>231</sup> *Technologia kontenerowa. Początek końca maszyn wirtualnych?*, [http://www.112it.pl/n/aktualnosci/technologia\\_kontenerowa\\_poczatek\\_konca\\_maszyn\\_wirtualnych](http://www.112it.pl/n/aktualnosci/technologia_kontenerowa_poczatek_konca_maszyn_wirtualnych), z dn. 2023.06.12.

<sup>232</sup> <https://www.fxmag.pl/artykul/Amazon-wyniki-IV-kwartal-2022-sprzedaz-online-amazon-web-services>, z dn. 2023.06.12.

<sup>233</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.06.12.

<sup>234</sup>

<https://www.telko.in/download.8132.VMware+og%C5%82osi%C5%82o+wyniki+finansowe+za+pierwszy+kwarta%C5%82+roku+fiskalnego+2023.docx>, z dn. 2023.06.12.

subskrypcji i SaaS w pierwszym kwartale wyniosły 899 mln USD, co oznacza wzrost o 21% rok do roku<sup>235</sup>.

Zarówno przytoczone powyżej raporty, wyniki finansowe oraz prognozy Gartnera, jak i analizy rynku usług IT, jednoznacznie wskazują, że wartość rynku technologii wirtualizacji oraz usług w modelu Cloud Computing będzie stale rosła (zarówno w Polsce, jak i na całym świecie). Jest to implikacja coraz większej świadomości i nieślabnącego zainteresowania firm tymi rozwiązaniami, rozwój i skalowalność e-biznesu, w tym rosnąca rola technologii mobilnych. Osiągane wzrosty przychód w tej branży pozwalają na nieustający rozwój technologii i szukanie nowych rozwiązań, które powinny odpowiadać na coraz większe zapotrzebowanie rynku. Warto również podkreślić, że sektor IT jest w stanie przetrwać trudne czasu – pandemię, inflację, wysokie stopy procentowe, jak i spowolnienie gospodarcze na świecie spowodowane np. wojną.

---

<sup>235</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.04.30.



## Rozdział 3. Ekonomiczne zagadnienia technologii wirtualizacji

### 3.1. Wirtualizacja w kontekście CSR i ESG

Rozwiązania wirtualizacyjne są w stanie zaadresować potrzeby biznesowe przedsiębiorstw różnej wielkości i działających w dowolnej branży. Ważną ekonomiczną przesłanką do zastosowania tego typu rozwiązań jest np. ograniczona przestrzeń serwerowni, czy wysokie koszty za prąd w firmie. Powszechnie dostępne rozwiązania komercyjne (VMware, czy też Microsoft) wspierają przedsiębiorstwa na drodze wirtualizacji od momentu planowania i inwentaryzowania infrastruktury, poprzez przygotowanie business case-u dla decydentów ze wskazaniem oszczędności – całkowitego kosztu utrzymania TCO (ang. *Total Cost of Ownership*), zwrotu z inwestycji ROI (ang. *Return On Investment*), efektywności energetycznej, a skończywszy na dostarczeniu narzędzi do administrowania i rozliczania kosztów użytkowania maszyn wirtualnych.

Ekonomiczny wymiar wirtualizacji zasobów IT to także korzyści niewymierne. Z roku na rok wzrasta świadomość społeczeństwa, które wybierając produkty i usługi coraz większą wagę przywiązuje do ich „proekologiczności”<sup>236</sup>. Dlatego też wdrażanie rozwiązań wirtualizacyjnych, które wpisują się w ideę „zielonego IT” (Green Computingu), jest częścią polityki **CSR** (ang. *Corporate Social Responsibility*) - dotyczącej deklarowanego przez organizacje odpowiedzialnego społecznie biznesu. Polityka CRS wpisuje się w zdecydowanie szersze pojęcie jakim jest **ESG** (ang. *Environmental, Social and Governance*), czyli wskaźniki rozwoju, które pomagają organizacjom raportować strategię i działania związane z ochroną środowiska, społeczne i związane z ładem korporacyjnym. Firmy stosują raporty ESG, aby informować interesariuszy o swoich działaniach i osiągnięciach w zakresie redukcji emisji dwutlenku węgla i obniżenia zużycia energii elektrycznej<sup>237</sup>. Próby definicji społecznej odpowiedzialności biznesu i ram jej koncepcji podjął się M. Żemigła w książce „*Spoleczna odpowiedzialność biznesu w świetle analiz bibliometrycznych i opinii pracowników na temat równowagi między życiem zawodowym a prywatnym*”<sup>238</sup>. Autor przeanalizował i opisał

---

<sup>236</sup> [http://www.ssk.com.pl/Zielone\\_IT/tabid/80/Default.aspx](http://www.ssk.com.pl/Zielone_IT/tabid/80/Default.aspx), z dn. 2019.10.21.

<sup>237</sup> B. Gawin, J. Winiarski, B. Marcinkowski, *Environmental, social, and corporate governance. From unascertainable statements to action plan*, w: Information Systems Development: Artificial Intelligence for Information Systems Development and Operations (ISD2022 Proceedings), R. A. Buchmann i in. (red.), Cluj-Napoca, Risoprint, 2022, s. 1-8.

<sup>238</sup> M. Żemigła, *Spoleczna odpowiedzialność biznesu w świetle analiz bibliometrycznych i opinii pracowników na temat równowagi między życiem zawodowym a prywatnym*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2013.

podejście do koncepcji począwszy od lat 70-tych do czasów obecnych podkreślając ewolucyjny charakter pojęcia. M. Żemigała wskazuje, iż mimo wielu analiz i wielu ujęć modelowych, prezentujących i wyjaśniających strategiczną naturę CSR, nadal bywa ona utożsamiana w najwyższej formie z działalnością filantropijną, czyli bezinteresownej pomocy finansowej, bądź materialnej. Autor powołując się na ostatnie polskie badania wskazuje, że praktycy biznesu koncentrują się głównie na podstawowych warstwach tzw. piramidy Carrolla, czyli odpowiedzialności ekonomiczno-prawnej<sup>239</sup>.

Raportowanie ESG jest względnie nowym pojęciem. Kwestia odpowiedzi na globalne wyzwania zrównoważonego rozwoju poprzez odpowiednie zarządzanie czynnikami środowiskowymi, społecznymi oraz dotyczącymi ładu korporacyjnego coraz bardziej zyskuje na znaczeniu. Trend ten potęguje rosnąca presja otoczenia, w tym zmieniające się oczekiwania inwestorów i sektora finansowego, zmiany legislacyjne, rosnąca świadomość społeczna i idąca za tym obawa o pogorszenie wizerunku firmy. Silnymi motywatorami do wdrażania i raportowania ESG są także nowe możliwości biznesowe, takie jak rosnący popyt na zrównoważone produkty i usługi, chęć poprawy swojej atrakcyjności na rynku pracy oraz odpowiedź na zmieniające się zachowania konsumentów<sup>240</sup>. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna również stworzyła standard dotyczący CSR i ESG. Jest to norma „*ISO 26000 – Wytyczne dotyczące społecznej odpowiedzialności*”, która jest częścią polskiego katalogu norm, gdzie widnieje pod numerem PN-ISO 26000<sup>241</sup>. Jakkolwiek sama norma nie jest rewolucyjnym odkryciem, to ISO wywarła wpływ w zakresie syntezy dotychczas obecnych na rynku różnych narzędzi z zakresu CSR. Efektem tych prac jest ISO 26000 stanowiąca swoisty podręcznik dla organizacji wszelkiego typu, wielkości i działających we wszystkich szerokościach geograficznych, które mają strategiczny zamiar zaprojektować, wdrożyć lub udoskonalić CSR w ramach swojej działalności. ISO 26000 opiera się na systemowym podejściu i podstawowym założeniu wzajemnych relacji między organizacjami, interesariuszami oraz społeczeństwem i środowiskiem naturalnym<sup>242</sup>. Określa CSR jako odpowiedzialność organizacji za wpływ podejmowanych przez nią decyzji i działań na społeczeństwo i środowisko poprzez przejrzyste i etyczne postępowanie, które przyczynia się do zrównoważonego rozwoju, w tym zdrowia i dobrobytu społeczeństwa, uwzględnia oczekiwania interesariuszy (osób lub grup, które są zainteresowane decyzjami lub działaniami

---

<sup>239</sup> *Ibidem*, s. 48.

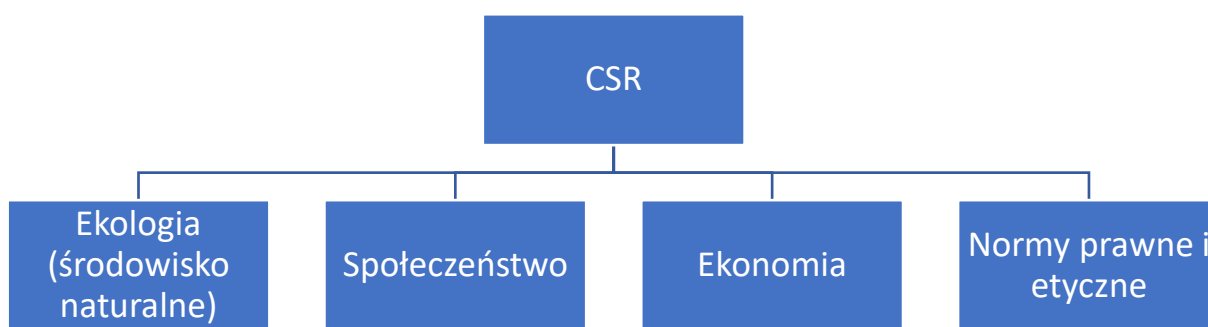
<sup>240</sup> [https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne\\_do\\_raportowania\\_ESG.pdf](https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne_do_raportowania_ESG.pdf), z dn. 2023.06.12.

<sup>241</sup> *ISO 26000 Guidance on social responsibility*, <https://www.pkn.pl/informacje/2013/09/iso-26000>, z dn. 2023.06.12.

<sup>242</sup> M. Żemigała, *Spoleczna odpowiedzialność... op. cit.*, s. 55.

organizacji), jest zgodne z obowiązującym prawem i spójne z międzynarodowymi normami postępowania oraz jest zintegrowane z działaniami organizacji i praktykowane w jej działaniach podejmowanych w obrębie jej sfery oddziaływania<sup>243</sup>.

Według autorki niniejszej dysertacji CSR to nowoczesna koncepcja zarządzania firmą, która bierze pod uwagę wpływ działań przedsiębiorstwa na otoczenie lokalne – mieszkańców danego obszaru, środowisko naturalne i tych wszystkich, na których firma ma wpływ lub w jakiś sposób oddziałuje. Bycie społecznie odpowiedzialnym nie oznacza wyłącznie spełnienia wymogów formalnych i prawnych, ale także inwestowanie w zasoby ludzkie, w ochronę środowiska oraz utrzymywanie dobrych relacji z otoczeniem. Koncepcja CSR została wskazana na poniższym rysunku. (rysunek 3.1).



### Rysunek 3.1. Wymiary koncepcji CSR

Źródło: Na podstawie M. Żemigala, *Społeczna odpowiedzialność... op. cit.*, s. 55; *ISO 26000 Guidance on social responsibility*, <https://www.pkn.pl/informacje/2013/09/iso-26000>, z dn. 2023.06.12.

Ekologiczny wymiar CSR to odpowiedzialne zarządzanie konsumpcją mediów (czyli redukcja zużycia energii elektrycznej, wody, ciepła, gazu i ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery), szeroko rozumiana ochrona środowiska, jak również optymalizacja logistyki transportu. Sprawnie działające firmy muszą mieć na bieżąco możliwość dopasowania modelu biznesowego i procesów do zmian, ryzyka i nowych wymagań klientów. W tym celu potrzebują dynamicznych infrastruktur o elastycznej budowie, które pozwalają na zaspokojenie bieżących potrzeb. Nowe metody takie jak wirtualizacja, czy też model SaaS zwiększają wydajność centrum przetwarzania danych<sup>244</sup>. Implementując już dziś strategię „zielonego IT” firmy wyprzedzają konkurencję, decydują o tempie wprowadzanych zmian (tam, gdzie jeszcze nie obowiązują formalne regulacje prawne), a także mogą liczyć na

<sup>243</sup> *ISO 26000 Guidance on social responsibility*, <https://www.pkn.pl/informacje/2013/09/iso-26000>, z dn. 2023.06.12.

<sup>244</sup> [http://www-05.ibm.com/pl/think/pdf/PL\\_0109\\_mini.pdf](http://www-05.ibm.com/pl/think/pdf/PL_0109_mini.pdf), z dn. 2019.10.21.

wsparcie instytucji rządowych oraz środowiska lokalnego, które będzie postrzegać firmę jako nowoczesną i społecznie odpowiedzialną.

W dobie społeczeństwa Web 2.0 znaczenia nabiera również zaproponowane przez W. Vissera pojęcie CSR 2.0 odnoszące się wyłącznie do zastosowania technologii i mediów społecznościowych w komunikacji CSR<sup>245</sup>. Oznacza to nic innego jak pozytywne wykorzystanie Web 2.0 (głównie mediów społecznościowych takich jak Facebook i Twitter) w celu promocji CSR, ale również osiągnięcia społecznej odpowiedzialności wśród firm lub osób, których działania odbiegają od zasad CSR. Przykładem jest tworzenie się wirtualnych grup społecznych, które mogą mieć ogromny wpływ na przedsiębiorstwa, ponieważ wspólnie przeciwstawiają się pewnym decyzjom i działaniom firmy. Informacja zasiana w mediach społecznościowych ma praktycznie nieograniczony zasięg i dlatego często firmy uginają się i rezygnują z niezgodnych z CSR praktyk w obawie o jeszcze większe pogorszenie wizerunku w Web 2.0. Zatem efektywność CSR 2.0 będzie zależna od tego, czy dana firma, bądź grupa społeczna będzie w stanie realizować odpowiedzialny biznes w ramach nowych mediów i czy wykorzysta sieć do połączenia pewnych idei wokół swoich odbiorców. A to z kolei będzie możliwe, jeśli działania firmy zostaną uznane za autentyczne i zgodne z systemem wartości użytkowników portalu, na którym zostanie przeprowadzona akcja<sup>246</sup>.

CSR i ESG to szerokie, wielowymiarowe pojęcia. Obejmują wiele aspektów, a jednym z nich jest idea Green Computingu oraz technologia wirtualizacji. Pojęcie poddane jest ewolucji również poprzez koncepcję Web 2.0, którą wirtualizacja w technologicznym ujęciu wspiera. Zatem pozytywne przesłanki z zastosowania wirtualizacji znajdują swoje odzwierciedlenie w ekonomicznym rachunku zysków, mimo że niewymierne korzyści są trudne do wyliczenia, jednak nie do przecenienia. W perspektywie najbliższych lat kwestie zrównoważonego rozwoju oraz CSR będą stanowić główny wyznacznik jakości i konkurencyjności w biznesie. Tym bardziej, że zmiany przepisów i prawa, zapowiadane od kilku lat przez Komisję Europejską sprawią, że raportowanie społecznej odpowiedzialności stanie się obowiązkowe dla większej liczby przedsiębiorstw<sup>247</sup>. Od początku 2023 roku już nie tylko największe firmy, zatrudniające powyżej 500 pracowników i notowane na giełdach, będą objęte tą regulacją. Stanie się to koniecznością dla przedsiębiorstw znacznie mniejszych. W Polsce z początkiem 2023 roku obowiązkiem złożenia rocznego raportu (zgodnego z

---

<sup>245</sup> W. Leoński, *Wykorzystanie mediów społecznościowych w CSR*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach nr 300, 2016, s. 109.

<sup>246</sup> A. Proszowska, *CSR 2.0, czyli wykorzystanie mediów społecznościowych w kampaniach społecznej odpowiedzialności biznesu – studium przypadku z rynku polskiego*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 157, 2013, s. 64.

<sup>247</sup> <https://www.bureauveritas.pl/needs/iso-26000-przewodnik-esg-dla-firm>, z dn. 2023.06.12.

przyjętymi wytycznymi<sup>248</sup>) niefinansowego z zakresu CSR zostało objętych 30-40% firm ze wszystkich branż, czyli ponad 6000 organizacji<sup>249</sup>. Zatem raportowanie społecznej odpowiedzialności będzie w przyszłości nieodzownym elementem branży IT.

### 3.2. Analiza ROI/TCO rozwiązań wirtualizacyjnych

#### 3.2.1. Opis wskaźników ROI i TCO

W dobie społeczeństwa informacyjnego nie ma wątpliwości czy należy stosować narzędzia i technologie informatyczne. Natomiast każdy menedżer IT zanim podejmie strategiczną decyzję o implementacji nowego rozwiązania w swoje środowisko IT powinien poznać odpowiedź na dwa podstawowe pytania:

1. Ile będzie kosztować wdrożenie nowej technologii?
2. Jaki krótkoterminowy i długoterminowy zysk osiągnie firma poprzez wdrożenie nowej technologii?

O ile kwestia nakładów inwestycyjnych, czyli kosztów w takim rachunku jest względnie prosta do identyfikacji, to znacznie bardziej złożone jest definiowanie i kwantyfikowanie efektu będącego wynikiem wdrożenia nowego rozwiązania IT, na przykład wirtualizacji we własne środowisko IT lub inwestycji w usługi Cloud Computing. Wymierne korzyści (albo straty), które można osiągnąć nie są proste do wyliczenia. Obecnie jest wykonywanych niewiele badań oraz analiz, które jednoznacznie wskazywałyby, a w zasadzie dostarczały danych i informacji, potwierdzających korzyści ze stosowania wirtualizacji. A o konieczności rozumienia i przedstawiania zdarzeń, zjawisk, koncepcji za pomocą liczb pisał już w XIX w. brytyjski fizyk pochodzenia irlandzkiego, matematyk oraz przyrodnik Sir William Thomson:

*„Kiedy potrafisz zmierzyć to o czym mówisz i wyrazić to w postaci liczb, wiesz coś o tym; ale kiedy nie potrafisz wyrazić tego w liczbach, twoja wiedza jest skąpa i niewystarczająca; może być to początek wiedzy, ale jej poziom zaawansowania jest niewielki w kontekście stanu nauki.”*

H. Dudycz i M. Dyczkowski od kilku lat zajmują się w swojej działalności naukowo-badawczej problematyką organizacji i zarządzania złożonymi przedsięwzięciami informatycznymi ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień ich **efektywności ekonomicznej**.

<sup>248</sup> [https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne\\_do\\_raportowania\\_ESG.pdf](https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne_do_raportowania_ESG.pdf), z dn. 2023.06.12.

<sup>249</sup> *Ibidem*, z dn. 2023.05.28.

Badając procesy informatyzacji obiektów gospodarczych i instytucji oraz analizując ich rezultaty, H. Dudycz i M. Dyczkowski zauważyli, że przedsiębiorstwa definiując strategię informatyzacji oraz planując pozyskanie i wdrożenie systemów informatycznych powinny przeprowadzić rachunek efektywności ekonomicznej umożliwiający ocenę planowanych projektów traktowanych jako inwestycje. Inwestowanie w technologie informatyczne wymaga bowiem znacznych nakładów, a efekty praktycznie zawsze pojawiają się z opóźnieniem w stosunku do ponoszonych wydatków. Dlatego też jednym z podstawowych zagadnień w planowaniu przedsięwzięć informatycznych jest jak najbardziej precyzyjne określenie ich efektywności<sup>250</sup>. Autorzy przyjęli w swoich opracowaniach, że efektywność (definiowana również jako skuteczność, umiejętność, pozytywny wynik) to zdolność do realizacji przyjętej strategii przedsiębiorstwa (także w zakresie informatyzacji) i osiągnięcia przyjętych w niej celów. Pojęcie efektywność, według autorów, powinno być postrzegane przez pryzmat efektywności ekonomicznej, a więc odnoszone do ekonomicznego rezultatu przedsięwzięcia, liczonego jako wynik relacji zakładanych lub uzyskanych efektów do planowanych lub poniesionych kosztów<sup>251</sup>.

Takie podejście prezentuje również M. Dyczkowski, który w swoich licznych, indywidualnych pracach dokonuje analizy efektywności ekonomicznej zastosowania systemów klasy takich jak: BI<sup>252</sup> (ang. *Business Intelligence*), FSM<sup>253</sup> (ang. *Field Service Management*) oraz FFA<sup>254</sup> (ang. *Field Force Automation*), jak również projektów e-biznesowych<sup>255</sup>. Autor prezentuje zastosowanie różnego rodzaju metod i wskaźników na zdywersyfikowanych projektach. Szczególny nacisk kładzie jednak na sektor publiczny, wskazując, że projekty tam realizowane, powinny zawsze być poprzedzone analizą efektywności ekonomicznej.

---

<sup>250</sup> H. Dudycz, M. Dyczkowski, *Procedura pomiaru i oceny efektywności przedsięwzięć informatycznych. Podstawowe problemy metodyczne*, w: *Informatyka – ocena efektywności*, H. Dudycz, M. Dyczkowski, J. S. Nowak (red.), Polskie Towarzystwo Informatyczne – Oddział Górnośląski, Katowice 2006, s. 33.

<sup>251</sup> *Ibidem*, s. 34.

<sup>252</sup> M. Dyczkowski, *Analiza efektywności ekonomicznej zastosowania systemów klasy Business Intelligence w sektorze MŚP: podstawy metodyczne*, *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management* T. 78, 2016, s. 22-33.

<sup>253</sup> M. Dyczkowski, *Analiza efektywności ekonomicznej zastosowania systemu klasy FSM w optymalizacji łańcucha usług mobilnych. Podstawy metodyczne i studium przypadku*, *Zeszyty Naukowe. Ekonomiczne Problemy Usług* nr 67, 2011, s. 337-344.

<sup>254</sup> M. Dyczkowski, *Źródła wiedzy wspomaganie procesu zarządzania efektywnością zastosowań systemów klasy FSM/FFA w obszarze zarządzania publicznego*, *Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach. Studia Ekonomiczne* nr 99. *Technologie wiedzy w zarządzaniu publicznym*, 2012, s. 45-54.

<sup>255</sup> M. Dyczkowski, *Badanie efektywności ekonomicznej informatycznych projektów e-biznesowych: założenia metodyczne i studia przypadków*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne Problemy Usług* nr 58. *E-gospodarka w Polsce. Stan obecny i perspektywy rozwoju. Część II*, 2010, s. 445-453.

Ocena efektywności rozwiązań informatycznych jest również obiektem badań P. Lecha, który w swoich pracach<sup>256</sup> definiuje pojęcie efektywności rozwiązań informatycznych wspierających zarządzanie oraz klasyfikuje i prezentuje metody oceny tej efektywności. Autor podkreśla, iż systemy informatyczne zarządzania mają za zadanie wspieranie procesów gospodarczych, prowadzących do osiągnięcia przez organizację założonych przez nią celów. Według P. Lecha ocena rozwiązania informatycznego, rozumianego jako zbiór procesów gospodarczych i narzędzi informatycznych wspierających te procesy, powinna obejmować skuteczność (czyli stopień w jakim rozwiązanie to powoduje osiągnięcie zamierzonych celów) oraz efektywność (rozumianą jako stosunek wszelkich efektów, czyli wyników uznanych za użyteczne do wszystkich nakładów, czyli kosztów związanych z osiągnięciem tych wyników<sup>257</sup>). Autor wskazuje, że istnieje wiele metod i narzędzi oceny efektywności rozwiązań informatycznych. Część z nich koncentruje się na aspekcie skuteczności mierząc stopień, w jakim IT umożliwia osiągnięcie celów organizacji. Inne oceniają stosunek korzyści z rozwiązania informatycznego do kosztów, koncentrując się na wybranej grupie kosztów i korzyści lub podejmując próbę oceny wszystkich z nich. Jednak dobór odpowiedniej metody jest uważany za jedno z najtrudniejszych zagadnień oceny efektywności przedsięwzięcia informatycznego<sup>258</sup>.

Technologia wirtualizacji jest metodą bardziej efektywnego wykorzystywania posiadanej infrastruktury, gdzie efektywność w tym przypadku należy rozumieć jako stosunek pomiędzy efektami osiągniętymi po wdrożeniu technologii wirtualizacji, a ponoszonymi nakładami IT na jej wdrożenie:

$$\text{efektywność} = \frac{\text{efekty}}{\text{nakłady}} \quad (1)$$

Firmy chcąc zachować przewagę konkurencyjną nieustająco starają się zwiększać efektywność wykorzystywanych zasobów lub systemów informatycznych, tym samym z jednej strony poszukują sposobów zredukowania ponoszonych kosztów (sprzętu, oprogramowania, administracji itp.), czyli racjonalizacji nakładów, a z drugiej strony optymalizują i starają się

---

<sup>256</sup> P. Lech, *Metodyka ekonomicznej oceny przedsięwzięć informatycznych wspomagających zarządzanie organizacją*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2007; P. Lech, *Przegląd metod oceny efektywności rozwiązań informatycznych wspierających zarządzanie*, w: *Badania Systemowe: Zastosowanie informatyki w nauce, technice i zarządzaniu*, J. Studziński, L. Drelichowski, O. Hryniewicz (red.), Instytut Badań Systemowych PAN, 2005.

<sup>257</sup> P. Lech, *Metodyka ekonomicznej... op. cit.*, s. 35.

<sup>258</sup> P. Lech, *Przegląd metod... op. cit.*, s. 35-45.

zwiększać i skalować efekty. W celu jednoznacznej oceny efektywności inwestycji informatycznej należy w sposób mierzalny, czyli wymierny zdefiniować zarówno efekty (korzyści, które można osiągnąć) jak i nakłady (koszty, które trzeba ponieść).

Wybór metod, adekwatnych do specyfiki danego przedsięwzięcia informatycznego jest uważany za jeden z głównych problemów w procesie oceny<sup>259</sup>. Zatem pomiar efektywności musi opierać się na jednoznacznych kryteriach i adekwatnych do zastosowania w środowisku danego projektu metodach i miarach<sup>260</sup>. Opłacalność inwestycji informatycznej można mierzyć wykorzystując do tego celu różne wskaźniki. Jednak w przypadku wdrożenia technologii wirtualizacji najbardziej adekwatny jest wskaźnik zwrotu z inwestycji **ROI (ang. Return On Investment)**, natomiast w celu określenia całkowitego kosztu posiadania IT wykorzystywana jest analiza **TCO (ang. Total Cost of Ownership)**. Pomiar efektywności technologii wirtualizacji jest możliwy dzięki użyciu ogólnodostępnych kalkulatorów ROI/TCO, które w sposób przejrzysty prezentują całkowity koszt posiadania oraz zwrot z inwestycji poniesionej na przeniesienie maszyn fizycznych do środowiska wirtualnego w perspektywie do 3 do 6 lat do przodu. Jeśli jednak organizacja nie chce wdrażać technologii wirtualizacji, a jedynie migrować w stronę usług CC (które jak to zostało wskazane w niniejszej dysertacji są oparte na rozwiązaniach wirtualizacyjnych) lub już wirtualizację stosuje w hybrydowej formie i chce migrować oprogramowanie on-premises do chmury CC, to kalkulatory ROI/TCO estymują całkowity koszt posiadania oraz zwrot z inwestycji w takie rozwiązanie technologiczne, również w perspektywie do 6 lat do przodu.

Analiza TCO służy do oceny bieżących i prognozowanych wydatków na infrastrukturę informatyczną. Metoda ta została opracowana przez firmę Gartner w 1987 roku, pierwotnie jako sposób szacowania wszystkich kosztów, jakie mogą wystąpić w cyklu życia systemu informatycznego poczynając od pozyskania systemu, jego użytkowanie i utrzymania, aż po jego likwidację<sup>261</sup>. Pozwala to obliczyć całkowity koszt posiadania (lub utrzymania) IT a użycie tej analizy umożliwia identyfikację wszystkich kosztów związanych z użytkowaniem technologii przez przedsiębiorstwo. Najważniejszym składnikiem modelu, oprócz systemu klasyfikacji kosztów zawierających bogatą listę kategorii, jest także baza danych statycznych o kosztach informatyki dla wielu branż<sup>262</sup>.

---

<sup>259</sup> P. Lech, *Metodyka ekonomicznej... op. cit.*, s. 135.

<sup>260</sup> M. Dyczkowski, *Badanie efektywności... op. cit.*, s. 445.

<sup>261</sup> M. Sobińska, *Zarządzanie outsourcingiem informatycznym*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2008, s. 56.

<sup>262</sup> B. Bujak, *TCO - czyli zarządzanie całkowitymi kosztami IT*, <http://www.tco.pl/?p=746>, z dn. 2023.06.12.



Kompletny model TCO według Gartnera składa się z następujących elementów<sup>263</sup>:

1. Systemu klasyfikacji kosztów zawierającego obszerną listę kategorii kosztów obejmujących zarówno koszty bezpośrednie, jak i koszty pośrednie (ukryte).
2. Bazy danych statystycznych o kosztach informatyki dla wielu branż. Służy ona do celów porównawczych – koszty w danym przedsiębiorstwie można porównać ze średnimi kosztami podobnych firm w branży.
3. Metodyki analizy oraz planowania kosztów.
4. Zestawu zaleceń rekomendacji (najlepszych praktyk), które mogą prowadzić do racjonalizacji kosztów użytkowania technologii informatycznej.
5. Zestawu narzędzi programowych umożliwiający automatyzację kontroli i planowania oraz prowadzenia ulepszeń TCO.

Istotna dla każdego projektu jest racjonalizacja nakładów inwestycyjnych. Redukcja kosztów w modelu TCO przebiega w sposób bardziej efektywny, jeśli prowadzona jest na trzech równoległych płaszczyznach: szkolenie ludzi, wdrażanie procesów, wprowadzanie technologii, które nie są trudne w serwisowaniu, ani tym bardziej w obsłudze i zarządzaniu nimi. Przedsiębiorstwa, które konsekwentnie wdrażają ten model mogą pochwalić się sporymi sukcesami w dziedzinie obniżania kosztów<sup>264</sup>:

1. Ludzie – szkolenia zarówno użytkowników jak i serwisantów.
2. Procesy – automatyzacja i optymalizacja procesów, wprowadzanie nowszych rozwiązań.
3. Technologia – upowszechnianie nowych rozwiązań technologicznych.

Jednak problemem dla każdej z firm wprowadzających TCO jest określenie jakie dokładnie zmiany i innowacje trzeba wprowadzić w każdej z trzech wymienionych wyżej dziedzin, aby redukcja kosztów była możliwa. Analiza kosztów, według metodyki TCO, jest swego rodzaju audytem informatyki. TCO wymaga zbadania wielu aspektów funkcjonowania infrastruktury IT, jak również przeprowadzenia ankiety wśród użytkowników końcowych.

---

<sup>263</sup> M. Sobińska, *Analiza finansowa outsourcingu informatycznego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2004, s. 447.

<sup>264</sup> B. Bujak, *TCO – czyli... op. cit.*

Metoda ta jest zatem próbą opisu i kalkulacji stanu informatyki w przedsiębiorstwie w danym okresie<sup>265</sup>.

Metodyka ROI jest udoskonalana od blisko 50 lat. Już w latach 70. ubiegłego wieku została opracowana przez Jacka J. Phillipsa, ulepszono ją później w praktyce w latach 80 i przyjęto na całym świecie w latach 90. ROI został powszechnie zaakceptowany, stając się jednym z głównych narzędzi do mierzenia efektywności programów szkoleniowych<sup>266</sup>. Jednak jednym z najbardziej nieoczekiwanych kierunków rozwoju metody jest jej implementacja w obszarach innych niż uczenie i rozwój. Wśród nich można wymienić zarządzanie zasobami ludzkimi, a następnie konsulting, marketing, zarządzanie projektami, spotkania i imprezy biznesowe oraz kształcenie wyższe<sup>267</sup>. Natomiast uniwersalność tej metodyki zaowocowała stosowaniem ROI również w branży IT i obecnie wskaźnik zwrotu z inwestycji uważany jest za najpopularniejszą metodą oceny efektywności projektów informatycznych<sup>268</sup>. ROI jest wskaźnikiem stosowanym w celu zmierzenia skuteczności działania przedsiębiorstwa, niezależnie od struktury jego majątku, czy czynników nadzwyczajnych. Jest to analityczna metoda sięgająca do obszarów finansów, statystyki, matematyki i technologii, wykorzystywana w celu ograniczenia ryzyka towarzyszącego decyzji inwestycyjnej<sup>269</sup>.

Przez swoich przeciwników, ROI uważana jest za mało przydatną i niedokładną metodę pomiaru<sup>270</sup>. Ponadto wskazywany jest jej statyczny charakter, wiążący się z nieuwzględnianiem zmian wartości pieniądza w czasie (co jednoznacznie związane jest z inflacją lub deflacją), a także subiektywizm, czyli zbytnią ogólność oraz niejednorodność metodyczną, wynikającą z braku jednej, powszechnie akceptowanej formuły obliczeniowej. Niezależnie od tych wad, ROI można uznać za prosty, syntetyczny miernik efektywności przedsięwzięć informatycznych, którego najważniejszymi zaletami są: zrozumiałość przez kadrę menedżerską i łatwość obliczania, gdyż wymagane dane są dostępne w standardowych sprawozdaniach finansowych<sup>271</sup>.

---

<sup>265</sup> K. Rytelewska, N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Problematyka zastosowania wybranych metod kontroli kosztów usług informatycznych w przedsiębiorstwie*, w: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, R. Knosali (red.), Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok 2011, s. 307.

<sup>266</sup> P. Pulliam Phillips, J. J. Phillips, *Zwrot z inwestycji w szkolenia i rozwój pracowników*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2009, s. 37.

<sup>267</sup> K. Hoffmann, *Metoda ROI J. J. Philipsa w mierzeniu efektywności pracy zespołowej*, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, nr 230, 2015, s. 167.

<sup>268</sup> R. Kozakiewicz, L. Borzemski, *Wykorzystanie wskaźnika ROI w ocenie efektywności inwestycyjnej projektu internetowego*, *Multimedialne i sieciowe systemy informacyjne. Materiały konferencyjne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s. 313-322.

<sup>269</sup> B. Bujak, *TCO – czyli... op. cit.*

<sup>270</sup> E. Syska, *Jak nie liczyć ROI*, *Serwis Gazeta-IT.pl*, 2003.

<sup>271</sup> M. Dyczkowski, *Źródła wiedzy... op. cit.*, s. 48.

Wskaźnik zwrotu z inwestycji ROI jest to stosunek zysku z inwestycji do poniesionych nakładów inwestycyjnych. Wskaźnik ROI jest wyrażany wzorem<sup>272</sup>:

$$ROI = \frac{Z_t}{NI_0} \times 100\% \text{ [%]}, \text{ gdzie:} \quad (2)$$

$Z_t$  – zysk przyniesiony przez inwestycję w określonym czasie  $t$ ,

$NI_0$  – początkowe nakłady inwestycyjne.

Klasyczna definicja współczynnika ROI – wzór (2) – nie do końca się sprawdza w przypadku analizy inwestycji, polegającej na wdrożeniu systemu informatycznego. Tak zdefiniowany wskaźnik może co prawda uwzględnić pewne korzyści wynikające z wdrożenia, nie pozwala jednak na kompleksową analizę całości przedsięwzięcia, gdyż nie uwzględnia korzyści, wynikających chociażby z usprawnienia procesów biznesowych. W tym kontekście bardziej zasadne wydaje się intuicyjne podejście do wskaźnika ROI i przedstawienie go jako stosunku korzyści  $Z_t$  (przez P. Lecha określanych korzyściami netto<sup>273</sup>), skorygowanych o poniesione nakłady  $NI_0$ , odniesionych do poniesionych nakładów  $NI_0$ <sup>274</sup>:

$$ROI = \frac{Z_t - NI_0}{NI_0} \times 100\% \text{ [%]} \quad (3)$$

Obydwa podejścia są stosowane w praktyce biznesowej, jednak na potrzeby niniejszej dysertacji zostanie przyjęty wzór (3) i zaimplementowany w autorskim kalkulatorze ROI/TCO, o który będzie opisany w części badawczej niniejszej pracy.

W przypadku implementacji technologii wirtualizacji we własne środowisko IT, zysk  $Z_t$  będzie rozumiany jako różnica całkowitych kosztów powstania, funkcjonowania i utrzymania (przez czas  $t$ ) pomiędzy środowiskiem fizycznym i wirtualnym (wzór 4):

---

<sup>272</sup> R. Kozakiewicz, L. Borzemski, *Wykorzystanie wskaźnika... op. cit.*, s. 313-322.

<sup>273</sup> P. Lech, *Metodyka ekonomicznej... op. cit.*, s. 74.

<sup>274</sup> A. Wasilewski, E. Wróbel, *Wybór systemu informatycznego z uwzględnieniem analizy efektywności inwestycyjnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005, s. 117.

$$Z_t = TCO_t^f - TCO_t^w, \text{ gdzie:} \quad (4)$$

$TCO_t^f$  – całkowity koszt posiadania fizycznego środowiska informatycznego przez czas  $t$ ,

$TCO_t^w$  – całkowity koszt posiadania wirtualnego środowiska informatycznego przez czas  $t$ .

Przyjmując definicję ROI wyrażoną wzorem (3) oraz uwzględniając pojęcie zysku  $Z_t$  wyrażonego wzorem (4), otrzymujemy:

$$ROI = \left( \frac{TCO_t^f - TCO_t^w}{NI_0} - 1 \right) \times 100\% \text{ [%]}, \text{ gdzie:} \quad (5)$$

$TCO_t^f$  – całkowity koszt posiadania fizycznego środowiska informatycznego przez czas  $t$ ,

$TCO_t^w$  – całkowity koszt posiadania wirtualnego środowiska informatycznego przez czas  $t$ ,

$NI_0$  – początkowe nakłady inwestycyjne.

Natomiast w przypadku implementacji rozwiązań chmurowych we własne środowisko IT (fizyczne, wirtualne lub hybrydowe), zysk  $Z_t$  będzie rozumiany jako różnica całkowitych kosztów powstania, funkcjonowania i utrzymania (przez czas  $t$ ) pomiędzy posiadanym środowiskiem ( a usługami utrzymywanymi w chmurze (wzór 6):

$$Z_t = TCO_t^f - TCO_t^w, \text{ gdzie:} \quad (6)$$

$TCO_t^f$  – całkowity koszt posiadania aktualnego środowiska informatycznego przez czas  $t$ ,

$TCO_t^w$  – całkowity koszt posiadania usług utrzymywanych w chmurze przez czas  $t$ .

Przyjmując definicję ROI wyrażoną wzorem (3) oraz uwzględniając pojęcie zysku  $Z_t$  wyrażonego wzorem (7), otrzymujemy:

$$ROI = \left( \frac{TCO_t^f - TCO_t^w}{NI_0} - 1 \right) \times 100\% \quad [\%], \text{ gdzie:} \quad (7)$$

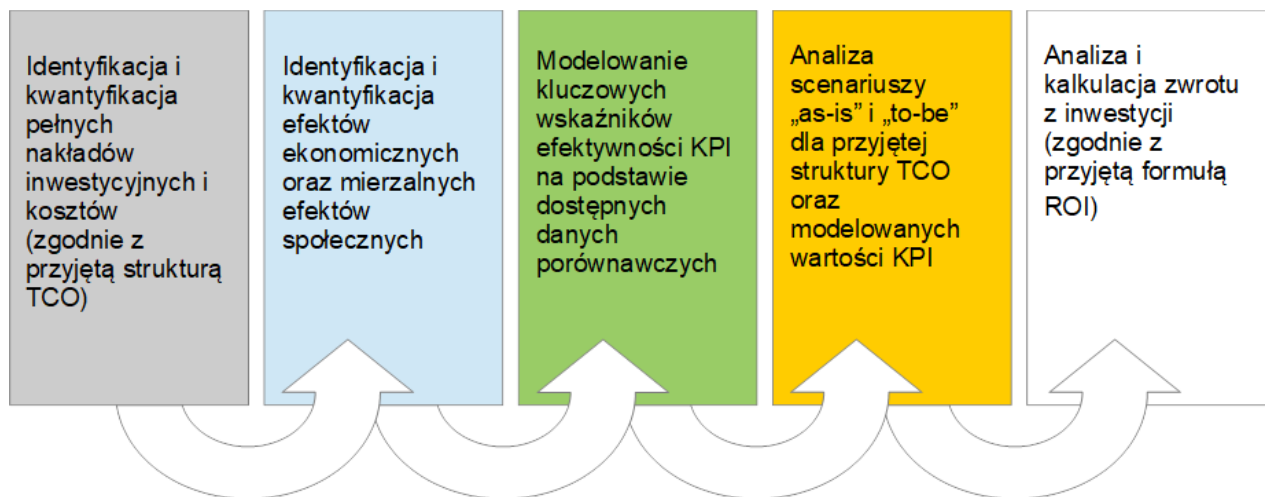
$TCO_t^f$  – całkowity koszt posiadania aktualnego środowiska informatycznego przez czas  $t$ ,

$TCO_t^w$  – całkowity koszt posiadania usług utrzymywanych w chmurze przez czas  $t$ ,

$NI_0$  – początkowe nakłady inwestycyjne.

Przykładowo, osiągnięcie 300% ROI w ciągu czasu 3 lat oznacza, że dana firma zanotuje 3-krotny zwrot z inwestycji po upływie tego czasu. Wskaźnik może przyjmować wartość ujemną, co będzie oznaczać, że w rozpatrywanej perspektywie czasowej projekt nie jest rentowny – inwestycja może się zwrócić, ale w dłuższym okresie, np. wskaźnik ROI na poziomie -50% po upływie 1 roku od inwestycji oznacza, że w tym czasie projekt będzie generować straty. Inwestycja zwróci się w drugim roku (0% ROI), a po 3 latach firma odnotuje 50% zysk z wdrożenia.

M. Dyczkowski w jednej ze swoich publikacji przedstawił schemat procesu analizy efektywności ekonomicznej metodami TCO i ROI (rysunek 3.2).



**Rysunek 3.2. Ogólny schemat procesu analizy efektywności ekonomicznej metodami TCO i ROI**

Źródło: Na podstawie M. Dyczkowski, *Źródła wiedzy... op. cit.*, s. 51.

Przedstawiony powyżej proces opiera się na podejściu, w którym strona kosztowa jest przejrzysta oraz względnie łatwa w identyfikacji i kwantyfikacji. Jest to słuszne wyłącznie wtedy, gdy używa się adekwatnych do charakterystyk przedsięwzięć struktur TCO oraz dysponuje niezbędnymi danymi (historycznymi albo porównawczymi). Dlatego też warto takie

dane gromadzić lub wymagać od potencjalnych dostawców rozwiązań IT budżetowania swoich ofert zgodnie z wymaganą w konkretnej analizie strukturą nakładów i kosztów. Są to podstawowe źródła wiedzy o stronie nakładowo-kosztowej przedsięwzięć IT<sup>275</sup>.

Bardziej złożone i obarczone większym rozrzutem oszacowań jest identyfikowanie oraz kwantyfikowanie korzyści będących wynikiem przedsięwzięć IT, zwłaszcza w sytuacji, gdy analiza jest prowadzona dla scenariusza typu „to be” (lub niekiedy zwanego „what if”), czyli co będzie, gdy nowe rozwiązanie zostanie wdrożone. Dlatego też, według M. Dyczkowskiego, oprócz gromadzenia danych historycznych i porównawczych o uzyskanych wymiernych efektach lub utraconych korzyściach, należy rozszerzyć proces badania o analizę kluczowych wskaźników efektywności KPI, (ang. *Key Performance Indicators*), charakteryzujących wspomagane procesy biznesowe. Modelowanie oczekiwanych wartości KPI na podstawie danych porównawczych pozwala w sposób pośredni wiarygodnie estymować możliwe do osiągnięcia przyrosty produktywności (redukcje kosztów i zmiany wskaźników wydajności). Jeżeli dodatkowo podczas wdrożenia, a następnie nadzoru powdrożeniowego, istnieje dostęp do rzeczywistych danych produkcyjnych dla implementowanych rozwiązań, to można przyjąć założenie, że zmiana monitorowanych KPI odzwierciedla jakość i efektywność wdrożonych systemów. Współczynniki zmiany KPI względnie łatwo jest następnie przełożyć na konkretne wielkości finansowe, gdyż każdy z nich jest skojarzony z określonymi obiektami kosztowymi lub przychodami. Wszystkie wymienione elementy stanowią podstawowe źródła wiedzy o stronie efektów lub utraconych korzyści przedsięwzięć IT<sup>276</sup>. Zdaniem M. Dyczkowskiego, mając niezbędne dane, można próbować automatyzować proces analityczny, tworząc odpowiednie narzędzia wspomagające. Przykładem może być kalkulator ROI/TCO. Idea działania takiego narzędzia powinna być zgodna z przedstawionym schematem. Autor nie przedstawia w swojej pracy konkretnego kalkulatora, jedynie wskazuje, że takie narzędzie zostało stworzone w wersji prototypowej w arkuszu kalkulacyjnym Excel<sup>277</sup>.

Podjęcie M. Dyczkowskiego do oceny efektywności przedsięwzięcia IT jest wielowymiarowe. Sam proces jest uniwersalny i w dużym stopniu może być stosowany do implementacji każdego przedsięwzięcia IT. Jak już zostało to wskazane w niniejszej pracy – zarówno analiza całkowitych kosztów posiadania TCO, jak i wskaźnik ROI – są adekwatnymi metodami oceny efektywności wdrożenia wirtualizacji. Odnosząc proces implementacji omawianej technologii do schematu przedstawionego przez M. Dyczkowskiego, w celu analizy

---

<sup>275</sup> M. Dyczkowski, *Źródła wiedzy... op. cit.*, s. 51.

<sup>276</sup> *Ibidem*, s. 52.

<sup>277</sup> *Ibidem*, s. 53.

efektywności należy przede wszystkim zidentyfikować i odpowiednio sklasyfikować wszystkie koszty posiadania IT. Analiza powinna przebiegać w dwóch scenariuszach, w których należy porównać całkowity koszt stanu „as is” oraz „to be”. W przypadku wdrażania wirtualizacji koszt posiadania fizycznego (f) środowiska informatycznego  $TCO_t^f$  z wirtualnym (w)  $TCO_t^w$ . W przypadku migracji w usługi CC należy porównać koszt fizycznej, hybrydowej lub wirtualnej infrastruktury do całkowitych kosztów posiadania rozwiązań chmurowych. Dzięki temu możliwe będzie obliczenie zysku  $Z_t$  oraz początkowego nakładu inwestycyjnego  $NI_0$ . Poszczególne wartości wskaźników efektywności KPI będą niezbędne do wyliczenia niektórych kosztów, na przykład: wskaźnik FTE<sup>278</sup> przy wyliczaniu kosztów administracji systemu, średnie zapotrzebowanie na chłodzenie i zasilanie serwerów przy wyliczaniu kosztów energii elektrycznej, czy liczba gigabajtów potrzebnej pamięci na serwer przy wyliczaniu kosztów pamięci.

Wyzwaniem w ocenie efektywności wirtualizacji jest analiza scenariuszy „as is” i „to be”. W przypadku gdy organizacja nie posiada rozwiązań wirtualnych, to należy stworzyć symulację, w której technologia została wdrożona i dla tego scenariusza wyliczyć koszty według przyjętej struktury TCO. Jeśli firma ma już rozwiązania wirtualizacyjne i chciałaby się dowiedzieć jakie oszczędności (lub straty) poczyniła, to należy przeanalizować symulację z założeniem, że pozostaje przy technologii fizycznej i dotychczas nie wdrożyła wirtualizacji. Jeżeli firma chce przejść w usługi CC (oparte na wirtualizacji), należy przeanalizować obecnie popełniane koszty oraz te potencjalnie popełniane po migracji do chmury.

Analizę i kalkulację zwrotu z inwestycji można dokonać przy użyciu ogólnodostępnych kalkulatorów ROI/TCO – narzędzi pomiaru efektywności technologii wirtualizacji. Wynikiem użycia omawianych kalkulatorów jest analiza zarówno kosztów wdrożenia potrzebna do obliczenia TCO, jak i (w wybranych kalkulatorach) wskaźnik ROI sięgający w perspektywie od 3 aż do 6 lat do przodu. Najbardziej popularne kalkulatory to Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator, VMware TCO Comparison Calculator, VMware Cloud on AWS TCO Calculator i Azure TCO Calculator, które szczegółowo zostaną omówione w podrozdziale 4.2.

---

<sup>278</sup> FTE (ang. *Full Time Equivalent*) – zaangażowanie jednego pracownika w dany projekt.

### 3.2.2. Klasyfikacja kosztów wdrażania

Priorytetem w każdej firmie powinno być stałe utrzymywanie transparentności kosztów. Pozwala to na obserwowanie wydatków na bieżąco i daje możliwość szybkiego podejmowania odpowiednich kroków w zarządzaniu budżetem. Jak podaje Gartner, warto także porównywać ponoszone przez organizację koszty z analogicznymi kosztami innych firm, o ile organizacja ma dostęp do takich danych. Jeżeli w którymś obszarze ponoszone koszty są wyższe niż średnia branży, to obszar ten jest może właśnie jest potencjalnym kandydatem dla optymalizacji kosztów<sup>279</sup>. Jednak, aby takie działanie było możliwe konieczna jest właściwa identyfikacja i klasyfikacja (a następnie kwantyfikacja) ponoszonych kosztów IT.

Twórcy metodologii TCO, firma Gartner, początkowo zakładali podział kosztów na dwie podstawowe grupy<sup>280</sup> – koszty budżetowane przez dział IT (indukowane przez pracowników działu IT) oraz koszty budżetowane poza działem IT (generowane przez użytkowników systemu). Obecnie klasyczny model TCO zakłada podział kosztów związanych z działalnością informatyczną na dwie główne kategorie – **koszty bezpośrednie i koszty pośrednie**.

**Koszty bezpośrednie** (ujawnione w budżecie działu IT i listach płac) są to koszty księgowane, dotyczące m.in. oprogramowania, sprzętu, zarządzania zasobami, rozwojem systemu<sup>281</sup>. Można je bez problemu oszacować w dziale księgowości, jako fakturę zakupową lub usługową, czy też wypłatę dla pracowników działu IT. Natomiast koszty pośrednie (ukryte, budżetowane poza działem IT) są to wydatki związane z użytkownikiem końcowym oraz z przestojami systemu. Wysokość kosztów pośrednich odzwierciedla sprawność systemów informatycznych. Im wyższa jakość, niezawodność oraz dostępność systemu, tym „tańsze” użytkowanie systemu, a zatem niższe koszty pośrednie<sup>282</sup>. Zatem omawiane wydatki sprawdzają efektywność aplikacji informatycznych. Jeżeli systemy są bardziej zmodernizowane, a aplikacje nie wymagają ingerencji „osób trzecich” i przestojów, wówczas

---

<sup>279</sup> *Efektywny, optymalny, oszczędny. Dzięki IT*, <https://pl.euro-linux.com/blog/efektywny-optymalny-oszczedny-dzieki-it>, z dn. 2023.06.12.

<sup>280</sup> G. Krzykowski, E. Syska, *Zarządzanie informacją w decyzjach inwestycyjnych*, Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego, 2003, s. 321-332.

<sup>281</sup> H. Dudycz, *Porównanie metod badania efektywności przedsięwzięć informatycznych*, Prace Naukowe. Akademia Ekonomiczna w Katowicach, 2006, s. 77-85.

<sup>282</sup> M. Sobińska, *Analiza finansowa... op. cit.*, s. 447.



koszty pośrednie zostaną zredukowane. Natomiast, jeżeli są częste awarie i uszkodzenia, wówczas koszty te będą relatywnie wysokie<sup>283</sup>.

W literaturze przedmiotu dostępnych jest wiele opracowań bazujących na metodologii TCO, które klasyfikują koszty na bezpośrednie i pośrednie w różnych stopniu szczegółowości. Jedną z propozycji przeglądu kosztów zaprezentował w swoim opracowaniu B. Bujak wraz z przykładowym rozkładem wydatków (tabela 3.1).

**Tabela 3.1. Przegląd kosztów modelu TCO z przykładowym ich rozkładem według B. Bujak**

Koszty w modelu TCO (100%)	
Koszty bezpośrednie (53%)	Sprzęt i oprogramowanie (22%)
	Wsparcie (17%)
	Zarządzanie i administracja (11%)
	Planowanie i rozwój (2%)
Koszty pośrednie (47%)	Koszty komunikacyjne (1%)
	Koszty użytkownika końcowego (36%)
	Przestoje (11%)

Źródło: Na podstawie B. Bujak, *TCO – czyli... op. cit.*

Inną propozycję zaprezentowali K. Rytelewska, N. Siemieniuk i T. Siemieniuk, dzieląc koszty podobnie na bezpośrednie i pośrednie, uwzględniając jednak dodatkowe elementy życia systemu (tabela 3.2).

<sup>283</sup> K. Rytelewska, N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Problematyka zastosowania..., op. cit.*, s. 308.

**Tabela 3.2. Przegląd kosztów modelu TCO według K. Rytelewska i in.**

Koszty w modelu TCO	
Koszty bezpośrednie	Zakup i utrzymanie sprzętu
	Zakup i utrzymanie systemu operacyjnego
	Zakup i utrzymanie oprogramowania baz danych
	Zakup i utrzymanie oprogramowania aplikacyjnego
	Zakup utrzymanie narzędzi administracyjnych
	Wdrożenie
	Rozbudowa sprzętu
	Aktualizacja oprogramowania
	Przedłużenie licencji
	Zarządzanie oprogramowaniem (m.in. zarządzanie licencjami)
	Gwarancja
	Całkowite koszty wycofania lub zastąpienia istniejącego rozwiązania
Koszty pośrednie	Koszty osobowe pracowników oddelegowanych do realizacji projektu
	Szkolenia
	Przestrzeń biurowa zajmowana na potrzeby IT
	Koszty przeplanowanych przerw w działaniu
	Koszty odtworzenia po awarii

Źródło: Na podstawie K. Rytelewska, N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Problematyka zastosowania..., op. cit.*, s. 309.

Najbardziej szczegółowy rozkład i klasyfikację zaprezentował jednak R. Niemiec, który na bazie metodologii Gartner opracował wykaz poszczególnych wydatków (tabela 3.3).

**Tabela 3.3. Przegląd kosztów modelu TCO według R. Niemiec**

Koszty w modelu TCO		
Koszty budżetowane przez dział IT	Sprzęt i oprogramowanie	Stacje robocze i serwery
		Oprogramowanie własne i obce (licencje)
		Oprzysądowanie sieciowe
	Działania techniczne	Obsługa stacji roboczych i urządzeń peryferyjnych
		Obsługa serwerów
		Obsługa urządzeń sieciowych
		Planowanie i zarządzanie świadczeniem usług
		Rozbudowa systemów informatycznych firmy
		Administracja bazami danych
		Wsparcie użytkownika
	Działania administracyjne	Zarządzanie i administracja
		Kontrole i audyty
		Zakupy i zarządzanie kontraktami
		Współpraca z dostawcami i podwykonawcami
		Szkolenia personelu IT
	Koszty data center i wynajem biura dla IT	Czynsze i media
		Wyposażenie pomieszczeń
		Koszty konserwacji wyposażenia

Koszty w modelu TCO		
Koszty budżetowane poza działem IT	Udział w szkoleniach	Koszty pracy pracowników różnych działów
		Koszty usług obcych (wynajem firm szkoleniowych, koszty pośrednictwa)
		Koszty telekomunikacji związanej ze szkoleniami
		Koszty komunikacji i diet
	Przestoje	Koszty naprawy systemu informatycznego
		Koszty utraty produktywności wywołanej zwolnieniem lub zatrzymaniem procesów firmy
	Pomoc koleżeńska	
	Samodzielna nauka i rozwiązywanie problemów	
	Zarządzanie plikami danych	Telekomunikacja pracowników
		Komunikacja i diety związane z transferem danych
		Materiały eksploatacyjne
	Tworzenie drobnego oprogramowania	
	Koszty odtworzenia utraconych danych	
	Obniżenie wydajności firmy	Poprzez dostępność Internetu
		Poprzez proces wdrażania nowych systemów (jeśli nie uwzględniono w kosztach przestojów)
Poprzez brak akceptacji rozwiązań informatycznych		
Poprzez brak umiejętności obsługi systemów informatycznych		
Koszty energii zużywanej przez system informatyczny		

Źródło: Na podstawie R. Niemiec, *Metoda Total Cost of Ownership oceny efektywności inwestycji informatycznych*, Zagadnienia Techniczno-Ekonomiczne T. 50, z. 2-3, 2005, s. 355-359.

Zaprezentowane klasyfikacje różnią się od siebie, a nawet posiadają niejednoznaczności. Na przykład według K. Rytelewskiej i in. koszt wynajem przestrzeni biurowej dla działu IT jest kosztem pośrednim, podczas gdy B. Bujak nie uwzględnia go w ogóle, a R. Niemiec klasyfikuje wydatek jako koszt budżetowany w ramach działalności operacyjnej IT. Autorów, oprócz stopnia szczegółowości zaprezentowanych kosztów, różni także podejście do ujęcia utrzymania i wsparcia IT – czasem te wydatki są klasyfikowane razem z zakupem, a niekiedy wykazywane jako osobna pozycja na liście kosztów. Żadne z opracowań nie ujmuje sposobu policzenia danego kosztu, czyli jakie wziąć pod uwagę czynniki i parametry oraz jaki jest konkretny algorytm (wzór) na wyliczenie danej wartości. Dlatego niektóre pozycje brzmią jak niezdefiniowane hasła, bez wyjaśnienia jak je interpretować oraz skwantyfikować.

Jednak największym wyzwaniem jest „odnalezienie” i określenie kosztów pośrednich. K. Rytelewska i in. określają omawiane wydatki jako „bardzo ciekawe i ryzykowne”, a także

jako koszty, które najczęściej w ogóle nie są uwzględnione w środkach finansowych firmy<sup>284</sup>. Faktem jest, że pozycje takie jak pomoc koleżeńska czy samodzielna nauka i rozwiązywanie problemów wydają się być czymś naturalnym, co funkcjonuje w kulturze organizacyjnej, a nie są wydatkiem, który ponosi organizacja. Natomiast koszty użytkownika końcowego, czy obniżenie wydajności firmy to wielkości zbyt ogólne, a zarazem zbyt indywidualne, aby je policzyć dla każdej z organizacji w ten sam sposób.

W celu łatwiejszej i bardziej precyzyjnej identyfikacji, klasyfikacji i kwantyfikacji wszystkich kosztów związanych z funkcjonowaniem działu IT oraz wykorzystywaniem systemów informatycznych, można dokonać ich podziału na koszty inwestycyjne CAPEX (czyli koszt inwestycyjny) oraz operacyjne OPEX (czyli koszt operacyjny). W tym podziale istotne jest, że bierze on pod uwagę nie tylko koszt wyprodukowania systemu w danym momencie, ale także koszt utrzymania w przyszłości. Organizacja powinna być świadoma późniejszych kosztów utrzymania i brać je pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o wdrożeniu danego systemu. Dlatego IT powinno wspomagać organizację, informując o dokładnych konsekwencjach wyboru danej architektury systemu i podejścia<sup>285</sup>.

Koszty CAPEX odnoszą się do wydatków związanych z rozwojem produktu lub systemu, zaś operacyjne OPEX są związane z jego utrzymaniem. Taki podział pozwoli usystematyzować i podzielić koszty jednorazowe, czyli inwestycyjne  $NI_0$ , od tych ponoszonych przez cały okres, dla którego jest dokonywana analiza TCO.

M. Dyczkowski w autorskim schemacie procesu analizy efektywności ekonomicznej metodami TCO i ROI (omówionym w podrozdziale 3.2.1) wskazuje, iż identyfikacja i kwantyfikacja pełnych nakładów inwestycyjnych oraz kosztów powinna być zgodna z przyjętą strukturą TCO. Autor nie narzuca jak ta struktura powinna wyglądać. Z drugiej strony w literaturze przedmiotu istnieje przekonanie, że pomiar efektywności musi opierać się na jednoznacznych kryteriach i adekwatnych do zastosowania w środowisku danego projektu metodach i miarach<sup>286</sup>. To oznacza, że klasyfikacja kosztów wdrażania również musi być adekwatna do analizowanego scenariusza, czyli implementacji rozwiązania wirtualizacyjnego. Dlatego konieczny jest właściwy dobór kosztów OPEX i CAPEX, charakteryzujący życie badanej wirtualnej infrastruktury IT.

---

<sup>284</sup> K. Rytelewska, N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Problematyka zastosowania...*, *op. cit.*, s. 308.

<sup>285</sup> K. Kaczor, *Scrum i nie tylko. Teoria i praktyka w metodach Agile*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020, s. 27-28, 43.

<sup>286</sup> M. Dyczkowski, *Badanie efektywności...* *op. cit.*, s. 445.

Po przeglądzie kosztów w modelu TCO dokonanego w niniejszym podrozdziale, jak również po uwzględnieniu specyfiki technologii wirtualizacji, do struktury TCO została przyjęta poniższa klasyfikacja wydatków inwestycyjnych i operacyjnych (tabela 3.4).

**Tabela 3.4. Przegląd kosztów modelu TCO według autorki dysertacji**

Koszty w modelu TCO	
CAPEX	Koszty sprzętu
	Koszty oprogramowania
	Koszty pamięci masowej
	Koszty sprzętu sieciowego
	Koszty szkoleń i konsultingu
	Koszty likwidacji sprzętu
OPEX	Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania
	Koszty zasilania i chłodzenia
	Koszty wynajem data center
	Koszty administracji systemu

Źródło: Opracowanie własne na podstawie B. Bujak, *TCO – czyli... op. cit.*; K. Rytelewska, N. Siemieniuk, T. Siemieniuk, *Problematyka zastosowania..., op. cit.*, s. 309; R. Niemiec, *Metoda Total..., op. cit.*, s. 355-359.

W przypadku wdrożenia technologii wirtualizacji, rozważając koszty wdrożenia, cykl życia całego systemu jak i potencjalne oszczędności, najważniejsze są aspekty związane ze sprzętem, oprogramowaniem, pamięcią masową oraz sprzętem sieciowym. Dlatego też wydatki na zakup, wsparcie i utrzymanie tych komponentów zostały odpowiednio sklasyfikowane i podzielone na koszty inwestycyjne, i operacyjne. Równie istotnym aspektem w świetle utrzymania systemu, jak i całej analizy TCO, są wydatki związane z zasilaniem i chłodzeniem posiadanej infrastruktury IT. Ponadto koszty OPEX zostały uzupełnione o wynajem centrum przetwarzania danych oraz administrację systemu z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków ewentualnej awarii. Wskazane wydatki mają istotny wpływ na optymalizację kosztów w przypadku wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych, dlatego tak istotne jest ich wyszczególnienie.

Dodatkowo do kosztów CAPEX zostały dodane koszty szkoleń i konsultingu (lub outsourcingu), rozumiane jako jednorazowa inwestycja przy decyzji o migracji systemu. W praktyce organizacje korzystają z takich usług i niekiedy wydatek z tym związany stanowi istotną część sumy inwestycyjnej. Ponadto żadna ze wskazanych klasyfikacji nie uwzględniała kosztów utylizacji sprzętu, co stanowi naturalny koniec cyklu życia serwerów, komputerów, macierzy dyskowych, czy sprzętu sieciowego. Istotą wdrożenia wirtualizacji jest redukcja zasobów sprzętowych, dlatego koszt likwidacji jest ważny i powinien być wyszczególniony przy analizowaniu całkowitego TCO.

Przyjęta klasyfikacja kosztów modelu TCO jest intuicyjna i klarowna ze względu na podział na inwestycje i utrzymanie, precyzyjna poprzez uwzględnienie wielu aspektów życia systemu opartego na wirtualizacji, a przede wszystkim adekwatna do analizowanej sytuacji, czyli wdrożenia technologii wirtualizacji. Takie podejście jest zgodne z przyjętym przez M. Dyczkowskiego schematem procesu analizy efektywności ekonomicznej metodami TCO i ROI oraz założeniem, w którym ten proces musi opierać się na podejściu, gdzie strona kosztowa jest przejrzysta oraz względnie łatwa w identyfikacji i kwantyfikacji<sup>287</sup>.

Przedstawiona klasyfikacja kosztów stanowić będzie podstawę autorskiego kalkulatora ROI/TCO według założonej koncepcji opisanej w podrozdziale 3.2.3 i 4.2.

### 3.2.3. Narzędzia pomiaru rentowności inwestycji – kalkulatory ROI/TCO

A. Rota i P. Chrobak w swoim artykule<sup>288</sup> jednoznacznie wskazali, że jedną z korzyści wynikającą z wirtualizacji środowiska informatycznego jest redukcja całkowitych kosztów aktywów w ramach modelu TCO, gdzie aktywa rozumiane są jako wszystkie elementy oprogramowania oraz sprzętu komputerowego, jaki znajduje się w danym środowisku biznesowym. Autorzy zdefiniowali TCO jako całkowity koszt pozyskania, instalowania, użytkowania, utrzymywania i pozbycia się aktywów w organizacji w określonym czasie oraz twierdzą, że obniżenie TCO następuje poprzez zwiększenie wykorzystania sprzętu. Autorzy nie pokazują jednak żadnych obliczeń, które dowodziłyby temu stwierdzeniu. Zaś istotnym aspektem podjęcia decyzji o wdrożeniu technologii wirtualizacji jest właśnie kwestia ekonomiczna, a konkretnie wyliczenie całkowitych kosztów inwestycji. Taka inwestycja nie jest jednak prosta do oszacowania, ponieważ aby obliczyć TCO oraz czas zwrotu z inwestycji należy wziąć pod uwagę wiele czynników.

W analizie całkowitych kosztów posiadania IT i ocenie zwrotu z inwestycji mogą być pomocne **kalkulatory**, pozwalające na dokładniejsze porównanie systemu dostosowanego do specjalnych wymagań przedsiębiorstwa, w którym planowane jest wdrożenie takiego rozwiązania<sup>289</sup>. Omawiane narzędzia umożliwiają szczegółową analizę wszystkich wydatków związanych z implementacją nowej technologii (na przykład wdrożeniem rozwiązań wirtualizacyjnych) we własnej infrastrukturze, jak również analizę kosztów migracji posiadanych zasobów do usług CC (szczególnie w zakresie infrastruktury serwerowej).

---

<sup>287</sup> *Ibidem*, s. 445.

<sup>288</sup> A. Rot, P. Chrobak, *Wirtualizacja infrastruktury...*, *op. cit.*, s. 167–177.

<sup>289</sup> P. Karwatka i in., *Technologia w e-commerce...*, *op. cit.*, s. 182.

Kalkulatory są głównie oferowane przez producentów oprogramowania wirtualizacyjnego, sprzętu, a także przez dostawców usług CC. Są to komercyjne, bezpłatne narzędzia udostępnione po pozostawieniu danych kontaktowych.

Kalkulatory, jak również ich przeznaczenie, zmieniały się i ewoluowały wraz z rozwojem i popularyzacją rozwiązań wirtualizacyjnych. Początkowo jako narzędzia służące do obliczenia TCO i ROI z inwestycji w nową technologię, obecnie jako kalkulatory do estymacji potencjalnych kosztów i zysków z tytułu migracji do usług CC, które zbudowane są na bazie technologii wirtualizacji. W latach 2010-2011 pojawiły się na rynku pierwsze, bezpłatne narzędzia pozwalające wyliczyć potencjalny zysk z tytułu migracji zasobów fizycznych w środowisko wirtualne. Takimi kalkulatorami mogli pochwalić się ówcześni najwięksi producenci technologii wirtualizacji jak: VMware, Microsoft oraz firma Parallels. Omawiane narzędzia szczegółowo pozwalały użytkownikom na wyliczenie zarówno całkowitego TCO, jak i zwrotu z inwestycji ROI. Niektóre z nich uwzględniały również kwestie ekologiczne, dotyczące szacowania wpływu wirtualizacji na emisję dwutlenku węgla. Dla producentów był to zaś sposób na budowanie bazy potencjalnych klientów, ponieważ narzędzia były dostępne jedynie po zalogowaniu się na stronę producenta.

Z czasem wirtualizacja stała się rozwiązaniem popularnym, a organizacje stosowały rozwiązania hybrydowe z silnym akcentem na usługi chmurowe. Producenci, stare kalkulatory zastąpili nowymi narzędziami pozwalającymi estymować zysk z tytułu wyboru konkretnego rozwiązania technologicznego, na przykład wdrożenia wirtualizacji w porównaniu z rozwiązaniem konkurencji lub z tytułu przejścia do usług CC. Oprócz VMware i Microsoft swoje narzędzia przygotowały firmy takie jak Amazon Web Services (kalkulator wylicza całkowite TCO przy migracji zasobów do chmury AWS<sup>290</sup>) i Hewlett Packard Enterprise (kalkulatory obliczają TCO i ROI przy wyborze konkretnych rozwiązań dyskowych HPE<sup>291</sup>).

Ostatecznie do badań empirycznych w niniejszej pracy zostało wybranych pięć, najbardziej kompleksowych i jednocześnie popularnych (zarówno parę lat temu, jak i teraz) kalkulatorów:

1. Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator.
2. VMware TCO Comparison Calculator.
3. VMware Cloud on AWS TCO Calculator.
4. Azure TCO Calculator.

---

<sup>290</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: <https://awstcccalculator.com>, z dn. 2019.10.21.

<sup>291</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: [https://www.hpe.com/emea\\_europe/en/solutions/tco-calculators.html](https://www.hpe.com/emea_europe/en/solutions/tco-calculators.html), z dn. 2023.06.12.

5. VMware Carbon Calculator (jako osobne narzędzie do wyliczania emisji poziomu CO<sub>2</sub>).

Narzędzia 1-4 to kalkulatory ROI/TCO, które szczegółowo wykazują poniesione koszty przez organizację oraz osiągnięte przez nią potencjalne zyski (lub straty) z tytułu inwestycji, gdzie inwestycją może być wdrożenie rozwiązań wirtualizacyjnych lub implementacja rozwiązań chmurowych opartych o wirtualizację. Wybrane narzędzia są mocno zdywersyfikowane, oparte o inne założenia jak również klasyfikacje. Celem narzędzia 5, czyli VMware Carbon Calculator jest wykazanie poziomu emisji dwutlenku węgla, na podstawie całkowitego zużycia energii i liczby godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów. W rozdziale czwartym niniejszej dysertacji, kalkulatory zostaną poddane analizie i krytyce, a wyciągnięte wnioski będą podstawą do stworzenia koncepcji autorskiego kalkulatora ROI/TCO i wykorzystania go w przyjętej w dysertacji linii badań.



## Rozdział 4. Metodyka badań DSR, a zastosowanie technologii wirtualizacji

### 4.1. Opis metody badawczej DSR

Głównym celem badawczym dysertacji jest opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO do oceny efektywności zastosowania technologii wirtualizacji, jak również jego późniejsza, praktyczna weryfikacja w czasie warsztatu symulacyjnego, ewaluacja w wybranych badanych jednostkach i walidacja. Do realizacji celu głównego niniejszej rozprawy prowadzą następujące cele pośrednie:

1. Wykonanie analizy uwarunkowań i determinantów istotnych w technologii wirtualizacji i procesach jej implementacji w infrastrukturę IT organizacji.
2. Wykonanie analizy porównawczej istniejących kalkulatorów ROI/TCO w celu wskazania punktów wspólnych oraz braków, jak również późniejszej unifikacji narzędzia.

Aby osiągnąć cel badawczy, wykorzystano metodykę badań **projektowych DSR** (ang. *Design Science Research*). DSR to podejście do badań naukowych zaproponowane przez A. Hevnera i in., opisane w artykule „*Design Science in Information Systems Research*”<sup>292</sup>. DSR to organizacja i realizacja badań naukowych o charakterze projektowym, w którym na podstawie wiedzy naukowej, wiedzy środowiska gospodarczego determinującego przedmiot badań, generowana jest nowa, oryginalna wiedza, uzupełniająca zasoby wiedzy uprzedniej, ale równocześnie mająca znaczenie i użyteczna dla przedstawicieli praktyki gospodarczej. W konsekwencji przyjęcia podejścia DSR, należy oczekiwać oryginalnego rozwiązania naukowego i narzędzia użytecznego dla praktyków (tzw. artefaktu). Zatem DSR podejmuje praktyczne wyzwania, jednocześnie wnosząc wkład zarówno w praktykę, jak i teorię zyskując w ten sposób coraz większe uznanie wśród badaczy systemów informatycznych. Metodyka DSR z powodzeniem wykorzystywana jest również do tworzenia projektów zapewniających najwyższą użyteczność w kontekście zarządzania procesami biznesowymi.

W paradygmacie A. Hevnera najważniejsze są artefakty<sup>293</sup>. Sam artefakt jest rezultatem badań naukowych, jest tworzony w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, co pozwala na jednoczesne weryfikowanie i ewaluację tworzonego artefaktu.

---

<sup>292</sup> A. R. Hevner i in., *Design Science in Information Systems Research*, MIS Quarterly 28(1), 2004, s. 75–105.

<sup>293</sup> <https://docplayer.pl/1535388-Seminarium-dla-doktorantow-paradygmat-badan-naukowych-hevnera-i-in.html>, z dn. 2023.06.12.

Artefakty, które są celem dowolnego badania naukowego według paradygmatu A. Hevnera są szeroko rozumiane jako: konstrukcje (słowniki i symbole), modele (abstrakcje i prezentacje), metody (algorytmy i praktyki), przykłady (systemy wdrożone i prototypy), nowe teorie konstrukcji i eksploatacji. Dogłębną analizę typów artefaktów przeprowadził również Offermann i in., którzy w swojej publikacji „*Artifact Types in Information Systems Design Science – A Literature Review*”<sup>294</sup> zweryfikowali wiele artykułów naukowych i przeprowadzonych badań. Wskazali tam kilkanaście kategorii artefaktów (w tym model prototypu i prototyp), aby finalnie zdefiniować osiem typów artefaktów, takich jak: nowe projekty systemów, metody, języki/notacje, algorytmy, wytyczne, wymagania, wzorce lub metryki. Jednak niezależnie od typologii i klasyfikacji, termin artefakt jest używany dla wyróżnienia czegoś co jest sztuczne i stworzone przez ludzi. Należy również wskazać, że tworzone przez badacza artefakty nie są wolne od teorii. Polegają na podstawowych dla dziedziny nauki teoriach, które są stosowane, weryfikowane, modyfikowane i negowane poprzez badania. Zgodnie z paradygmatem A. Hevnera konstrukcje są koncepcjami charakteryzującymi zjawiska. Sam artefakt powinien być użyteczny dla rozwiązania zidentyfikowanych problemów organizacji gospodarczych. Przykładowo w publikacji B. Gawina i B. Marcinkowskiego „*Setting up Energy Efficiency Management in Companies: Preliminary Lessons Learned from the Petroleum Industry*”<sup>295</sup> jako artefakt został przyjęty referencyjny proces pilotażowego wdrożenia EEM, zaś w artykule J. Winiarskiego i B. Marcinkowskiego „*e-Commerce Websites and the Phenomenon of Dropshipping: Evaluation Criteria and Model*”<sup>296</sup> zorientowany na dropshipping rozszerzony model E-S-QUAL/E-RecS-QUAL. Natomiast w przypadku niniejszej dysertacji takim artefaktem jest prototyp kalkulatora ROI/TCO.

Badanie DSR obejmuje działania związane z konstrukcją i oceną artefaktów technicznych dla zaspokojenia potrzeb organizacji społecznej jak i dla rozwoju związanych z nią teorii. Hevner zaproponował zestaw wytycznych DSR<sup>297</sup>:

---

<sup>294</sup> P. Offermann, S. Blom, M. Schönherr, U. Bub, *Artifact types in information systems design science – A literature review*, Lecture Notes in Computer Science 6105, 2010, s. 77–92.

<sup>295</sup> <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5604/html>, z dn. 2023.06.12.

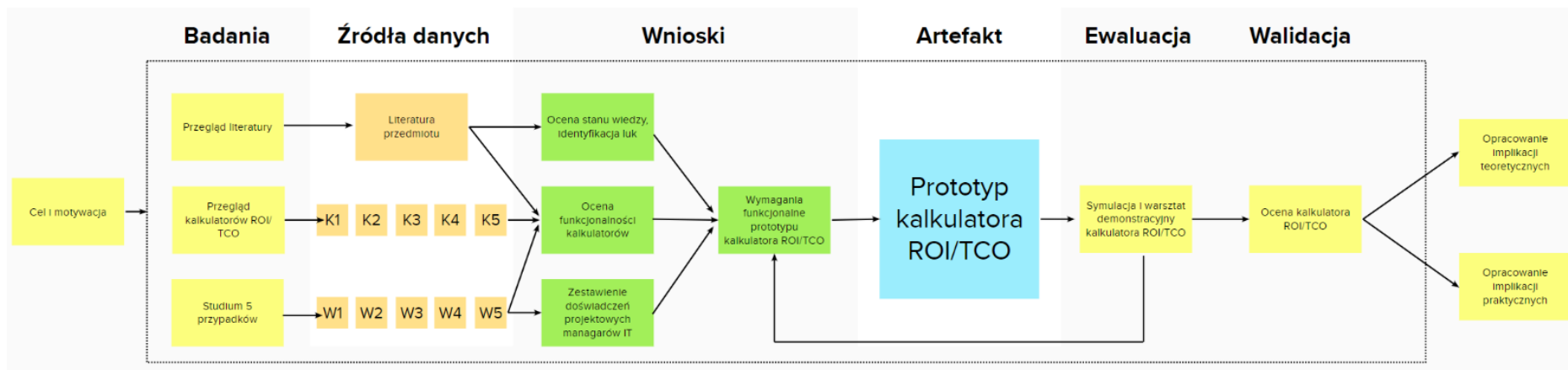
<sup>296</sup> J. Winiarski, B. Marcinkowski, *e-Commerce websites and the phenomenon of dropshipping: evaluation criteria and model*, M. Themistocleous, M. Papadaki, M. Kamal (red.), Information Systems: 17th European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference, EMCIS 2020, Dubai, United Arab Emirates, November 25-26, 2020: proceedings. T. 402, 2020, s. 289–300.

<sup>297</sup> <https://docplayer.pl/1535388-Seminarium-dla-doktorantow-paradygmat-badan-naukowych-hevnera-i-in.html>, z dn. 2023.06.12.

1. Projekt jako artefakt. Badanie poprzez projekt systemu informatycznego musi tworzyć istotne artefakty w postaci konstrukcji koncepcji, modelu, metody, przykładu lub prototypu.
2. Relewancja problemu. Celem badania w oparciu o projekt ma być rozwój rozwiązania technicznego dla ważnych problemów biznesowych.
3. Ewaluacja projektu. Użyteczność, jakość i skuteczność projektowanych artefaktów musi być konsekwentnie weryfikowana za pośrednictwem dobrze przygotowanych planów ewaluacji.
4. Wkład badań do nauki. Badanie powinno zapewnić zrozumiały i weryfikowalny wkład w postaci artefaktów, podstaw i metod projektowania.
5. Porządek badań. Badanie powinno polegać na zastosowaniu rygorystycznych metod zarówno dla konstrukcji jak i ewaluacji artefaktów projektu.
6. Projekt jako proces poszukiwań. Efektywne poszukiwanie artefaktów wymaga wykorzystania dostępnych środków dla osiągnięcia pożądaných celów przy równoczesnym respektowaniu prawa środowiska problemowego.
7. Komunikacja w badaniu. Badanie powinno być przedyskutowane w gronie interesariuszy zorientowanych zarówno na technologię informacji jak i na zarządzanie biznesowe

A. Hevner pozostawia badaczom swobodę wyboru metod badawczych do wypracowania artefaktu. Autorka niniejszej dysertacji wybrała przegląd literatury, studium pięciu przypadków, wywiady z ekspertami, analizę porównawczą kalkulatorów ROI/TCO, stworzenie narzędzia dla praktyków (prototypu kalkulatora ROI/TCO), symulację na tym narzędziu, na podstawie danych pozyskanych w czasie wywiadów oraz warsztat demonstracyjny w celu sprawdzenia użyteczności zaproponowanego artefaktu, czyli jego ewaluacji i walidacji.

Zatem biorąc pod uwagę powyższe wytyczne DSR, jak i przyjęte przez autorkę metody badawcze, dla osiągnięcia celu badawczego przyjęta została poniższa linia badań (rysunek 4.1).



**Rysunek 4.1. Linia badań**

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Powyższa linia badań, zgodna z DSR, przyjęta w niniejszej pracy, zakłada pięć głównych kroków badawczych, które mając na uwadze cel i motywację autorki dysertacji, poprzez badania teoretyczne (systematyczny przegląd literatury) i praktyczne (badania empiryczne), mają na celu ustanowienie nowego wkładu do wiedzy naukowej. Kompletna linia badań składa się z poniższych kroków:

1. Badania literaturowe, wywiady i przegląd dostępnych kalkulatorów ROI/TCO
2. Wnioski z badań zakończone zdefiniowaniem wymagań funkcjonalnych artefaktu.
3. Opis artefaktu - prototypu kalkulatora ROI/TCO.
4. Ewaluacja artefaktu podczas warsztatu demonstracyjnego.
5. Walidacja gotowego prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Aby osiągnięcie zdefiniowanych w pracy celów badawczych było możliwe, zgodnie z przyjętą w niniejszej dysertacji linią badań, w kroku pierwszym został przeprowadzony systematyczny przegląd literatury oraz badania empiryczne. Celem badań teoretycznych było pozyskanie oraz skatalogowanie wiedzy na temat wirtualizacji dostępnej w literaturze krajowej i zagranicznej – definicji, klasyfikacji, zastosowań, a także znaczenia w kontekście pojęć takich jak Cloud Computing, Green Computing i ESG. Ponadto wskazana została definicja ROI oraz TCO. Należy podkreślić fakt, że tematyka wirtualizacji jest opisywana w dostępnej literaturze głównie w ujęciu technologicznym (szczególnie w źródłach cyfrowych i anglojęzycznych), stosunkowo niewiele istnieje publikacji poruszających ten temat w kontekście ekonomicznym i ekologicznym, toteż realizacja celu badań pozwala na uzupełnienie tej luki poznawczej.

W ramach badań empirycznych autorka dokonała przeglądu pięciu kalkulatorów ROI/TCO. Źródłem danych były komercyjne narzędzia, które są lub były powszechnie dostępne – Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator, VMware ROI TCO Calculator, VMware TCO Comparison Calculator, VMware Cloud on AWS TCO Calculator, Azure TCO Calculator oraz VMware Carbon Calculator. Wskazane narzędzia zostały poddane szczegółowej analizie, a następnie krytyce.

Trzecim, istotnym elementem kroku pierwszego przyjętej linii badań jest studium pięciu przypadków implementacji technologii wirtualizacji przez polskie i międzynarodowe organizacje. Materiał został zebrany przy użyciu metody wywiadu pogłębionego IDI (ang. *Individual in Depth Interview*) podczas spotkań przeprowadzonych w przedsiębiorstwach lub telefonicznie, w którym wykorzystano pytania zamknięte, półotwarte i otwarte. Taka

konstrukcja kwestionariusza pozwoliła na wykorzystanie rzetelnego źródła danych, czyli zbadanie uwarunkowań wdrożeń i dokonanie analizy porównawczej wyników.

Krok drugi przyjętej w niniejszej dysertacji linii badań, to wnioski wyciągnięte z zebranych materiałów teoretycznych, jak również badań empirycznych. Ocena funkcjonalności dostępnych kalkulatorów ROI/TCO, ich porównanie, wskazanie niejednoznaczności i luk, jest podstawą stworzenia prototypu autorskiego kalkulatora ROI/TCO. Ostatnie źródło wniosków to zestawienie doświadczeń projektowych managerów IT. Zebrane wskazane powyżej wnioski były fundamentem identyfikacji wymagań funkcjonalnych prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Zdefiniowanie artefaktu, czyli opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO, to trzeci krok przyjętej linii badań zgodnej z DSR. Narzędzie zostało stworzone w wersji prototypowej w arkuszu kalkulacyjnym Excel, posiada formularz na dane wejściowe, listy rozwijane z danymi do wyboru, słowniki danych, a przede wszystkim zdefiniowane formuły opracowane zgodnie z przyjętymi algorytmami. Na tej podstawie kalkulator generuje dane wyjściowe takie jak TCO, ROI (jako wielkość procentowa, jak również czas zwrotu z inwestycji w ujęciu czasu), poziom emisji dwutlenku węgla. Ponadto narzędzie generuje wykresy wskazujące TCO i ROI w ujęciu od 3 do 6 lat. Sam artefakt w kroku trzecim został opisany w sposób szczegółowy na bazie wskazanych w poprzednim kroku wniosków.

W ramach kroku czwartego artefakt poddany został ewaluacji w czasie symulacji i warsztatów demonstracyjnych prototypu kalkulatora ROI/TCO, które przeprowadzone zostały z dwoma wybranymi menedżerami IT, którzy byli również respondentami w ramach przeprowadzonych badań empirycznych. Warsztaty polegały na prezentacji narzędzia wraz z symulacją obliczeń, czyli analizą porównawczą za pomocą prototypu. Wynikiem tejże analizy była identyfikacja, dla wybranych organizacji poddanych badaniom empirycznym, wszystkich kosztów wdrożenia wirtualizacji, obliczenie TCO i ROI, sięgające w perspektywie od 3 do 6 lat do przodu, jak również poziom emisji CO<sub>2</sub>. Ponieważ artefakt, zgodnie z DSR, należy stworzyć w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny (co pozwala na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie), to na podstawie wniosków pozyskanych w trakcie warsztatu, dokonane zostały udoskonalenia konstrukcji artefaktu dla polepszenia jego efektywności. To spowodowało powrót do kroku drugiego i wskazanie nowych wymagań funkcjonalnych.

Ostatni krok przyjętej linii badań zgodnej z DSR, to walidacja artefaktu, czyli ocena, która została dokonana przez autorkę niniejszej pracy gotowego prototypu pod względem

trafności, użyteczności, skuteczności, efektywności oraz trwałości. Cała linia badań została zakończona opracowaniem implikacji teoretycznych i praktycznych.

Zatem realizacja niniejszej pracy zgodnie z paradygmatem DSR i przyjętą powyżej linią badań wymaga:

- wskazania problemów badawczych w środowisku praktyki społeczno-gospodarczej;
- konstrukcji artefaktów w oparciu o wiedzę z praktyki i posiadaną przez autorkę wiedzę teoretyczną;
- zastosowania dla konstrukcji artefaktów metod badań jakościowych, takie jak studium przypadku, eksperyment, symulacja; iteracyjnego doskonalenia proponowanych artefaktów;
- oceny proponowanych przez badacza artefaktów;
- zastosowania generowanych przez badacza artefaktów w praktyce społeczno-gospodarczej;
- wprowadzenia do literatury w postaci publikacji wiedzy o wytworzonych przez badacza artefaktach;
- udzielenia odpowiedzi na pytanie, czy opracowane artefakty pozwalają organizacjom społeczno-gospodarczym skuteczniej i efektywniej funkcjonować?

Zdaniem A. Hevnera prowadzenie badań według paradygmatu DSR wymaga udzielenia odpowiedzi na 8 podstawowych pytań<sup>298</sup>:

1. Co jest problemem badawczym? Jakie są wymagania projektu?

Autorka niniejszej dysertacji dokonała poszukiwań problemów badawczych w środowisku praktyki społeczno-gospodarczej. Zdefiniowany problem: „Jakie są korzyści i ograniczenia efektów wdrażania technologii wirtualizacji w środowisko informatyczne przedsiębiorstwa?”, to przedmiot rozważań w ramach rozdziałów teoretycznych, jak również praktycznych. Tylko jasno sprecyzowany i postawiony problem badawczy, pozwala w ramach dalszych badań naukowych, znaleźć i zidentyfikować luki badawcze, co na dalszym etapie umożliwi opracowanie implikacji teoretycznych oraz praktycznych.

---

<sup>298</sup> <https://docplayer.pl/1535388-Seminarium-dla-doktorantow-paradygmat-badan-naukowych-hevnera-i-in.html>, z dn. 2023.06.12.

2. Co jest artefaktem? Jak artefakt jest przedstawiany?

Konstrukcja artefaktu w niniejszej pracy jest oparta o, posiadaną przez autorkę, wiedzę praktyczną i teoretyczną. Artefaktem w dysertacji jest kalkulator ROI/TCO jako działający prototyp narzędzia – rozwiązania informatycznego.

3. Z czego procesy badawcze będą korzystać dla budowania artefaktów? Gdzie poszukiwane są artefakty?

Artefakt poszukiwany jest poprzez przegląd stanu wiedzy i literatury, jak również poprzez badania empiryczne, w tym studium pięciu przypadków. W celu zbudowania artefaktu należy również wykonać analizę porównawczą dostępnych kalkulatorów ROI/TCO, aby wskazać jedno, zunifikowane narzędzie poddane późniejszej, praktycznej weryfikacji i ewaluacji (w czasie warsztatu symulacyjnego) oraz walidacji.

4. Jak artefakty i procesy projektu są osadzone w bazie wiedzy? Czy istnieje teoria wspomagająca budowę artefaktów i proces projektowania (design)?

Zawarte w niniejszej pracy rozdziały teoretyczne wspomagają budowę artefaktu, czyli prototypu kalkulatora ROI/TCO. Iteracyjne doskonalenie proponowanego artefaktu realizowane jest poprzez kolejne rozdziały teoretyczne dysertacji przywołujące definicje oraz teorie takich pojęć jak: wirtualizacja IT, Cloud Computing, Green Computing, jak również wskaźnik ROI i TCO oraz efektywność zastosowania technologii wirtualizacji.

5. Jakie oceny artefaktów są dokonywane w wewnętrznym cyklu projektowym, jakie udoskonalenia działań projektowania artefaktów są dokonywane podczas każdego cyklu projektowego?

Podczas cyklu projektowego stosowana jest ocena proponowanego przez autorkę artefaktu, czyli prototypu kalkulatora ROI/TCO, realizowana poprzez procesy ewaluacji (symulację oraz warsztat demonstracyjny) i walidacji.

6. Jak artefakt jest wprowadzany w środowisko zastosowań i jak jest tam testowany? Jakie metryki są stosowane dla demonstrowania użyteczności artefaktów i dla doskonalenia wcześniej utworzonych artefaktów?



W celu sprawdzenia użyteczności zaproponowanego artefaktu w praktyce należy zastosować zbudowany artefakt w praktyce społeczno-gospodarczej poprzez warsztat demonstracyjny, czyli przedstawienie użycia prototypu kalkulatora ROI/TCO na wybranych przykładach, na podstawie danych pozyskanych od respondentów w czasie wywiadów. Artefakt tworzony jest w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, co pozwala na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie, gdzie istotna jest obserwacja i pomiar, na ile dobrze artefakt wspomaga praktykę. W przypadku uwag i propozycji ulepszeń należy powrócić do etapu konstrukcji artefaktu w celu udoskonalenia jego efektywności.

#### 7. Jaka nowa wiedza jest wprowadzana do bazy wiedzy (literatury) i w jakiej postaci?

W ramach tego punktu należy rozważyć jak autorka niniejszej pracy powinna wprowadzić do literatury publikacje z zakresu efektywności technologii wirtualizacji i samego artefaktu. Na przykład w ramach opracowań naukowych i artykułów, oprócz przybliżenia tematu efektywności technologii wirtualizacji, do bazy wiedzy należy dodać i publicznej krytyce poddać sam artefakt – prototyp kalkulatora ROI/TCO.

#### 8. Czy problem badawczy został właściwie zaadresowany? Czy znalazł odpowiednie grono interesariuszy w praktyce gospodarczej?

Opracowany w niniejszej pracy artefakt powinien pozwolić organizacjom społeczno-gospodarczym na prawidłową ocenę efektywności dokonywanych przez nich inwestycji w technologię wirtualizacji, bądź w usługi CC oparte o technologię wirtualizacji. Dzięki czemu można założyć, że prototyp kalkulatora ROI/TCO powinien pozwolić badanym organizacjom skuteczniej i efektywniej podejmować decyzje inwestycyjne.

Zatem przyjęta w niniejszej dysertacji linia badań powinna wspierać poszukiwania odpowiedzi na powyższe pytania. Zachowanie rygoru metodyki DSR i sukcesywne przejście przez wszystkie kroki badawcze pozwoli te odpowiedzi znaleźć.

## 4.2. Przegląd kalkulatorów ROI/TCO

Jednym z najciekawszych narzędzi, z którymi spotkała się autorka niniejszej dysertacji jest kalkulator firmy Parallels – Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator – która oferuje swoim klientom wirtualizację kontenerową. Był to jeden z pierwszych kalkulatorów, przeznaczony dla organizacji, które rozważały wdrożenie tej technologii we własnej infrastrukturze. Firma Parallels od początku swojego istnienia do dnia dzisiejszego tworzy i oferuje oprogramowanie do wirtualizacji, jednak samego kalkulatora nie zdecydowała się rozwijać. Mimo to warto wskazać narzędzie przeanalizować, gdyż dzięki jego zastosowaniu istniała możliwość wyliczenia TCO, ROI oraz wskazanie rocznego poziomu emisji dwutlenku węgla, ale również porównanie uzyskanych wyników z infrastrukturą fizyczną (w przypadku pozostania w takim środowisku pracy) oraz wirtualną tradycyjną, nie kontenerową<sup>299</sup>. Zatem analiza dotyczyła migracji ze środowiska fizycznego w wirtualne i przedstawiała trzy alternatywne scenariusze. Interpretacja TCO według Parallels jest najbardziej zbliżona do tej zdefiniowanej przez Gartnera, ponieważ szczegółowo dzieli koszty na bezpośrednie (koszty sprzętu, oprogramowania, pamięci, sprzętu sieciowego, wyposażenia, administracji systemu, wykonywania kopii zapasowej, szkoleń) i pośrednie (koszty przestoju, usuwania skutków awarii, wdrażania aplikacji). Kalkulator został opracowany przez Alinean Inc, liderów wyliczania wartości pomiaru IT. Uzyskane wyniki były zatem oparte na badaniach przeprowadzonych przez Alinean Inc, w tym studium przypadku środowiska klientów firmy Parallels.

Kalkulator PVC jest intuicyjny i prosty w obsłudze, a jedynymi danymi wejściowymi kalkulatora są informacje dotyczące fizycznej infrastruktury serwerowej (profil IT): liczba procesorów, liczba rdzeni w procesorze, liczba serwerów i ich cena (tabela 4.1).

**Tabela 4.1. Dane wejściowe Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator – profit IT**

Profil infrastruktury	Liczba procesorów	Liczba rdzeni w procesorze	Liczba serwerów	Średnia cena serwera
Grupa 1				
Grupa 2				
Grupa 3				
Suma				

Źródło: Na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12.

<sup>299</sup> *Total Cost of Ownership Analysis: Parallels® Virtuozzo Containers VS Traditional Hypervisor Virtualization*, [http://www.odin.com/fileadmin/parallels/documents/hosting-cloud-enablement/pvc/whitepapers/TCO\\_Analysis\\_WP.pdf](http://www.odin.com/fileadmin/parallels/documents/hosting-cloud-enablement/pvc/whitepapers/TCO_Analysis_WP.pdf), z dn. 2019.10.21.

Ponadto użytkownik musi także określić dla jakiego systemu operacyjnego (Linux lub MS Windows) implementacja będzie się odbywać, nie ma możliwości dokonania analizy dla różnych OS, co może być znacznym utrudnieniem w przypadku złożonych infrastruktur. Ostatnią daną wejściową jest liczba lat, dla której TCO jest analizowany (tabela 4.2).

**Tabela 4.2. Dane wejściowe Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	System operacyjny	Linux
		MS Windows
2	Ramy czasowe TCO	3-5

Źródło: Na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12.

W pierwszym kroku kalkulator PVC wylicza wszystkie koszty bezpośrednie, zaczynając od estymacji zapotrzebowania sprzętowego, czyli liczby hostów, która jest niezbędna dla danej grupy serwerów. Na tej podstawie są również obliczane koszty oprogramowania systemu operacyjnego, oprogramowania wirtualizacyjnego oraz systemu zarządzania oprogramowaniem. Wydatek jest wyliczany z uwzględnieniem wsparcia (narzucona z góry wartość nawet, gdy OS jest darmowym Linuxem) w perspektywie ram czasowych analizy TCO. Kalkulator nie uwzględnia kosztów oprogramowania zainstalowanego na serwerach wirtualnych, należy zatem przyjąć, że licencje OS hosta zakładają dopuszczenie dowolnej liczby maszyn wirtualnych i instalacji na nich zakupionej licencji (np. Microsoft Server 2019, licencja Datacenter), bądź na VM będą uruchamiane systemy operacyjne typu open source. W przypadku, gdy na maszynach wirtualnych będą uruchamiane dedykowane, płatne systemy operacyjne, należy taki koszt doliczyć jako inwestycja.

Kolejny wydatkiem bezpośrednim według Parallels są wydatki związane z pamięcią. Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator zakłada, że w przypadku infrastruktury fizycznej na każdy serwer niezbędne jest 300 GB pamięci, w przypadku tradycyjnego VM jest to czterokrotnie mniejsze zapotrzebowanie, czyli 75 GB (niezależnie czy serwer jest hostem, czy maszyną wirtualną), zaś w przypadku kontenerów jest to 71 GB. Uwzględniając średnią cenę za 1GB pamięci, wyliczany jest całkowity koszt pamięci.

W kolejnym kroku kalkulator szacuje koszty sprzętu sieciowego, uwzględniając liczbę niezbędnych portów sieciowych oraz liczbę i cenę przełączników sieciowych. Następnie wyliczane są wydatki związane z wyposażeniem – koszt zasilania i chłodzenia, i dzierżawy przestrzeni przetwarzania danych. W zależności od określenia profilu IT (liczby rdzeni i procesorów) kalkulator zakłada dla każdego z hostów odpowiednią liczbę watów na zasilanie i

chłodzenie. Po uwzględnieniu niezbędnej mocy, rocznej eksploatacji na serwer (8766 godzin, bez uwzględnienia przestoju) i średniej ceny za kilowatogodzinę, obliczany jest nie tylko całkowity koszt zasilania, i chłodzenia, ale także poziom rocznej emisji dwutlenku węgla w każdym z trzech scenariuszy. Natomiast przy wyliczaniu wydatków na data center, narzędzie przyjmuje parametr 0,42 m<sup>2</sup> powierzchni potrzebnej na jeden serwer w centrum przetwarzania danych. Na podstawie tej informacji i średniej ceny za dzierżawę powierzchni, kalkulator wskazuje sumę kosztów wyposażenia w perspektywie ram czasowych TCO. Narzędzie nie uwzględnia możliwości posiadania własnego data center, a tym samym nieponoszenia dodatkowych wydatków z tego tytułu.

Kosztem bezpośrednim jest również administracja systemu, koszt wykonywania kopii zapasowej (wyliczany oddzielnie), a także wydatek na szkolenie związane z wdrożeniem rozwiązania wirtualizacyjnego. Kalkulator przyjmuje różne wskaźniki FTE (przy obsłudze 30 serwerów jest to cały etat w przypadku infrastruktury fizycznej, pół etatu w przypadku tradycyjnej wirtualizacji i 0,34 etatu w przypadku wirtualizacji kontenerowej) oraz czas wykonywania kopii zapasowej dla badanych scenariuszy. Przyjęte wskaźniki i średnia roczna pensja administratora, pozwalają na wyliczenie kosztów administracji i wykonywania kopii zapasowej. Wydatek szkolenia obejmuje nie tylko cenę samego kursu, ale również koszt uczestnictwa w nim administratora, który uwzględnia czas kursu i stawkę godzinową pracy administracyjnej.

W drugiej kolejności kalkulowane są koszty pośrednie, począwszy od przestoju. Wydatek ten liczony jest na podstawie liczby produkcyjnych serwerów, średniego czasu przestoju na serwer (4,38 godziny w przypadku serwera fizycznego i 2,19 godziny w przypadku tradycyjnej wirtualizacji i wirtualizacji kontenerowej) oraz średnich kosztów przedsiębiorstwa za godzinę przestoju. Natomiast koszty usuwania skutków awarii to wypadkowa liczby hostów, średniego czasu przywracania działania serwera (1 godzina na serwer fizyczny i 1,5 godziny w przypadku wirtualizacji), kosztów działalności przedsiębiorstwa podczas godziny przestoju oraz prawdopodobieństwa wystąpienia awarii (1%). Ostatnim kosztem pośrednim jest wydatek związany z wdrażaniem aplikacji, gdzie kalkulator estymuje liczbę aplikacji, która będzie wdrażana w ciągu roku i czas implementacji na 12 godzin (serwer fizyczny) lub 1,2 godziny (wirtualizacja tradycyjna i kontenerowa). Po uwzględnieniu średnich kosztów działalności przedsiębiorstwa podczas implementacji, estymowane są roczne koszty wdrażania aplikacji na serwer. Wszystkie koszty pośrednie wyliczane są w ramach czasowych TCO z uwzględnieniem tak zwanego „czynnika dla analizy”, który wynosi 20% i obniża tym samym wyliczone koszty o wskazaną wartość. Ponadto narzucana wartość średnich kosztów przedsiębiorstwa za godzinę

przebiegu, skalkulowana przez Alinean Inc na około 12 tys. zł, jest daną ogólną i powinna być uwzględniana indywidualnie w zależności od analizowanej organizacji.

Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator identyfikuje zatem następujące koszty (tabela 4.3).

**Tabela 4.3. Kalkulator TCO według Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator**

TCO		
Koszty bezpośrednie	Koszty sprzętu	liczba fizycznych serwerów * średni koszt serwera
	Koszty oprogramowania	koszt oprogramowania systemu operacyjnego wraz ze wsparciem + koszt oprogramowania wirtualizacyjnego wraz ze wsparciem + koszt systemu zarządzania oprogramowaniem wraz ze wsparciem
	Koszty pamięci	liczba serwerów * średnie zapotrzebowanie na pamięć na serwer [300 GB serwer fizyczny; 75 GB VM; 71 GB PVC] * średni koszt 1 GB pamięci [SAN i DAS]
	Koszty sprzętu sieciowego	liczba fizycznych serwerów * liczba portów sieciowych na serwer / liczba portów na przełącznik sieciowy [wartość zaokrąglona w górę] * koszt przełącznika sieciowego
	Koszty wyposażenia	(liczba fizycznych serwerów * (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) * liczba godzin pracy w skali roku [8766 h] / 1000 * koszt 1 kWh energii elektrycznej * liczba lat) + (liczba fizycznych serwerów * średnia powierzchnia potrzebna na serwer * średni koszt wynajem powierzchni data center * liczba lat)
	Koszty administracji systemu	liczba serwerów * FTE [0,5 serwer fizyczny; 0,25 VM; 0,17 PVC] * średnia roczna pensja administratora * liczba lat
	Koszty wykonywania kopii zapasowej	liczba serwerów [kopii zapasowych do wykonania] * średni czas wykonania kopii zapasowej [10 h serwer fizyczny; 1,6 VM; 0,3 PVC] * średnia stawka godzinowa administratora * liczba lat
	Koszty szkoleń	koszt szkolenia + (czas trwania szkolenia * średnia stawka godzinowa administratora)
Koszty pośrednie	Koszty przestoju	liczba serwerów produkcyjnych * średni roczne przestoje na serwer [4,38 serwer fizyczny; 2,19 VM; 2,19 PVC] * średnie koszty działalności przedsiębiorstwa podczas godziny przestoju * realizacja czynnika dla analizy [20%] * liczba lat
	Koszty usuwania skutków awarii	liczba fizycznych serwerów produkcyjnych * średni czas przywrócenia działania serwera [1 h serwer fizyczny; 1,5 h VM; 1,5 h PVC] * średnie koszty działalności przedsiębiorstwa podczas godziny przestoju * prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w roku [1%] * realizacja czynnika dla analizy [20%] * liczba lat
	Koszty wdrażania aplikacji	liczba wdrożonych aplikacji * średni czas wdrożenia aplikacji (12h serwer fizyczny; 1,2 h VM; 1,2 PVC] * średnie koszty działalności przedsiębiorstwa podczas wdrażania aplikacji * realizacja czynnika dla analizy [20%] * liczba lat

Źródło: Na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12.

Całkowite TCO to wynik dodania do siebie wszystkich kosztów bezpośrednich i pośrednich. Natomiast zysk  $Z_t$  obliczany jest jako różnica całkowitego kosztu posiadania środowiska fizycznego  $TCO_t^f$ , a wirtualnego  $TCO_t^w$ . Kalkulator identyfikuje również początkowe nakłady inwestycyjne  $NI_0$  jako sumę kosztów sprzętu, oprogramowania wirtualizacyjnego wraz ze wsparciem oraz szkoleń. Na podstawie otrzymanych danych finalnie wyliczony zostaje zwrot z inwestycji ROI zgodnie z wzorem (2). Ponadto kalkulator szczegółowo opisuje kwestie ekologiczne, czyli ponownie wskazuje w każdym ze scenariuszy roczny poziom emisji dwutlenku węgla.

Prostota kalkulatora Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator jest zarazem jego największą wadą, ponieważ ograniczona ilość wprowadzonych danych, powoduje, że narzędzie samo przyjmuje wartości domyślne i nawet jeśli są one zgodne z badaniami przeprowadzonymi przez Alinean Inc, to dotyczą one głównie klientów Parallels, co może być dalekie od realiów rynku IT w Polsce. Utrudnieniem jest również analiza tylko dla wybranego, jednego systemu – Windows lub Linux. Dyskusyjne są także koszty pośrednie, czyli generowane przez użytkowników systemu. Zarówno koszty przedsiębiorstwa za godzinę przestoju, jak i prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, czy „czynnik dla analizy” są danymi, które trudno przyjąć bezkrytycznie.

Jednak najważniejszy jest fakt, że jest to kalkulator dla organizacji, które dopiero rozpoczynają swoją przygodę z wirtualizacją. Nie ma możliwości analizy infrastruktury hybrydowej, czyli takiej która posiada w swoich zasobach zarówno serwery fizyczne jak i wirtualne. Firma Parallels nie przygotowała nowej wersji kalkulatora, który uwzględniałby taki scenariusz, a przedstawiony powyżej przestał być udostępniany. Mimo to narzędzie jest użyteczne, a algorytmy tam zawarte logiczne. Przedstawienie trzech alternatywnych scenariuszy umożliwia przejrzystą analizę porównawczą, co może dać podstawę do własnych wyliczeń. Dlatego też narzędziu zostały poświęcone dwa artykuły<sup>300</sup> napisane przez autorkę niniejszej dysertacji. Publikacje szczegółowo opisują PVC – klasyfikację kosztów, logikę działania i algorytmy tam zawarte na wyliczenie TCO i ROI w perspektywie 3 lat.

---

<sup>300</sup> N. Michałek, *Wykorzystanie analizy TCO i wskaźnika ROI w pomiarze efektywności technologii wirtualizacji*, w: *Zastosowanie systemów informatycznych we współczesnej gospodarce*, K. Kreft (red.), Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2011; N. Michałek, *Całkowity koszt posiadania wirtualnej infrastruktury IT*, w: *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Z. E. Zieliński (red.), Portal Innowacyjnego Transferu Wiedzy w Nauce, Kielce 2011.

Jednym z pierwszych dostępnych na rynku kalkulatorów był VMware ROI TCO Calculator, oprogramowanie umożliwiające szacowanie czasu zwrotu z inwestycji ROI w infrastrukturę VMware oraz całkowity koszt funkcjonowania TCO. Kalkulator został opracowany wspólnie przez VMware i byłych ekspertów Gartnera od analiz TCO oraz ROI z Alinean Inc<sup>301</sup>. Podobnie jak PVC, VMware ROI TCO Calculator wykazywał zysk (lub stratę) z tytułu przejścia ze środowiska fizycznego w wirtualne<sup>302</sup>. Jednak producent poszedł o krok dalej i stworzył nowe narzędzie VMware TCO Comparison Calculator<sup>303</sup>. Kalkulator zakładał stworzenie nowej, wirtualnej infrastruktury (bez uwzględnienia specyfikacji obecnej) i porównuje otrzymane wyniki całkowitych kosztów posiadania TCO z rozwiązaniem firmy Microsoft (w tym Hyper-V). Dodatkowo, obok możliwości stworzenia symulacji dla nowej infrastruktury, kalkulator umożliwiał wyliczenie kosztów związanych z przejściem istniejącej infrastruktury do chmury prywatnej vCloud Suite. Ta analiza również jest rozpatrywana w dwóch scenariuszach – VMware versus Microsoft. W każdym z wyliczeń możliwe było uwzględnienie okresu od 3 do 6 lat, aby w zadanym czasie wyliczyć TCO. Obecnie VMware promuje kalkulator VMware Cloud on AWS TCO Calculator<sup>304</sup> (VMC), w którym porównane jest rozwiązanie on-premises z AWS Public Cloud Environment (maszyny wirtualne w natywnej wirtualizacji), jak również VMware Cloud on AWS (technologia VMware zmigrowana do chmury Amazona AWS). Kalkulator VMware TCO Comparison Calculator mimo że został zastąpiony VMware Cloud on AWS TCO Calculator, został szczegółowo opisany i to na jego bazie powstało nowe, dużo prostsze narzędzie. Dlatego analiza narzędzia VMware obejmuje szczegółowy opis i VMware TCO Comparison Calculator, i VMware Cloud on AWS TCO Calculator.

W celu dokonania obliczeń VMware TCO Comparison Calculator wymaga wprowadzenia kilku niezbędnych danych do przeprowadzenia analizy. Najbardziej istotna jest informacja jak duża infrastruktura ma być stworzona, czyli ile maszyn wirtualnych VM docelowo ma zostać wdrożonych w środowisko IT. Narzędzie dopuszcza dokonanie obliczeń od 5 do 5000 VM. Kalkulator wymaga również zaznaczenia opcji gęstości planowanych maszyn wirtualnych, gdzie domyślna wartość gęstości wirtualnej maszyny jest ustawiona przez kalkulator na 6 VM na procesor. Dodatkowo VMware pokazuje swoją przewagę konkurencyjną

---

<sup>301</sup> *VMware TCO/ROI Calculator User's Guide*,

[https://www.vmware.com/pdf/roi/VMware\\_TCO\\_Calculator\\_Users\\_Guide.pdf](https://www.vmware.com/pdf/roi/VMware_TCO_Calculator_Users_Guide.pdf), z dn. 2019.10.21.

<sup>302</sup> N. Michałek, *Znaczenie i wykorzystanie wskaźnika ROI w pomiarze efektywności wirtualizacji IT*, w: *Współczesna Gospodarka. Vol. 3 Issue 1 (2012) 1-11*, K. Kreft (red.), Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2012.

<sup>303</sup> <https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/whitepaper/vmware-tco-comparison-calculator-methodology-whitepaper.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<sup>304</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: <https://vmware.valuestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12.



wymuszając niemalże na potencjalnym kliencie wybranie opcji dodatkowej VM na procesor – kalkulator zakłada, że vSphere obsługuje co najmniej jedną dodatkową maszynę wirtualną na procesor w porównaniu z Hyper-V, a parametr można zwiększyć aż do dziesięciu.

W kolejnym kroku należy wskazać produkt, który ma zostać wdrożony i porównany z rozwiązaniami Microsoft. Od razu podczas wyboru narzędzie wskazuje jakie luki w funkcjonalnościach zawiera system Microsoft – na przykład dla wybranego vSphere Standard jest to płatne subskrypcja na rzecz analizy logów oraz konieczność skorzystania ze wsparcia firm zewnętrznych (tzw. „stron trzecich”) w przypadku usterek VM, podczas, gdy VMware oferuje to w ramach wsparcia. Im bardziej zaawansowany produkt, tym więcej opcji znajduje się w pakiecie VMware, a tym samym jest więcej zidentyfikowanych braków po stronie Microsoft.

Następnie należy wybrać specyfikę serwera hosta decydując jaki ma mieć procesor (oraz liczbę rdzeni w procesorze) i pamięć. Kalkulator, na podstawie danych, wskazuje liczbę hostów, która jest niezbędna do funkcjonowania całej infrastruktury. Dodatkowo należy wybrać pamięć masową i poziom poniesionych na nią kosztów. VMware TCO Comparison Calculator wymaga również wskazania wydatków na zasilanie i wynajęcie powierzchni data center (liczonych w metrach kwadratowych – m<sup>2</sup>) z uwzględnieniem dzierżawy szafy, ewentualnie klatki, sprzętu zasilającego i chłodzącego oraz amortyzację. Usługa dzierżawy powierzchni data center nosi nazwę kolokacji serwerów i w praktyce rzadko jest liczona od metra kwadratowego, a jest zależna od wyboru przestrzeni (miejsce w szafie, dedykowana szafa, boks, bądź cała serwerownia), mocy zasilania, szybkości Internetu, liczby portów sieciowych i adresów IP oraz długości umowy. Ponadto kalkulator nie posiada możliwości wyboru opcji, w której potencjalny klient ma własne centrum przetwarzania danych (jest właścicielem budynku), a tym samym nie ponosi dodatkowych kosztów związanych z dzierżawą miejsca na serwery. Taka opcja powinna zostać uwzględniona w kalkulatorze.

Ostatnią daną wejściową są ramy czasowe, dla których analiza TCO ma zostać przeprowadzona. Po uwzględnieniu wszystkich danych wejściowych (tabela 4.4), kalkulator szczegółowo wylicza koszty dzieląc je na wydatki inwestycyjne CAPEX i operacyjne OPEX, co jest zgodne z przyjętą klasyfikacją kosztów w podrozdziale 3.2.2.

**Tabela 4.4. Dane wejściowe VMware TCO Comparison Calculator**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	Liczba VM do wdrożenia	5-5000
2	Gęstość VM na procesor	4-20
3	Dodatkowa VM na procesor	1-10
4	Wybór produktu VMware	vSphere Essentials
		vSphere Essentials Plus
		vSphere Standard
		vSphere Enterprise Plus
		vSphere + Operations
		Management Enterprise Plus
		vCloud Suite Standard
		vCloud Suite Advanced
vCloud Suite Enterprise		
5	Wybór serwera hosta	2 x 12-core CPU, 64GB RAM
		2 x 14-core CPU, 128GB RAM
		4 x 18-core CPU, 512GB RAM
6	Wybór pamięci masowej	NAS (14zł/GB)
		iSCSI SAN (18zł/GB)
		FC SAN (22zł/GB)
		vSAN (7zł/GB)
7	Poziom kosztów zasilania	Niski (0,25zł/kWh)
		Średni (0,40zł/kWh)
		Wysoki (0,55zł/kWh)
8	Poziom kosztów wynajem data center	Niski (540zł/m <sup>2</sup> /rok)
		Średni (1070zł/m <sup>2</sup> /rok)
		Wysoki (1580zł/m <sup>2</sup> /rok)
9	Ramy czasowe TCO	3-6

Źródło: Na podstawie <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21;  
<https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/whitepaper/vmware-tco-comparison-calculator-methodology-whitepaper.pdf>, z dn. 2023.06.12.

Natomiast na potrzeby VMware Cloud on AWS TCO Calculator wprowadza się w dwóch krokach jedynie ograniczony zakres danych wejściowych – charakterystykę środowiska wirtualnego, jak również fizycznego hosta (tabela 4.5 i tabela 4.6).

**Tabela 4.5. Dane wejściowe VMware Cloud on AWS TCO Calculator – krok 1**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	Liczba VM	6-50000
2	vRAM na VM	1-1000
3	vCPU na VM	1-16
4	Storage GB na VM	1-10000

Źródło: Na podstawie <https://vmware.valuestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12.

**Tabela 4.6. Dane wejściowe VMware Cloud on AWS TCO Calculator – krok 2**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	Liczba serwerów hosta	
2	Liczba corów na procesor	
3	Storage (GB)	
4	Liczba procesorów na host	
5	RAM (GB) na host	
6	Liczba VM pokryta DR	

Źródło: Na podstawie <https://vmware.valuestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12.

W przypadku VMware TCO Comparison Calculator identyfikacja i kwantyfikacja kosztów inwestycyjnych rozpoczyna się od wskazania wydatków związanych ze sprzętem i jego wsparciem. Kalkulator, na podstawie badań Alinean Inc, czyli dobrych praktyk klientów VMware i otrzymanych od nich danych, samoczynnie wylicza ilość serwerów hosta w infrastrukturze. Koszt jest zatem wyliczany na podstawie tej liczby oraz wybranych przez użytkownika parametrów serwera, a także aktualnych cen rynkowych. Dodatkowo do ceny serwera dodawany jest koszt wsparcia, który wynosi 5% ceny zakupu sprzętu na rok. Wydatek ten zdefiniowany jest w końcowej klasyfikacji jako koszt operacyjny. Następnie są obliczane koszty pamięci masowej. W przypadku maszyn wirtualnych zakładana jest wartość niezbędnych 100 GB pamięci na jedną VM. Do wydatku dodana zostaje cena kart HBA<sup>305</sup> i przełączników SAN. W kolejnym kroku kalkulator szacuje koszty sprzętu sieciowego, uwzględniając liczbę niezbędnych portów sieciowych oraz liczbę i cenę przełączników sieciowych. Do obu wartości VMware TCO Comparison Calculator dolicza rocznie 5% kosztów za wsparcie.

Następnie są wyliczane koszty oprogramowania wirtualizacyjnego, OS i tzw. „stron trzecich” (według producenta – VMware – Microsoft nie oferuje pełnego portfolio wszystkich niezbędnych usług i jego klienci muszą wspierać się dodatkowymi narzędziami np. firmy

<sup>305</sup> HBA to kontroler umożliwiający komunikację pomiędzy komputerem, a siecią lub urządzeniami pamięci masowej.

everRun) wraz ze wsparciem na podstawie aktualnych cenników producentów i kosztami ewentualnych integracji, biorąc pod uwagę wprowadzone parametry sprzętowe oraz ramy czasowe. Kalkulator dodatkowo zakłada koszty związane z licencjami OS i SQL zainstalowanymi na uruchomionych VM – Windows Server 2016 Datacenter. W końcowej klasyfikacji kosztów wydatki inwestycyjne zostają jednak oddzielone od operacyjnych, które kalkulowane są przez cały okres funkcjonowania systemu, czyli zadanych ram czasowych TCO.

W kolejnym kroku kalkulator identyfikuje koszty OPEX począwszy od kosztów zasilania i chłodzenia przez cały czas analizy TCO. Narzędzie estymuje potrzebną moc dla serwerów – w zależności od wyboru hosta jest to 335 watów na zasilanie i 419 watów na chłodzenie na jeden dwuprocessorowy serwer hosta, i 804 waty na zasilanie i 1005 watów na chłodzenie na jeden czteroprocessorowy host. Na tej podstawie, po uwzględnieniu wybranej ceny energii elektrycznej i godzin pracy data center (8736 godzin w ciągu roku), wylicza całkowity koszt zasilania i chłodzenia. Kosztem OPEX jest również wynajem centrum przetwarzania danych przez cały okres wskazany w ramach czasowych. Kalkulator koszt kolokacji wylicza to na podstawie liczby szaf potrzebnych na przechowywanie serwerów hosta, która jest przeliczana na niezbędne metry kwadratowe. Po uwzględnieniu poziomu kosztu centrum przetwarzania danych, obliczana jest całkowita kwota dzierżawy. Jednak godnym uwagi jest fakt, że koszt centrum danych to nie tylko sama dzierżawa powierzchni, a suma wynajem i amortyzowanej przez 10 lat wartości budowy data center.

Następnie zostają oszacowane koszty administracji systemu, przy przyjętej stawce przez kalkulator około 250 zł za roboczogodzinę i oszacowaniu czasu wykonywania poszczególnych czynności w okresie, dla którego TCO jest liczone – pierwsza instalacja platformy, zastosowanie hypervisora, tworzenie wzoru VM, konfiguracja i utrzymanie plików logów. Na liście kosztów nie widnieje osobna pozycja związana z wykonywaniem kopii zapasowej (taka była wyróżniona w Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator), dlatego w tym przypadku należy założyć, że wskazana czynność wykonywana jest w ramach administracji systemu.

Zatem VMware TCO Comparison Calculator wylicza i identyfikuje następujące koszty podzielone na inwestycyjne i operacyjne (tabela 4.7).

**Table 4.7. Kalkulator TCO według VMware TCO Comparison Calculator**

TCO		
CAPEX	Koszty sprzętu	liczba fizycznych serwerów * koszt fizycznego serwera
	Koszty pamięci masowej	koszt kart HBA + koszt przełączników SAN + (liczba VM * średnie zapotrzebowanie na pamięć na VM [ok. 100 GB VM] * koszt 1 GB pamięci)
	Koszty sprzętu sieciowego	liczba fizycznych serwerów * liczba portów sieciowych na serwer / liczba portów na przełącznik sieciowy [wartość zaokrąglona w górę] * koszt przełącznika sieciowego
	Koszty oprogramowania	koszt oprogramowania systemu operacyjnego + koszt oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt licencji „stron trzecich”
OPEX	Koszty zasilania i chłodzenia	((liczba fizycznych serwerów * maksymalne zużycie energii serwera * współczynnik konwersji mocy [0,67]) + (liczba fizycznych serwerów * maksymalne zużycie energii serwera * współczynnik konwersji mocy [0,67] * współczynnik obciążenia chłodzenia [0,80] * (1 + redundancja przepływu powietrza wymagana w centrum danych [25%]) / redundancja powietrza [80%])) * koszty zasilania za godzinę / 1000 * liczba godzin pracy data center w roku [8736 h] * liczba lat
	Koszty data center	(liczba fizycznych serwerów * liczba jednostek szafy na serwer [1CPU=1U, 2CPU=2U, 4CPU=3U] / średnia liczba jednostek, które można zainstalować w szafie [24]) [wartość zaokrąglona w górę] * powierzchnia pojedynczej szafy [27 m <sup>2</sup> ] * koszt data center [koszt budowy data center na m <sup>2</sup> amortyzowany przez 10 lat + koszt dzierżawy data center na m <sup>2</sup> ] * liczba lat
	Koszty administracji systemu	koszt pierwszej instalacji platformy + koszt zastosowania hypervisora + koszt wytworzenia wzoru VM
	Koszty wsparcia sprzętu	koszt wsparcia sprzętu [5% kosztów sprzętu] * liczba lat
	Koszty wsparcia pamięci masowej	koszt wsparcia pamięci masowej [5% kosztów pamięci masowej] * liczba lat
	Koszty wsparcia sprzętu sieciowego	koszt wsparcia sprzętu sieciowego [5% kosztów sprzętu sieciowego] * liczba lat
	Koszty wsparcia oprogramowania	(koszt wsparcia oprogramowania systemu operacyjnego + koszt wsparcia oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt wsparcia oprogramowania „stron trzecich” wraz z integracją) [według obowiązujących cenników] * liczba lat

Zródło: Na podstawie <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21.

W kalkulatorze VMware Cloud on AWS TCO Calculator identyfikacja kosztów nie jest podzielona na CAPEX i OPEX, a jedynie wylistowana jako zestaw kosztów poniesionych w analizowanym czasie (3 lat). W przypadku tego kalkulatora, producent jednoznacznie nie wskazuje algorytmów jak wyliczane są poszczególne wartości, ale na podstawie analizy przykładowych estymacji można założyć, że VMware wykorzystać wzory użyte w kalkulatorze VMware TCO Comparison Calculator. Nie jest jednak wyjaśnione jak wyliczane są koszty DR i co oznaczają koszty „inne”, które w przypadku rozwiązania AWS Public Cloud Environment stanowią największą część kosztów (tabela 4.8).

**Tabela 4.8. Kalkulator TCO według VMware Cloud on AWS TCO Calculator**

TCO		
CAPEX i OPEX	Koszty sprzętu	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszty pamięci masowej	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszty sprzętu sieciowego	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszty oprogramowania	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszty zasilania i chłodzenia	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszty data center	Na podstawie VMware TCO Comparison Calculator z uwzględnieniem czynnika czasu
	Koszt DR	Brak danych
	Inne	Brak danych

Źródło: Na podstawie <https://vmware.valestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12.

Całkowity koszt funkcjonowania TCO zostaje w VMware TCO Comparison Calculator wyliczony poprzez dodanie kosztów inwestycyjnych CAPEX (czyli  $MI_0$ ) i operacyjnych OPEX. Dzieląc  $TCO_t^w$  przez liczbę maszyn wirtualnych wskazane zostaje TCO na VM. Kalkulator podaje również oszczędność z tytułu inwestycji w technologię VMware w porównaniu z produktami Microsoft. W obecnym kształcie narzędzie nie wylicza zwrotu z inwestycji ROI z tytułu implementacji wirtualizacji, ponieważ nie porównuje danych z analogiczną infrastrukturą fizyczną (czyli  $TCO_t^f$ ), a tym samym nie oblicza zysku  $Z_t$ . Natomiast w kalkulatorze VMware Cloud on AWS TCO Calculator całkowite TCO zostaje wyliczone poprzez dodanie wszystkich wylistowanych kosztów. Kalkulator podaje również oszczędność z tytułu inwestycji w technologię VMware w chmurze AWS w porównaniu z obecnym środowiskiem IT (on-premises), jak również z AWS Public Cloud Environment.

Oba kalkulatory VMware są narzędziami porównawczymi, służącym do wykazania przewagi konkurencyjnej VMware nad rozwiązaniami firmy Microsoft i Amazon. Dlatego też nie są przeznaczone dla każdego użytkownika, a jedynie dla takiego, który rozważa implementację konkretnego produktu, bądź przejście do chmury. Jednak samo działanie kalkulatorów (a zwłaszcza VMware TCO Comparison Calculator) jest zrozumiałe i przejrzyste, a dołączona do narzędzia metodologia<sup>306</sup>, pozwala lepiej zrozumieć jego sedno. Większość

<sup>306</sup> Metodologia dostępna jest pod adresem:

<https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/whitepaper/vmware-tco-comparison-calculator-methodology-whitepaper.pdf>, z dn. 2023.06.12.

algorytmów jest logiczna i intuicyjna. Możliwość wprowadzenia wielu danych (nawet jeśli są to opcje do wyboru) daje większą elastyczność, niż to było w kalkulatorze PVC.

Niestety VMware TCO Comparison Calculator nie jest pozbawiony ograniczeń. Rozważany scenariusz stworzenia nowej infrastruktury praktycznie nie uwzględnia posiadanych zasobów, zakłada jedynie zakup nowego sprzętu, sprzętu sieciowego i pamięci masowej. Narzucone zostają również wydatki takie jak wynajem data center (który wyliczany jest na podstawie kosztów budowy centrum przetwarzania danych), a także koszty wsparcia. Kalkulator nie bierze pod uwagę faktu, że organizacja może tych wydatków nie ponosić. Ponadto koszty CAPEX nie zawierają wydatków związanych z wykonywaniem kopii zapasowych, jak również szkoleń rozumianych jako jednorazowa inwestycja przy decyzji o migracji systemu. W przypadku, gdy dostawca produktu nie oferuje szkolenia w pakiecie w ramach wdrożenia lub w ramach wsparcia, istotne będzie dodanie tej pozycji do kompleksowej kalkulacji. Podobnie w przypadku konsultingu, czy outsourcingu – taką pozycję należy dodać, jeśli dana organizacja korzystała z takich usług w trakcie migracji infrastruktury ze środowiska fizycznego wirtualne.

Kalkulator PVC oblicza również, na podstawie rocznego zużycia energii, jaka jest emisja dwutlenku węgla. Omawiane narzędzia VMware również wskazują poziom produkcji CO<sub>2</sub> (funkcja włączona dopiero w 2019 roku). Najpierw producent zdecydował się i przygotował dedykowany kalkulator Carbon Calculator<sup>307</sup>, który pozwalał weryfikować zmianę emisji dwutlenku węgla<sup>308</sup>. Kalkulator ten wymagał jedynie podania liczby maszyn fizycznych, która będzie wirtualizowana. W efekcie Carbon Calculator wskazywał poziom emisji dwutlenku węgla, na podstawie całkowitego zużycia energii<sup>309</sup> i liczby godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów<sup>310</sup>. Kalkulator przyjmował, że należy uwzględnić standardowy współczynnik dla infrastruktury, który wynosi 1.583 lbs (0.718 kg) CO<sub>2</sub> na kWh. Dane były zestawiane w porównaniu z fizyczną infrastrukturą, czyli przypadkiem, gdy podana liczba maszyn działa w tradycyjny sposób i nie zostaje zwirtualizowana. Na koniec kalkulator wskazywał wpływ działań na środowisko, w tym wylicza liczbę drzew jaką trzeba zasadzić, aby pokryć zapotrzebowanie na energię, która jest potrzebna by infrastruktura funkcjonowała. Obecnie VMware w swoich wyliczeniach i raporcie, który każdy użytkownik może

---

<sup>307</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: <https://www.vmware.com/company/sustainability/carbon-calculator.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>308</sup> Emisja CO<sub>2</sub> = całkowite zapotrzebowanie na energię \* współczynnik dla infrastruktury (0.718 kg CO<sub>2</sub>/kWh).

<sup>309</sup> Całkowite zapotrzebowanie na energię = liczba serwerów \* (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) \* liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów / 1000.

<sup>310</sup> Liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów = 24 \* 365 – średni czas przestoju na serwer fizyczny w skali roku.

wygenerować przedstawia oszczędności między rozwiązaniem on-premises, a VMC pod względem zużytych megawatogodzin i emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Obliczenia te wykonuje się poprzez określenie zużycia energii przez odpowiedni sprzęt w kilowatogodzinach, aby uzyskać ilość śladu węglowego zużytego w atmosferze.

Firma Alinean Inc dostarczała również dane do kalkulatora Microsoft Integrated Virtualization ROI Tool – narzędzia, które gromadziło konkretne informacje na temat posiadanej infrastruktury, a następnie na podstawie tych danych prognozowało potencjalne koszty i korzyści dla różnych strategii optymalizacji za pomocą rozwiązań wirtualizacyjnych firmy Microsoft<sup>311</sup>. Z czasem Microsoft zastąpił kalkulator Integrated Virtualization ROI Tool narzędziem Azure TCO Calculator. Dzięki niemu potencjalni klienci mogą oszacować oszczędności pozyskane na drodze migracji swoich zasobów (zarówno wirtualnych, jak i fizycznych) do chmury na platformę Microsoft Azure<sup>312</sup>.

Aby dokonać obliczeń w narzędziu Azure TCO Calculator, należy w pierwszym kroku zdefiniować obciążenia jakie badana organizacja posiada. Najpierw należy bardzo szczegółowo określić specyfikację posiadanych zasobów serwerowych – zarówno fizycznych, jak i wirtualnych – podając m.in. liczbę serwerów, system operacyjny, licencję dla systemu operacyjnego, liczbę procesorów dla serwera, liczbę rdzeni dla procesora, pamięć RAM oraz typ karty graficznej na serwerze fizycznym. Ponadto w narzędziu, pod kątem optymalizacji, należy wskazać, czy dla obciążenia jest ważniejsza moc obliczeniowa, czy pamięć. Kalkulator w tym kroku nie wymaga wpisania kosztów poniesionych na infrastrukturę serwerową.

Następnie należy określić szczegóły lokalnej bazy danych, podając przede wszystkim typ bazy (Microsoft SQL Server, MySQL, PostgreSQL, SQL Server APS, Oracle Exadata) i jej licencję oraz specyfikację serwera, na którym baza jest zainstalowana (środowisko, system operacyjny, licencja OS, liczba serwerów, procesorów na serwer i rdzeni dla procesora, jak również pamięć RAM). W narzędziu Azure TCO Calculator należy wybrać usługę platformy Azure, która będzie używana po migracji bazy danych.

Kolejnym rozpatrywanym aspektem jest pamięć masowa, tak zwanego magazynu lokalnego. Należy określić typ usługi – SAN, NAS, czy BLOB (czyli funkcja obsługi strumieni między bazą danych oraz systemem plików, umożliwiającą efektywniejsze magazynowanie dużych obiektów binarnych<sup>313</sup>) – oraz wielkość podstawowego magazynu, przeznaczonego na

---

<sup>311</sup> *Microsoft Integrated Virtualization ROI Tool*, <https://blogs.technet.microsoft.com/curiousgeorge/2008/06/16/microsoft-integrated-virtualization-roi-tool>, z dn. 2023.06.12.

<sup>312</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

<sup>313</sup> L. Lobel, A. J. Brust, S. Forte, *Programowanie Microsoft SQL Server 2008. Tom 1 i 2*, Promise, 2016, s. 5.



kopie zapasowe oraz archiwum. Ostatnią daną wejściową w tym kroku jest wielkość przepustowości sieci obecnie używanej w środowisku lokalnym.

Na podstawie otrzymanej specyfikacji kalkulator oblicza całkowity koszt posiadania i określa rekomendowane usługi na platformie Azure (tabela 4.9).

**Tabela 4.7. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 1**

Lp.	Dane wejściowe		Opcje	
1	Serwery	Obciążenie	System Windows/Linux Server Aplikacja internetowa	
		Środowisko	Serwery fizyczne Maszyny wirtualne	
		System operacyjne	Windows Linux	
		Licencja systemu operacyjnego	Centrum danych Standard	
		Liczba serwerów	1-9999	
		Liczba procesorów (na serwer)	1-4	
		Liczba rdzeni (w procesorze)	1-8	
		Pamięć RAM (GB)	1-448	
		Optymalizuj według	Procesor CPU Pamięć	
		Procesor GPU	Brak K80 M60	
		Windows Server 2008/2008 R2	Tak/Nie	
2	Bazy danych	Źródło	Baza danych	Microsoft SQL Server MySQL PostgreSQL SQL Server APS Oracle Exadata
			Licencja	Enterprise Standardowa
			Środowisko	Serwery fizyczne Maszyny wirtualne
			System operacyjne	Windows Linux
			Licencja systemu operacyjnego	Centrum danych Standard
			Liczba serwerów	1-9999
			Liczba procesorów (na serwer)	1-4
			Liczba rdzeni (w procesorze)	1-8
			Pamięć RAM (w GB)	1-448
			Optymalizuj według	Procesor CPU Pamięć
			SQL Server 2008/2008 R2	Tak/Nie
	Cel	Usługa	SQL Database Wystąpienie zarządzane usługami SQL Database Maszyna wirtualna SQL Server	
		Model zakupowy	DTU Rdzeń wirtualny	
		Warstwa usługi	Ogólne zastosowanie Hiperskalowanie Krytyczne dla działania firmy	
		Rdzenie wystąpień	2-128	
		Magazyn programu SQL Servere	5-4000	
		Kopia zapasowa programu SQL Server	0- 5000000	

Lp.	Dane wejściowe	Opcje	
3	Pamięć masowa	Typ usługi Storage	Dysk lokalny/SAN Udział plików/NAS Obiekt BLOB
		Typ dysku	HDD SSD
		Pojemność (GB/TB)	1-5000000/1-5000
		Kopie zapasowe (GB/TB)	1-5000000/1-5000
		Archiwum (GB/TB)	1-5000000/1-5000
4	Sieć	Przepustowość ruchu wychodzącego (GB/TB)	1-2000000/1-2000
		Region docelowy	Azja Południowo-Wschodnia ... US Gov Wirginia

Źródło: Na podstawie <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Drugi krok to tak zwane dostosowanie założeń, czyli aktualizacja niektórych wartości w celu dokładnego odzwierciedlenia sytuacji w jakiej znajduje się dana organizacja. Azure TCO Calculator narzuca dane (średnie branżowe uznawane przez firmę Nucleus Research<sup>314</sup>), które użytkownik może jednak zmienić. Początkowo narzędzie umożliwia włączenie dodatkowych opcji takich jak usługa Software Assurance (dla systemu Windows lub programu SQL Server), to znaczy hybrydowe użycie platformy Azure, co według producenta zapewni lepsze wykorzystanie licencji lokalnych, jak również opcji umożliwiającej replikowanie danych do regionu pomocniczego, który jest oddalony od regionu podstawowego. Dodatkowo producent daje opcję korzystania z maszyn wirtualnych typu Bs (ekonomiczna opcja na potrzeby obciążeń). Jednak najważniejsze w tym kroku są koszty, które kalkulator sugeruje, jednak są możliwe zmiany. Są to: koszty elektryczności (cena za kWh), koszty magazynu (m.in. zakup dysków lokalnych SAN, NAS, BLOB, roczna pomoc techniczna, zakup taśm do nagrywania kopii bezpieczeństwa) oraz koszty pracy IT. Według producenta mniejszych korekt wymagają dane takie jak: koszty sprzętu, oprogramowania, elektryczności uwzględniającej moce serwerów, koszty wirtualizacji (m.in. gęstość VM, koszty licencji), koszty wynajęcia centrum przetwarzania danych, koszty sieciowe i bazy danych oraz magazynu danych (tabela 4.10).

<sup>314</sup> <https://nucleusresearch.com>, z dn. 2023.06.12.

**Tabela 4.8. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 2**

Lp.	Dane wejściowe		Opcje <sup>315</sup>
1	Koszty elektryczności	Cena za kWh	0,60zł
2	Koszty pamięci masowej	Koszt zakupu dysków lokalnych/SAN-SSD za 1 GB	1,87zł
		Koszt zakupu dysków lokalnych/SAN-HDD za 1 GB	0,94zł
		Koszt zakupu magazynu NAS/plików za 1 GB	0,94zł
		Koszt zakupu magazynu obiektów BLOB za 1 GB	0,94zł
		Roczny koszt wsparcia dla oprogramowania pamięci masowej	10%
		Koszt napędu taśm	711zł
3	Koszty pracy działu IT	Liczba serwerów fizycznych (pełny etat)	387
		Liczba VM (pełny etat)	516
		Stawka godzinowa administratora IT	102zł <sup>316</sup>
4	Koszty sprzętu	1 procesor, 1 rdzeń/procesor, 0,75 GB pamięci RAM ...	5 213zł
		... 4 procesory, 32 rdzenie/procesor, 2000 GB pamięci RAM	439 015zł
		Koszt odkupu sprzętu jako procent kosztu sprzętu	80%
		Koszt konserwacji sprzętu jako procent kosztu sprzętu	20%
		Koszt K80	22 221zł
		Koszt M60	26 665zł
5	Koszty oprogramowania	Koszt licencji systemu Windows Datacenter na pakiet 2-rdzeniowy	3 419zł
		Koszt licencji systemu Windows Standard na pakiet 2-rdzeniowy	540zł
		Koszt licencji systemu Linux	0zł
6	Koszt elektryczności	1 procesor, 1 rdzeń/procesor, 0,75 GB pamięci RAM ...	105W
		... 4 procesory, 32 rdzenie/procesor, 2000 GB pamięci RAM	3006,9W
7	Koszty wirtualizacji	Koszt administracji infrastruktury (w skali miesiąca na VM)	118zł
		Gęstość VM (liczba rdzeni wirtualnych na fizyczne)	3
		Średnie wykorzystanie	80%
		Koszt licencji oprogramowania do wirtualizacji VMware za procesor fizyczny	5 635zł
		Koszt licencji oprogramowania do wirtualizacji — funkcji Hyper-V	0zł
8	Koszty centrum danych	1 procesor, 1 rdzeń/procesor, 0,75 GB pamięci RAM ...	1 szafa
		... 4 procesory, 32 rdzenie/procesor, 2000 GB pamięci RAM	4 szafy
		Koszt konfiguracji początkowej dla centrum danych	1 111 037 zł
		Koszt budowy centrum danych za stojak	17 358zł
		Czas produktywnego życia centrum danych (amortyzacja)	20
		Liczba jednostek na stojak	42
9	Koszty sieciowe	Koszty sprzętu i oprogramowania sieciowego jako procent kosztów sprzętu i oprogramowania	15%
		Koszty konserwacji sieci jako procent kosztów sprzętu i oprogramowania sieciowego	15%
		Koszt dostawcy usług sieciowych (za 1 GB)	0,66zł

<sup>315</sup> Wskazane opcje są wartościami domyślnymi, które są możliwe do zmiany w narzędziu Azure TCO Calculator. Oryginalne wartości kwotowe są podane w wybranej przez użytkownika walucie. Autorka dysertacji wybrała wartości w EUR i przeliczyła je na PLN zgodnie z kursem NBP z dn. 2023.03.13: 1 EUR = 4,6848 PLN.

<sup>316</sup> Średnia stawka za godzinę dla administratora IT w Stanach Zjednoczonych, <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco/calculator/>, z dn. 2023.06.12.

Lp.	Dane wejściowe	Opcje <sup>317</sup>	
10	Koszty bazy danych	Koszt licencji programu SQL Server Enterprise za 2 rdzenie	63 356zł
		Koszt licencji programu SQL Server Standard za 2 rdzenie	16 519zł
		Koszt pakietu Software Assurance Enterprise za 2 rdzenie	15 759zł
		Koszt pakietu Software Assurance Standard za 2 rdzenie	4 130zł
		Koszt licencji programu MySQL za serwer	0zł
11	Koszty magazynu danych	Cena systemu Windows Server Standard na pakiet 2-rdzeniowy	539zł
		Liczba urządzeń na serwer (CAL)	10
		Cena licencji CAL systemu Windows Server na urządzenie	147zł
		Standardowa cena narzędzia System Center na pakiet 2-rdzeniowy	735zł
		HPE CS300 2.1 dla zestawu serwerowego MS APS PDW: Koszt bloku serwera BCS PDW dla 1 Q0J41A (2)	80 550zł
		HPE CS300 2.1 dla pasywnego zestawu serwerowego MS APS: Koszt bloku serwera BCS PDW dla 1 Q0J42A(2)	80 550zł
		HPE ConvergedSystem 300 2.1 dla zestawu serwerowego MS APS PDW Q0J43A (2)	66 535zł
		HPE CS300 2.1 F/MS APS ZESTAW MAGAZYNU 2TB Q0J44A	240 177zł
		Koszty związane z infrastrukturą nieserwerową HPE APS na stojak (1)	368 761zł
		Liczba jednostek DWU na 2 węzły obliczeniowe APS	500
		Koszty instalacji EDW na magazyn danych	44 442zł
		Współczynnik wykorzystania usługi Azure Synapse Analytics (%)	80%
		Współczynnik kompresji danych przekazywanych do usługi Azure Synapse Analytics	4
		Koszt na serwer bazy danych platformy Oracle Exadata	186 654zł
		Koszt na serwer magazynu platformy Oracle Exadata	222 208zł
		Oprogramowanie serwera magazynu platformy Exadata, na dysk	44 442zł
		Rabat na licencje oprogramowania Oracle (%)	56,92%
		Podstawowa roczna konserwacja oprogramowania (%)	20,87%
		Przyrostowa roczna konserwacja oprogramowania (%)	4,74%
		Koszt infrastruktury stojaków na stojak Exadata	493 301zł
Enterprise Edition, na procesor, warstwa Exadata	651 068zł		

Źródło: Na podstawie <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

W trzecim kroku Azure TCO Calculator wyświetla raport podsumowujący, który użytkownik może analizować w perspektywie TCO od 1 do 5 lat. Wycena jest ponadto zależna od regionu, w którym platforma ma być wdrożona. Dodatkowo należy wybrać program, który ma być licencjonowany (tabela 4.11).

<sup>317</sup> Wskazane opcje są wartościami domyślnymi, które są możliwe do zmiany w narzędziu Azure TCO Calculator. Oryginalne wartości kwotowe są podane w wybranej przez użytkownika walucie. Autorka dysertacji wybrała wartości w EUR i przeliczyła je na PLN zgodnie z kursem NBP z dn. 2023.03.13: 1 EUR = 4,6848 PLN.

**Tabela 4.9. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 3**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	Ramy czasowe TCO	3-6
2	Region wdrożenia platformy Azure	...
3	Program licencjonowania	Microsoft Online Services Program

Źródło: Na podstawie <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Otrzymany raport rozpatruje dwa scenariusze – porównuje koszty posiadanej infrastruktury lokalnej (co zostanie przedstawione poniżej) do kosztów platformy Microsoft Azure. Koszty nie są dzielone na bezpośrednie, pośrednie, inwestycyjne i operacyjne. Jedynie kalkulator wyróżnia grupę kosztów, w której znajdują się: koszty sprzętu, oprogramowania, elektryczności, wirtualizacji i bazy danych.

Wydatki na sprzęt są obliczane na podstawie specyfikacji określonej w pierwszym kroku oraz cen, możliwych do aktualizacji w kroku drugim. Koszt hardware-u to suma zakupu serwerów fizycznych i wirtualnych (a w zasadzie hostów pod VM) wraz ze wsparciem szacowanym na 20% ogólnych kosztów całego sprzętu w skali roku. Dla maszyn wirtualnych kalkulator sam definiuje niezbędne hosty, co może utrudniać pracę na kalkulatorze, gdyż narzucony serwer może się różnić od tego posiadanego w rzeczywistości, zarówno w specyfikacji, jak i ich liczbie. Następnie są obliczane koszty oprogramowania systemów operacyjnych wraz z dodatkowymi opcjami (Software Assurance, rozszerzone aktualizacje do MS Server), jeśli użytkownik takowe zaznaczył.

Koszty elektryczności są liczone podobnie, jak to było w przypadku kalkulatora PVC, na podstawie liczby serwerów, mocy znamionowej (całkowite zapotrzebowanie na zasilanie i chłodzenie, które w zależności od specyfikacji serwera wynosi od 105 do nawet 1200 watów w zależności od liczby rdzeni), liczby przepracowanych godzin bez uwzględnienia przestojów oraz możliwej do zdefiniowania ceny za jednostkę kilowatogodziny. Azure TCO Calculator niestety nie wskazuje jaki jest poziom rocznej emisji dwutlenku węgla.

W narzędziu pojawiają się wyróżnione koszty wirtualizacji (które zarówno w Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator, VMware TCO Comparison Calculator, jak i VMC, ujęte były w ramach oprogramowania i wsparcia oprogramowania) i koszty bazy danych (nie były wyszczególnione w poprzednio omawianych kalkulatorach). Wydatki te są obliczane na podstawie liczby niezbędnych licencji, ceny jednostkowej za dany software oraz ewentualnych kosztów administracji w ramach czasowych TCO. Microsoft wyróżnił te wielkości, ponieważ buduje na nich przewagę konkurencyjną i w przypadku migracji zasobów na platformę Azure, wykazuje dużą oszczędność z tego tytułu.

W dalszej kolejności obliczane są koszty centrum przetwarzania danych uwzględniające zarówno maszyny fizyczne, jak i pamięć masową. Zasoby przeliczane są na jednostki, które będą umieszczone w szafie. Zaś wydatek data center, podobnie jak to było w narzędziu VMware TCO Comparison Calculator, wynika z kosztów budowy centrum przetwarzania danych amortyzowanych przez 20 lat, lecz bez uwzględnienia bieżącej dzierżawy. Całość zostaje policzona w ramach perspektywy czasowej TCO.

Zupełnie odmienne okazało się podejście twórców Azure TCO Calculator do obliczenia kosztów sieci i pamięci masowej. Te pierwsze wynikają tylko z kosztów sprzętu i oprogramowania (25% wydatków na hardware i software oraz dodatkowe 20% od tej wielkości za wsparcie) oraz ceny dostawcy sieci za określoną przez użytkownika przepustowość. Te drugie biorą pod uwagę nie tylko zapotrzebowanie na dyski i koszt 1 GB pamięci, ale również konieczność robienia kopii bezpieczeństwa i potrzebnych do tego napędów taśmowych. Koszt pamięci masowej uwzględnia również wsparcie (10% wydatków na zasoby dyskowe).

Ostatnim kosztem w narzędziu Azure TCO Calculator jest administracja systemu. Kalkulator dość ogólnie podaje liczbę godzin, którą w skali roku potencjalnie wypracuje administrator. Ta wielkość wynika z podanej w kroku drugim liczby serwerów fizycznych i wirtualnych, którymi może zarządzać administrator pracujący na pełny etat. Po uwzględnieniu średniej stawki godzinowej (również zdefiniowanej w kroku drugim), kalkulator w ramach TCO podaje całkowity koszt pracy działu IT.

Reasumując narzędzie Azure TCO Calculator wylicza i identyfikuje następujące koszty (tabela 4.12).

**Tabela 4.10. Kalkulator TCO według Azure TCO Calculator**

TCO	
Koszty sprzętu	całkowity koszt fizycznych serwerów + (koszt wsparcia fizycznych serwerów [20% całkowitych kosztów fizycznych serwerów] * liczba lat) + całkowity koszt VM + (koszt wsparcia VM [20% całkowitych kosztów VM] * liczba lat)
Koszty oprogramowania	całkowity koszt oprogramowania systemu operacyjnego + całkowity koszt usługi Software Assurance + koszt rozszerzonych aktualizacji zabezpieczeń dla systemu Windows Server 2008 i 2008 R [75% całkowitych kosztów oprogramowania systemu operacyjnego * 3 lata]
Koszty elektryczności	liczba fizycznych serwerów * (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) * liczba godzin pracy w skali miesiąca [720 h] / 1000 * koszt 1 kWh energii elektrycznej * 12 * liczba lat
Koszty wirtualizacji	koszt oprogramowania wirtualizacyjnego + liczba VM * koszt administracji VM w skali miesiąca * 12 * liczba lat
Koszty bazy danych	liczba licencji oprogramowania baz danych * koszt licencji oprogramowania baz danych * liczba lat
Koszty data center	całkowita liczba jednostek szafy na serwer i pamięć masową [1Core=1U, 4Core=2U, 10Core=4U] * koszt budowy data center na szafy amortyzowany przez 20 lat * liczba lat
Koszty sieci	koszt sprzętu i oprogramowania sieciowego [25% kosztów sprzętu i oprogramowania] + koszt wsparcia sprzętu i oprogramowania sieciowego [20% kosztów sprzętu i oprogramowania sieciowego + (koszt dostawcy sieci za 1 GB w skali miesiąca * wymagana przepustowość sieci * 12 * liczba lat)]
Koszty pamięci masowej	(całkowite zapotrzebowanie na pamięć * koszt 1 GB pamięci) + (liczba napędów taśmowych * koszt napędu taśmowego) + (koszt wsparcia pamięci masowej [10% kosztów pamięci] * liczba lat)
Koszty pracy IT	liczba godzin administracji IT w skali roku * średnia stawka godzinowa administratora * liczba lat

Zródło: Na podstawie <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Całkowity koszt funkcjonowania infrastruktury  $TCO_t^w$  zostaje w Azure TCO Calculator wyliczony poprzez dodanie wszystkich kosztów. Kalkulator podaje oszczędność z tytułu migracji na platformę Azure. Nie ma jednak możliwości wskazania zwrotu z inwestycji tylko w technologii wirtualizacji. Podobnie jak w VMware TCO Comparison Calculator, narzędzie nie porównuje danych z analogiczną infrastrukturą fizyczną (czyli  $TCO_t^f$ ), a tym samym nie oblicza zysku  $Z_t$ .

Największą wartością kalkulatora Azure TCO Calculator jest jego elastyczność pod kątem wprowadzania danych, co pozwoli najlepiej odzwierciedlić rzeczywistą sytuację w jakiej znajduje się przedsiębiorstwo. Dzięki temu można rozważyć scenariusz, w którym organizacja nie ponosi kosztów centrum danych, ani nie ma wydatków związanych ze wsparciem. Dodatkowo narzędzie ułatwia użytkownikom pracę poprzez podpowiadanie większości cen, wartości i parametrów. Podział kosztów jest ukierunkowany na budowanie przewag konkurencyjnych – platforma Azure wykazuje zerowe wydatki przy kosztach elektryczności, wirtualizacji, centrum danych i sieci. Jednak wskazywanie razem kosztów zakupu i wsparcia



nie pozwala na jasne określenie samej inwestycji. Twórcy przedstawiają odmienne podejście do wyliczania poszczególnych wartości. Przedstawione algorytmy są skomplikowane, a przede wszystkim mało intuicyjne. W kalkulatorze zostały pominięte koszty szkoleń i outsourcingu, które mogą stanowić istotną część całej inwestycji.

Przedstawione powyżej kalkulatory są komercyjnymi narzędziami, które umożliwiają wielu menedżerom IT dokonanie podstawowych obliczeń i ułatwiają wybór odpowiedniej technologii. Jeśli jednak menedżer IT nie jest osobą w pełni decyzyjną w organizacji w zakresie podejmowania kroków inwestycyjnych, taka analiza, przedstawiona osobom decyzyjnym, powinna być dla nich czytelna, a cały proces zestawienia kosztów logiczny. Kalkulatory VMware, a zwłaszcza VMware TCO Comparison Calculator jest na tyle uniwersalny, że pozwala również na analizę wdrożenia wirtualizacji nie tylko firmy VMware, czy Microsoft, a na przykład różnego rodzaju rozwiązań open source, jak również wyliczenie TCO dla infrastruktury fizycznej.

Pod względem danych wejściowych bezkonkurencyjny jest kalkulator Azure TCO Calculator. Możliwość wprowadzenia adekwatnych cen, wartości i parametrów daje sposobność odtworzenia w narzędziu posiadanej infrastruktury. Tylko na bazie realnych danych można przeprowadzić prawdziwą symulację i przyjąć stworzony na tej podstawie raport – wyliczenie całkowitego kosztu posiadania TCO i wskaźnika zwrotu z inwestycji ROI.

Kalkulator VMware ROI TCO Calculator prezentuje podział kosztów zgodny z przyjętą w niniejszej pracy klasyfikacją. Oddzielenie wydatków inwestycyjnych od operacyjnych sprawia, że kalkulator działa w sposób intuicyjny. Sam proces analizy, czyli identyfikacji wszystkich CAPEX i OPEX, zapewnia przejrzystą kalkulację, kompleksowe wyliczenie TCO oraz wskazanie zysku (w porównaniu z rozwiązaniem konkurencji lub w przypadku dokonania takiej analizy – dla potencjalnej fizycznej infrastruktury). Jednak kalkulator powinien być rozbudowany o dodatkową identyfikację kosztów takich jak: koszty szkoleń i konsultingu (o ile nie są ujęte w ramach wdrożenia lub wsparcia) oraz wykonywania kopii zapasowych (o ile nie są ujęte w ramach administracji). Żaden z dostępnych kalkulatorów nie uwzględnia również kosztów likwidacji na przykład niepotrzebnego już sprzętu podczas migracji ze środowiska fizycznego w wirtualne, które także powinny być ujęte.

Zatem najważniejsze jest prawidłowe zidentyfikowanie kosztów inwestycyjnych i operacyjnych oraz założenie adekwatnych danych wejściowych, które powinny być w jak najszerszej formie możliwe do uzupełnienia przez użytkownika na bazie jego wiedzy i doświadczenia, a nie narzucane przez kalkulator.

Dokonana powyżej wnikliwa analiza istniejących gotowych narzędzi – kalkulatorów ROI/TCO, które są lub były powszechnie dostępne, pozwoliła nie tylko przedstawić jak te narzędzia są zbudowane, ale przede wszystkim zidentyfikować między nimi różnice, niejednoznaczność, jak również luki. Wnioski z przeprowadzonych dywagacji zostały przedstawione w ujęciu wymagań funkcjonalnych w kroku drugim przyjętej w niniejszej dysertacji linii badań opartej o DSR.

### **4.3. Studium pięciu przypadków**

#### **4.3.1. Organizacja badań**

Stworzenie prototypu kalkulatora ROI/TCO poprzedzone zostało badaniem pięciu implementacji tej technologii przez polskie i międzynarodowe organizacje. Materiał został zebrany przy użyciu metody wywiadu pogłębionego IDI (ang. *Individual in Depth Interview*) podczas konsultacji przeprowadzonych w przedsiębiorstwach lub telefonicznie, w którym wykorzystano pytania zamknięte, półotwarte i otwarte. Taka konstrukcja kwestionariusza pozwoliła na rzetelne zbadanie uwarunkowań wdrożeń i dokonanie analizy porównawczej wyników.

Wywiad został podzielony na siedem części, aby uzyskać informacje dotyczące następujących zagadnień:

1. Charakterystyka badanych przedsiębiorstw.
2. Pojęcie wirtualizacji.
3. Pojęcie Cloud Computingu.
4. Pojęcie Green Computingu.
5. Przebieg procesu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych.
6. Charakterystyka infrastruktury IT.
7. Ocena efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych.

Pierwsze zagadnienie – charakterystyka przedsiębiorstwa – to zbadanie sektora, branży, a także modelu biznesowego organizacji. Wskazana została wielkość organizacji oraz lata funkcjonowania na rynku. Ważną informacją w kontekście przeprowadzonego wywiadu jest również organizacja pracy IT – zbadanie czy firma ma własny zespół IT oraz centrum przetwarzania danych oraz czy korzysta w usług outsourcingowych i w jakim zakresie. Kolejne trzy części to zbadanie znajomości pojęć takich jak wirtualizacja, Cloud Computing oraz Green

Computing, a także stopnia zastosowania tych technologii w organizacji. Kolejną część to próba zidentyfikowania skali i procesu wdrożenia wirtualizacji w infrastrukturę informatyczną przedsiębiorstwa. Część pytań miała posłużyć sprawdzeniu na ile kolejne wdrożenia były wcześniej planowane, a na ile implementacja była przypadkowa. Cały proces wdrożenia był omawiany w podziale na trzy etapy – działania początkowe, implementacyjne i końcowe. Ważnym aspektem były kwestie dotyczące dokonywanych analiz TCO oraz ROI, jak również znajomości i używalności kalkulatorów ROI/TCO. Piąta część to charakterystyka infrastruktury IT – wskazanie stosunku serwerów fizycznych do wirtualnych oraz do dzierżawionych w ramach usług CC. Ostatnia, szósta część wywiadu to subiektywna ocena efektów wdrożenia wirtualizacji przez organizację, w tym wskazanie zalet oraz wad technologii.

Badanie empiryczne miało na celu analizę procesu wdrożenia oraz ocenę skutków implementacji technologii wirtualizacji w środowisku informatycznym organizacji m.in. za pomocą kalkulatora ROI/TCO. Te obserwacje pozwolą na sprecyzowanie korzyści płynących z zastosowania wirtualizacji, jak również na zidentyfikowanie jej ograniczeń.

#### **4.3.2. Próba badawcza**

Próba badawcza składała się z pięciu wdrożeń technologii wirtualizacji przez polskie, jak i międzynarodowe organizacje, których analiza mogła istotnie przyczynić się do rozwiązania postawionych w pracy problemów badawczych. Przedsiębiorstwa zostały wybrane w doborze celowym, w sposób zdywersyfikowany, aby pokazać szerokie spektrum zastosowania wirtualizacji w różnych sektorach rynku. Zatem pierwszym kryterium wyboru był dobór organizacji zarówno z sektora publicznego, jak i prywatnego. Drugie kryterium to branża rynku, w którym dane przedsiębiorstwo funkcjonuje. W tym przypadku konieczne wydawało się zbadanie wdrożenia zarówno w firmach niezwiązanych z rynkiem IT (aczkolwiek posiadającej własne zaplecze informatyczne), jak i takiej, której główną działalnością jest dostarczanie usług informatycznych (również z własnym środowiskiem IT). Ostatnim kryterium był dobór firm funkcjonujących na rynku więcej niż 10 lat, które miały szansę i okazję dostosowywać własne data center do ewoluującej technologii i obserwować rosnącą popularyzację wirtualizacji.

Respondentami byli menedżerowie działów IT – głównie CIO (ang. *Chief Information Officer*), na których spoczywa odpowiedzialność zarówno za budżet funkcjonowania całego działu IT (a więc odgórna presja na oszczędności), jak również za jakość dostarczanych usług informatycznych wewnątrz i na zewnątrz organizacji. Były to osoby, które uczestniczyły w

procesie wdrożenia wirtualizacji bezpośrednio lub miały wiedzę jak ten proces się odbywał, jeśli implementacja była realizowana przez poprzedniego menedżera IT. W przypadku konieczności uzupełnienia wiedzy o aspekty techniczne, wywiad był prowadzony również z administratorami serwerów, którzy sprawują bezpośrednią pieczę nad posiadanymi przez organizację zasobami. To pozwoliło na zebranie wyczerpującego materiału do dalszej analizy i oceny.

#### **4.3.3. Charakterystyka badanych organizacji i przeprowadzonych wdrożeń**

Badania empiryczne zostały przeprowadzone wśród pięciu organizacji, zarówno z sektora publicznego, jak i prywatnego. Organizacje sektora prywatnego prezentowały różne branże i gałęzie biznesu. Organizacja A to jednostka budżetowa (sektor publiczny), działająca od 1970 roku w branży edukacyjnej (biblioteka podlegająca pod szkołę wyższą). Organizacja działa tylko na polskim rynku, zatrudnia około 170 pracowników (średnie przedsiębiorstwo). Swoje usługi edukacyjne kieruje tylko do klienta indywidualnego. Organizacja B to firma z branży wydawniczej (wydawanie książek i czasopism, jak również usługi dystrybucyjne, szkoleniowe oraz organizacja konferencji) działająca w Polsce od 1951 roku, sprywatyzowana (kapitał zagraniczny) w 1992 roku. Przedsiębiorstwo zatrudnia w całej grupie kapitałowej powyżej 250 pracowników, a swoje usługi kieruje zarówno do klienta indywidualnego, jak i instytucjonalnego. Organizacja C to firma prywatna założona w 2004 roku, zajmująca się usługami informatycznymi (wytwarzaniem oprogramowania w ramach outsourcingu IT, jak również outsourcingiem pracowników IT), działająca na rynku polskim i zagranicznym. Zatrudnia około 40 pracowników (małe przedsiębiorstwo), a swoje usługi kieruje do klientów biznesowych (instytucjonalnych), do każdego sektora rynku, aczkolwiek organizacja wywodzi się z rynku usług edukacyjno-wydawniczych. Organizacja D to firma informatyczna, działająca od 2021 roku w branży ubezpieczeniowej (wcześniej jako inny podmiot gospodarczy od 1991 do końca 2020 roku). Organizacja działa na polskim i międzynarodowym rynku, zatrudnia ponad 1500 pracowników (duże przedsiębiorstwo). Swoje usługi IT kieruje tylko do klienta instytucjonalnego w ramach grupy kapitałowej. Organizacja E to firma z branży ubezpieczeniowej działająca w od 1991 roku. Przedsiębiorstwo zatrudnia powyżej 3000 pracowników, a swoje usługi kieruje zarówno do klienta indywidualnego, jak i instytucjonalnego. Taki dobór organizacji pozwolił zbadać wirtualizację w ugruntowanych na rynku polskim i zagranicznym w firmach, które swoją działalność rozpoczynały w czasach, gdy

wirtualizacja nie była jeszcze powszechnie stosowana, co oznacza, że mogły się rozwijać wraz ze zmieniającą się technologią (tabela 4.11).

**Tabela 4.11. Charakterystyka organizacji**

	<b>Organizacja A</b>	<b>Organizacja B</b>	<b>Organizacja C</b>	<b>Organizacja D</b>	<b>Organizacja E</b>
<b>Sektor</b>	Publiczny	Prywatny	Prywatny	Prywatny	Prywatny
<b>Branża</b>	Edukacyjna	Wydawnicza	Informatyczna	Informatyczna	Ubezpieczeniowa
<b>Model biznesu</b>	Business to Customer	Business to Business Business to Customer	Business to Business	Business to Business	Business to Business Business to Customer
<b>Wielkość firmy</b>	Średnie przedsiębiorstwo	Duże przedsiębiorstwo	Małe przedsiębiorstwo	Duże przedsiębiorstwo	Duże przedsiębiorstwo
<b>Lata działania</b>	Powyżej 20 lat	Powyżej 20 lat	10-20 lat	Powyżej 20 lat	Powyżej 20 lat
<b>Międzynarodowość</b>	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Istotną kwestią dla prowadzonych badań, która opisuje również charakter przedsiębiorstwa, jest organizacja pracy zespołu IT. Wszystkie firmy posiadają własne, wewnętrzne działy IT oraz centrum przetwarzania danych (niekiedy współtworzone wraz z hostingiem u zewnętrznych dostawców – outsourcing infrastruktury lub sam hosting). Ponadto organizacje korzystają z usług outsourcingowych w zakresie oprogramowania, jak również obsługi helpdeskowej (tabela 4.12).

**Tabela 4.12. Charakterystyka organizacji - IT**

	<b>Organizacja A</b>	<b>Organizacja B</b>	<b>Organizacja C</b>	<b>Organizacja D</b>	<b>Organizacja E</b>
<b>Wewnętrzny dział IT</b>	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
<b>Własne data center</b>	Fizyczne	Fizyczne i hosting	Hosting	Fizyczne i hosting	Fizyczne i hosting
<b>Outsourcing usług</b>	Tak (oprogramowanie)	Tak (oprogramowanie, infrastruktura, helpdesk)	Tak (infrastruktura)	Tak (infrastruktura)	Tak (oprogramowanie, infrastruktura)

Źródło: Na podstawie badań własnych.

## Organizacja A

Organizacja A od ponad 10 lat zna i sukcesywnie wprowadza rozwiązania wirtualizacyjne. Pierwsze wdrożenia były dokonywane na serwerach, głównie w celach testowych, obecnie swoje zastosowanie wirtualizacja znajduje również w przypadku sieci. Administratorom znanych jest wiele rozwiązań i technologii, jednak stosowane są trzy z nich – Microsoft Hyper-V, VMware ESX Server oraz bezpłatny Xen. Badana jednostka upatruje duży potencjał w wybranej technologii i planuje rozwój swojej infrastruktury głównie w oparciu o wirtualizację. Decyzja o wyborze kierunku rozwoju środowiska IT była intuicyjna, poparta ówczesnymi trendami, a nie ekonomicznymi kalkulacjami, ponieważ nie były one dokonywane ani przez administratorów, ani przez pozostałych decydentów (w przypadku kosztów jest to dyrektor jednostki). Zatem organizacja nie zna, samodzielnie nie stosuje i nie stosowała kalkulatorów ROI/TCO, nie analizowała zwrotu z inwestycji ROI oraz całkowitych kosztów inwestycji TCO, nie dokonywała analizy TOWS/SWOT (ang. *Threats, Opportunities, Weaknesses, Strengths*), ani nie korzystała z narzędzi planistycznych. Jednak przed pierwszymi wdrożeniami, badana jednostka korzystała z płatnych usług konsultingowych, samo wdrożenie wykonując już samodzielnie. W pierwszej kolejności organizacja A dobrała odpowiednią kadrę administracyjną (dwie osoby bez wcześniejszego doświadczenia w dziedzinie wirtualizacji), stworzyła środowisko testowe i wdrażała rozwiązania serwerowe. Ten etap zajął firmie niecały rok. W kolejnym roku badana jednostka implementowała rozwiązania sieciowe i koncentrowała się głównie na zapewnieniu maksymalnej bezawaryjności całej infrastruktury IT, kładąc nacisk na automatyzację procesów tworzenia kopii zapasowych. W ostatnim etapie (około pół roku) wdrażane były narzędzia do zarządzania infrastrukturą na poziomie całego data center, a cały proces został udokumentowany. W efekcie organizacja A posiada sześć serwerów fizycznych, z czego dwa stanowią maszyny testowe. Na serwerach jest zainstalowany głównie system operacyjny Linux, jak również Solaris. Trzy serwery fizyczne są dedykowane rozwiązaniom wirtualizacyjnym – Microsoft Hyper-V, VMware ESX Server oraz Xen. Na trzech hostach działa siedemnaście maszyn wirtualnych (w tym Microsoft Windows 7, 10, Microsoft Windows Server 2003, 2008, 2016, Red Hat 5.x EL, 6.x EL, 7.x EL, Linux). Organizacja nie dzierżawi żadnych serwerów w ramach usług IaaS, jedynie korzysta z usługi Microsoft Office 365 w ramach Microsoft Azure (PaaS), która nie jest bezpośrednio zarządzana przez badaną jednostkę. Własna serwerownia jest utrzymywana w zakresie powierzchni biurowej całej organizacji, nie są w związku z tym ponoszone na nią dodatkowe koszty utrzymania (a koszty zasilania i chłodzenia również są pokrywane w ramach wydatków ogólnych). Pieczę nad całą infrastrukturą sprawuje dwóch administratorów, którzy oprócz koordynacji prawidłowego jej

działania, mają również w kompetencjach i obowiązkach obsługę informatyczną całej badanej jednostki.

Cloud Computing to również pojęcie znane i stosowane w organizacji, równie długo jak wirtualizacja, bo od ponad 5 lat. Organizacja deklaruje korzystanie z chmury publicznej (zewnętrznej) w formie usług EaaS-owych i SaaS-owych. W praktyce jest to pakiet usług Microsoft Office 365 (poczta i aplikacje biurowe), system biblioteczny Virtua oraz repozytorium publikacji naukowych Omega. Strona www organizacji zbudowana jest w oparciu o WordPress-a, który znajduje się, podobnie jak Virtua i Omega, na serwerach wirtualnych. W organizacji z sukcesem stosowane są również bezpłatne rozwiązania takie jak Gmail i pakiet Google Docs. Żadne inne usługi CC (takie jak PaaS, CaaS, czy IaaS) nie są stosowane, jednak organizacja nie wyklucza takiej możliwości w przyszłości, gdyż planuje dalsze wdrożenia chmury obliczeniowej w najbliższym czasie.

Badana jednostka w czasie wywiadu zadeklarowała znajomość pojęcia „zielonego IT” oraz CSR, twierdząc jednocześnie, że takie rozwiązania nie były, nie są i nie będą stosowane przez organizację wcale. Respondenci pytani jednak o konkretne działania wymienili między innymi: konsolidację serwerów oraz wirtualizację zasobów informatycznych (zgodzili się również ze stwierdzeniem, iż „wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computingu”), utylizację zużytego sprzętu komputerowego, przeprowadzanie doświadczeń dotyczących regulacji temperatury w centrum przetwarzania danych (w celu redukcji kosztów poprzez podwyższenie dopuszczalnej temperatury). Pytani o wydruk zadeklarowali wprowadzenie drukarek sieciowych i centralizację systemu wydruków oraz konieczność logowania się do systemu przez pracowników przed wydrukiem. Organizacja w wyjątkowych sytuacjach dopuszcza pracę zdalną (wyjątkiem była konieczność wprowadzenia pracy zdalnej podczas pandemii COVID-19), wykorzystanie prywatnego komputera w pracy (idea BYOD), ponadto wprowadziła zasadę konieczności wyłączania komputera przed wyjściem z pracy. Przy podejmowaniu decyzji o wyborze nowego sprzętu, badana jednostka bierze pod uwagę parametry energooszczędności. Organizacja nie wykorzystuje jednak tych faktów w komunikacji marketingowej, a tym samej nie promuje siebie jako „eko” (jednym z powodów jest brak takiej świadomości).

W ogólnej ocenie przeprowadzonego procesu wdrożenia wirtualizacji, organizacja A przyznała, że miało to istotny wpływ na zmniejszenie kosztów sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej oraz, że zostały ograniczone koszty chłodzenia. Redukcja kosztów (bez wskazania konkretnej kwoty), według badanej jednostki, została osiągnięta poprzez możliwą konsolidację, optymalizację wykorzystywanego sprzętu, przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności

systemów IT. Organizacja wymieniała również takie cechy jak: zapewnienie maksymalnej bezawaryjności oraz zwiększenie bezpieczeństwa infrastruktury poprzez m.in. podniesienie stabilności systemów oraz skrócenie czasu realizacji kopii bezpieczeństwa. Badana jednostka doceniła również elastyczność wirtualnej struktury dzięki możliwości dynamicznego zarządzania przetwarzaniem danych oraz faktowi, że taka architektura usprawnia wprowadzanie zmian. W ocenie ogólnej organizacja zgodziła się ze stwierdzeniem, iż „wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji”. Jednak badana jednostka zaobserwowała również pewne ograniczenia, takie jak: możliwa awaria serwera hosta, problemy wydajnościowe (generowane głównie przez aplikację i silnik baz danych) oraz licencyjne. Implementacja rozwiązań wirtualizacyjnych nie wprowadziła zmian w zatrudnieniu, a jedynie spowodowała zwiększenie obowiązków obecnych administratorów.

## **Organizacja B**

Organizacja B pierwsze rozwiązania wirtualizacyjne wdrażała ponad 5 lat temu głównie na infrastrukturze serwerowej, obecnie wirtualna technologia znajduje swoje zastosowanie również w przypadku sieci, aplikacji i pamięci (macierze z odpowiednimi podziałami pod serwery wirtualne). Administrator zadeklarował znajomość wszystkich rozwiązań (płatnych i bezpłatnych), natomiast organizacja zdecydowała się na budowanie infrastruktury w oparciu o rozwiązanie VMware ESX Server oraz Proxmox<sup>318</sup> i kontenerowe FreeBSD Jail, zarówno na serwerach fizycznych w data center, jak i dzierżawionych w ramach usług IaaS. Cały proces wdrożenia wirtualizacji został wykonany przez firmę zewnętrzną w ramach outsourcingu usług. Respondenci, czyli obecny menedżer IT oraz administrator mieli zatem wiedzę przekazaną przez ów firmę oraz poprzednich decydentów, sam proces wdrożenia nie został bowiem udokumentowany. Firma zewnętrzna, oprócz samego wdrożenia, świadczyła również płatne usługi konsultingowe i to ona przekonała ówczesnych decydentów do migracji w środowisko wirtualne. Z przekazanej wiedzy wynika jednak, że decyzja nie była poprzedzona z wykorzystaniem kalkulatorów ROI/TCO, nie analizowano zwrotu z inwestycji ROI oraz całkowitych kosztów inwestycji TCO, nie dokonano analizy TOWS/SWOT. W pierwszej kolejności została przeanalizowana posiadana infrastruktura serwerów wraz z identyfikacją maksymalnych i minimalnych poziomów wykorzystania oraz została dobrana odpowiednia

---

<sup>318</sup> Proxmox to środowisko do wirtualizacji serwerów typu open source. Jest to dystrybucja systemu Linux oparta na Debianie ze zmodyfikowanym kernelem Ubuntu, umożliwiająca wdrażanie i zarządzanie maszynami wirtualnymi i kontenerami.



kadra administracyjna zarówno po stronie firmy zewnętrznej (mniej niż 5 osób) jak i organizacji B, która koordynowała wdrożenie. Pierwszy etap trwał ponad rok, a sama implementacja została ograniczona do rozwiązań serwerowych. W kolejnym roku badana jednostka rozwijała i zabezpieczała wirtualną infrastrukturę poprzez wprowadzanie i korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością oraz starała się zapewnić maksymalną bezawaryjność. Systematycznie rozszerzany był wachlarz zastosowań wirtualizacji – wirtualne aplikacje, sieć oraz pamięć. W ostatnim etapie (mniej niż pół roku) wirtualizowane były krytyczne dla organizacji zasoby, które finalnie umieszczone zostały na instalacji VMware. Wprowadzone zostały również narzędzia do zarządzania infrastrukturą na poziomie całego centrum przetwarzania danych. Z czasem fizyczna i wirtualna infrastruktura została przekazana do zarządzania organizacji B, tym samym rezygnując z usług firmy zewnętrznej. Dalej środowisko IT było rozwijane przez lokalnego administratora, a kierunek rozwoju został skierowany na rozwiązania chmurowe i sukcesywną migrację w stronę usług IaaS. W efekcie tych zmian organizacja B posiada cztery serwery fizyczne spięte w jeden grid, które stanowią moc obliczeniową niezbędną dla wydajnego działania systemu VMware ESX Server. Na hostach funkcjonuje czterdzieści maszyn wirtualnych, na których w zależności od potrzeb działają głównie systemy Microsoft Server lub CentOS. Ponadto organizacja dzierżawi w ramach IaaS w OVH piętnaście maszyn (cztery to serwery dedykowane, pozostałe to wirtualne maszyny uruchomione na „fizycznym” hoście), na których dzięki kombinacji technologii Proxmox oraz Free Jail BDS funkcjonuje średnio dziesięć VM na jeden serwer hosta. Własna serwerownia jest niewielka i utrzymywana w zakresie powierzchni biurowej całej organizacji, nie są w związku z tym ponoszone na nią dodatkowe koszty utrzymania (w tym zasilania i chłodzenia). Obecnie pieczę nad całą infrastrukturą sprawuje dwóch administratorów, którzy łącznie zatrudnieni są na półtora etatu.

Cloud Computing to również pojęcie znane i stosowane w organizacji B od ponad 5 lat. Respondenci zadeklarowali korzystanie z chmury publicznej (zewnętrznej) w formie usług SaaS, PaaS, IaaS, CaaS oraz EaaS. SaaS to system klasy ERP (SoftLab), systemy wysyłkowe FreshMail i Interspire, pakiet Google Docs oraz systemy CMS funkcjonujący na WordPress. PaaS to środowisko GitHub, czyli repozytorium projektów programistycznych. IaaS to dzierżawa serwerów w OVH, CaaS to system do telemarketingu RedLink, a EaaS to poczta Microsoft Office 365. CC to kierunek, w stronę którego organizacja B będzie podążać, gdyż taka jest wola decydentów, czyli CEO (ang. *Chief Executive Officer*) oraz CFO (ang. *Chief Financial Officer*). Badana jednostka dalszy rozwój chce opierać o dzierżawę usług serwerowych (i na tej podstawie budować struktury wirtualne), wykluczając zupełnie zakup

fizycznych serwerów. Dalsze wdrożenia (w tym planowana implementacja CRM) będą realizowane w ciągu najbliższego roku właśnie w oparciu o chmurę obliczeniową – publiczną lub prywatną na własnych zasobach wirtualnych. Respondenci tym samym mają świadomość i zgadzają się ze stwierdzeniem, iż „technologia wirtualizacji jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub tworzenia chmury prywatnej”.

Badana jednostka B w czasie wywiadu, podobnie jak organizacja A, zadeklarowała znajomość pojęcia „zielonego IT” oraz CSR i ESG, twierdząc jednocześnie, że takie rozwiązania nie były, nie są i nie będą stosowane przez organizację wcale. Jednocześnie respondenci potwierdzili, że zasoby informatyczne były wirtualizowane, a „wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computingu” i polityką CSR oraz, że standardem jest w organizacji korzystanie z usług Cloud Computingu. Równocześnie firma utylizuje zużyty sprzęt komputerowy oraz wprowadziła szereg zmian w kwestii wydruku – drukarki sieciowe i centralizację systemu wydruków oraz wprowadziła konieczność logowania się do systemu przez pracowników przed wydrukiem. Jeśli pracownik nie zgłosi się po wydruk w ciągu 24 godzin, to jest on usuwany z pamięci drukarki. Jeśli natomiast się zgłosi, to domyślnie jest realizowany druk dwustronny. W czasie pandemii COVID-19 organizacja przeszła na elektroniczny obieg dokumentów, w tym podpisy elektroniczne, co spowodowało rezygnację z drukowania wielu dokumentów, kontraktów itp. Organizacja jako standard dopuszcza pracę zdalną (pełna praca zdalna była też możliwa przed pandemią), wykorzystanie prywatnego komputera w pracy (idea BYOD), ponadto wprowadziła zasadę konieczności wyłączenia komputera przed wyjściem z pracy. Przy podejmowaniu decyzji o wyborze nowego sprzętu (głównie komputery stacjonarne i laptopy), badana jednostka bierze pod uwagę parametry energooszczędności. Organizacja nie promuje siebie jako „eko” w komunikacji marketingowej (tak jak w przypadku organizacji A – brakuje jej takiej świadomości).

Respondenci, mimo że nie uczestniczyli od początku w procesie wdrożenia lub uczestniczyli pośrednio jako koordynatorzy, są zadowoleni z obranego kierunku i kontynuują taki rozwój infrastruktury przyznając, że „wirtualizacja jest technologią kluczową dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury informatycznej”. W kwestii kosztów organizacja B przyznała, że wirtualizacja (ale również dzierżawa usług IaaS) wpłynęła na większą kontrolę wydatków, zmniejszając tym samym koszty zakupu sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej oraz koszty chłodzenia poprzez zmniejszenie poboru energii. Nie była jednak w stanie powiedzieć jaki jest rząd tych oszczędności. Możliwa konsolidacja pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów według badanej jednostki, a dzięki redukcji

niepotrzebnego sprzętu, zwiększa się dostępne miejsce w data center. Respondenci podkreślili również wiele cech dotyczących bezpieczeństwa i elastyczności swoich struktur IT – efektywne odzyskiwanie danych, maksymalna bezawaryjność, dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych, dostosowanie niezbędnej mocy obliczeniowej oraz zwiększenie elastyczności systemów IT. Zgodzili się także ze stwierdzeniem, że „wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji”. Oczywiście organizacja jest świadoma również potencjalnych problemów, takich jak: możliwa awaria serwera hosta, zbyt duże obciążenie fizycznych serwerów (co ma miejsce w infrastrukturze organizacji i jest jej głównym ograniczeniem), czyli problemy wydajnościowe oraz sieciowe. Implementacja rozwiązań wirtualizacyjnych nie wprowadziła zmian w zatrudnieniu, ale spowodowała finalnie możliwość rezygnacji z usług firmy zewnętrznej i przejście tych obowiązków przez wewnętrzny dział IT, a tym samym redukcję kosztów outsourcingu. Ponadto organizacja ma świadomość, że ad hoc-owe działania podczas wdrożenia i brak dokumentacji nie jest optymalnym sposobem implementacji nowej technologii i przyznaje, że jedynie „opracowanie modelu wdrożenia wirtualizacji pozwoli na zmaksymalizowanie korzyści płynących z tej technologii”.

### **Organizacja C**

Organizacja C od wielu lat (ponad 5) stosuje rozwiązania wirtualizacyjne z czasem rezygnując z maszyn fizycznych w ogóle. Badana organizacja – firma informatyczna – jednak większość swoich usług implementuje w środowiskach IT klientów, dlatego też nie posiada własnego fizycznego centrum przetwarzania danych, a to wirtualne nie musi być rozbudowane. Rozwiązania wirtualizacyjne ograniczają się jedynie do serwerów, administratorowi znane są niemalże wszystkie rozwiązania dostępne na rynku, jednak w jego ocenie najlepsze są tak zwane kontenery i technologia Free BDS Jail. Decyzja o wyborze kierunku rozwoju środowiska IT była zgodna z ogólnym trendem i sukcesywnie wprowadzanymi rozwiązaniami do wirtualizacji. W tym przypadku badana jednostka, podobnie jak organizacja A i B, nie stosowała kalkulatorów ROI/TCO, nie analizowała zwrotu z inwestycji ROI oraz całkowitych kosztów inwestycji TCO, nie dokonywała analizy TOWS/SWOT. Organizacja od początku istnienia w swoich szeregach posiadała specjalistę od zarządzania infrastrukturą, toteż cały proces wdrożenia (a w zasadzie kompletnego przejścia ze środowiska fizycznego do wirtualnego w chmurze obliczeniowej) wykonała samodzielnie, bez wsparcia firm konsultingowych, czy outsourcingowych. W pierwszej kolejności zidentyfikowana i przeanalizowana została cała infrastruktura, ponieważ od samego początku celem była

całkowita rezygnacja ze środowiska fizycznego we własnym data center. W przypadku decyzji o przejściu do chmury, istotny był również wybór dostawcy usług IaaS (OVH). Ten proces przebiegł w niecały rok, a następnie badana jednostka skoncentrowała się na zapewnieniu bezpieczeństwa i wysokiej wydajności posiadanego środowiska, poprzez wprowadzenie narzędzi do automatycznego tworzenia kopii zapasowych, i zarządzania wydajnością oraz całą infrastrukturą posiadaną w chmurze. Wszystkie prace zostały zrealizowane w niecałe 2 lata przez jednego administratora, który nadal sprawuje pieczę nad instalacją. W efekcie implementacji organizacja C posiada cztery serwery „fizyczne” dzierżawione w OVH, na których działa oprogramowanie Free BSD Jail stanowiące podstawę do uruchamiania VM (po około sześć VM na jednego hosta). W większości zasoby są zarezerwowane dla środowiska GitHub, jak również na własne zasoby typu strona www, poczta, system rozliczenia czasu pracy. Badana jednostka nie posiada w swoich zasobach rozwiązań komercyjnych taki jak VMware, czy Microsoft.

Rozwiązania Cloud Computingowe w postaci usług IaaS były celowo i równolegle wprowadzane z technologią wirtualizacji – po to by zrezygnować z fizycznego centrum przetwarzania danych na rzecz chmury i tam wirtualizować dzierżawione serwery „fizyczne”. Ponadto organizacja deklaruje korzystanie z chmury publicznej (zewnętrznej) w formie usług PaaS-owych i środowiska dla projektów IT – GitHub. W organizacji z sukcesem stosowane są również bezpłatne rozwiązania takie jak Gmail i pakiet Google Docs. Badana jednostka uważa chmury za jedyne słuszny kierunek rozwoju i zamierza kolejne, ewentualne potrzeby realizować właśnie dzięki usługom Cloud Computingowym.

Organizacja C jako jedyna przyznała, że nie zna pojęcia Green Computing, ale wie co to jest CSR. Respondenci pytani jednak o konkretne działania wymienili między innymi: wirtualizację zasobów informatycznych oraz korzystanie z CC w zakresie usług. Niepotrzebny sprzęt poddawany jest utylizacji oraz recyklingowi. System druku jest scentralizowany, a wszystkie wydruki są realizowane dwustronnie. Pandemia COVID-19 wymusiła na organizacji przejście na elektroniczny obieg dokumentów wraz z podpisem elektronicznym, co również wpłynęło na redukcję wydruku. Organizacja przed pandemią dopuszczała pracę zdalną tylko w wyjątkowych sytuacjach, później wróciła do modelu hybrydowego, który łączy w sobie elementy pracy z biura oraz pracę zdalną. Dopuszczalna jest również praca na własnym urządzeniu (idea BYOD). Nie bierze jednak pod uwagę parametrów energooszczędności przy podejmowaniu decyzji o zakupie nowego sprzętu. Ponadto nie planuje dalszych „zielonych” wdrożeń i nie chce siebie promować jako przedsiębiorstwa informatycznego działającego zgodnie z ideą Green Computingu i CSR.

Organizacja C ma świadomość, że przejście ze środowiska fizycznego do chmury miało znaczny wpływ na zmniejszenie kosztów sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej (ale również nie potrafi wskazać konkretnej kwoty). Zastosowanie IaaS i wirtualizacji pozwoliło na całkowitą rezygnację z własnego centrum przetwarzania danych, a tym samym zwiększyło bezpieczeństwo posiadanych systemów IT, a w przypadku awarii następuje efektywne odzyskiwanie danych. Taka polityka i sposób zarządzania wirtualnym środowiskiem pozwala dostosowywać niezbędną moc obliczeniową do aktualnych potrzeb przez dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych, co czyni całe środowisko elastycznym. Tym samym organizacja zgodziła się, że stwierdzeniami, iż „wirtualizacja jest technologią kluczową dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury informatycznej”, jak również, że „wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji”, natomiast w połączeniu z usługą IaaS, w ocenie badanej jednostki, „technologia wirtualizacji jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub tworzenia chmury prywatnej”. Awaria serwera hosta, stanowi jedno z największych wyzwań w opinii organizacji, jednak w przypadku dzierżawy serwerów, które są gospodarzami pod VM, to zadaniem usługodawcy (w tym przypadku OVH) jest zapewnić szybkie i bezproblemowe odzyskanie utraconych danych. Ponieważ cały proces wdrożenia i koordynacji obecnej infrastruktury leży w rękach jednego administratora, nie miało to wpływu na redukcję zatrudnienia, a jedynie na zmianę sposobu zarządzania środowiskiem IT – z fizycznego na wirtualne w chmurze. Organizacja zgadza się również ze stwierdzeniem, że „opracowanie modelu wdrożenia wirtualizacji pozwoli na zmaksymalizowanie korzyści płynących z tej technologii”, ponieważ mimo że organizacja C nie opracowała i nie spisała strategii implementacji, to jednak miała jasno sprecyzowany cel jakim była rezygnacja z fizycznego centrum przetwarzania danych, co finalnie udało się osiągnąć.

## **Organizacja D**

Organizacja D od ponad 10 lat doskonale zna i z sukcesami stosuje rozwiązania wirtualizacyjne. Pierwsze wdrożenia były dokonywane na serwerach, obecnie cała organizacja migruje w stronę chmury. Administratorom znanych jest wiele rozwiązań i technologii, jednak stosowane są dwa z nich – Microsoft Hyper-V i VMware ESX Server. Badana jednostka konsekwentnie migruje w usługi CC w Microsoft Azure i nie planuje wydatków związanych z infrastrukturą fizyczną. Decyzja o wyborze kierunku rozwoju środowiska IT była strategiczna, poparta tendencjami rynkowymi, a rachunkiem zysku i strat. Organizacja mimo znajomości

narzędzi pomiaru rentowności, czyli kalkulatorów ROI/TCO (VMware Cloud on AWS TCO Calculator i Azure TCO Calculator.), nie analizowała zwrotu z inwestycji ROI oraz całkowitych kosztów inwestycji TCO, nie dokonywała analizy TOWS/SWOT, ani nie korzystała z narzędzi planistycznych. Pierwsze wdrożenia dokonywane były samodzielnie, bez udziału firm konsultingowych, ze względu na wysoko wykwalifikowaną kadrę w tym obszarze. W pierwszej kolejności organizacja D dobrała odpowiednią kadrę administracyjną (wykwalifikowany i doświadczony administrator), stworzyła środowisko testowe i wdrażała rozwiązania serwerowe, implementując równolegle narzędzia do zarządzania infrastrukturą na poziomie całego data center, przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnej bezawaryjności. Ten etap zajął firmie niecały rok. W kolejnym roku badana jednostka implementowała rozwiązania sieciowe oraz konsekwentnie kontynuowała wdrożenie wirtualizacji w ramach infrastruktury. W ostatnim etapie (około pół roku) kontynuowane były działania migracji do rozwiązań wirtualizacyjnych. Jednak ten stan szybko zaczął się zmieniać po decyzji o przejściu do chmury. Organizacja D posiada bardzo rozbudowaną infrastrukturę, więc na potrzeby przeprowadzenia badań została wskazana jedna usługa zdalnych dostępu i fragment infrastruktury właściwy na tej usługi. Usługa zdalnych dostępu jest postanowiona na jednym serwerze fizycznym VMware ESX Server, na którym skonfigurowanych jest 15 VM. Organizacja z biegiem lat zaczęła dzierżawić przede wszystkim usługi IaaS, korzysta z usługi Microsoft Office 365 w ramach Microsoft Azure, jak również zaimplementowała SAP (PaaS). Własna serwerownia jest utrzymywana w zakresie powierzchni biurowej całej organizacji, nie są w związku z tym ponoszone na nią dodatkowe koszty utrzymania (a koszty zasilania i chłodzenia również są pokrywane w ramach wydatków ogólnych). Pieczę nad infrastrukturą tej jednej usługi sprawuje jeden, doświadczony administrator.

Cloud Computing to również pojęcie znane i stosowane w organizacji, równie długo jak wirtualizacja, bo od ponad 10 lat. Organizacja deklaruje korzystanie z chmury publicznej (zewnętrznej) w formie usług IaaS, EaaS i SaaS. W praktyce jest to infrastruktura, pakiet usług Microsoft Office 365 (poczta i aplikacje biurowe), system księgowy SAP.

Badana jednostka w czasie wywiadu zadeklarowała znajomość pojęcia „zielonego IT” oraz CSR oraz ESG, twierdząc jednocześnie, że takie rozwiązania były, są i będą stosowane przez organizację. Respondenci pytani jednak o konkretne działania wymienili między innymi: konsolidację serwerów oraz wirtualizację zasobów informatycznych (zgodzili się również ze stwierdzeniem, iż „wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computingu”), użycie zużytego sprzętu komputerowego, sieciowe drukarki i wydruk dwustronny. W przypadku organizacji D również przejście na elektroniczny obieg dokumentów zredukowało konieczność

wydruku wiele kontraktów, aneksów i innych formalnych dokumentów. Czas pandemii COVID-19 sprawił, że firma przeszła na pracę zdalną i w takim trybie pracuje nadal. Obecnie organizacja dopuszcza pełną pracę zdalną, a w przypadku pracy z biura promuje zasadę konieczności wyłączania komputera przed wyjściem z pracy. Ze względów bezpieczeństwa informacji praca na własnym urządzeniu (idea BYOD) nie jest dopuszczalna. Natomiast przy podejmowaniu decyzji o wyborze nowego sprzętu (głównie na klientów), badana jednostka bierze pod uwagę parametry energooszczędności. Organizacja promuje również termin EGS wewnątrz swoich struktur, organizując szkolenia i seminaria. W ogólnej ocenie przeprowadzonego procesu wdrożenia wirtualizacji, organizacja D przyznała, że miało to istotny wpływ na zmniejszenie kosztów sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej oraz, że zostały ograniczone koszty chłodzenia. Redukcja kosztów (bez wskazania konkretnej kwoty), według badanej jednostki, została osiągnięta głównie poprzez migrację do usług CC. Organizacja wymieniała również takie cechy jak: zapewnienie maksymalnej bezawaryjności oraz zwiększenie bezpieczeństwa infrastruktury poprzez m.in. podniesienie stabilności systemów oraz skrócenie czasu realizacji kopii bezpieczeństwa. Badana jednostka doceniła również elastyczność wirtualnej struktury dzięki możliwości dynamicznego zarządzania przetwarzaniem danych oraz faktowi, że taka architektura usprawnia wprowadzanie zmian. W ocenie ogólnej organizacja zgodziła się ze stwierdzeniem, iż „wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji”. Jednak badana jednostka zaobserwowała również pewne ograniczenia, takie jak: możliwa awaria serwera hosta, problemy wydajnościowe (generowane głównie przez aplikację i silnik baz danych) oraz licencyjne. Implementacja rozwiązań wirtualizacyjnych nie wprowadziła zmian w zatrudnieniu, a jedynie spowodowała zwiększenie obowiązków obecnych administratorów.

### **Organizacja E**

Organizacja E pierwsze rozwiązania wirtualizacyjne wdrażała ponad 10 lat temu głównie na infrastrukturze serwerowej, obecnie wirtualna technologia znajduje swoje zastosowanie również w przypadku sieci, aplikacji i pamięci outsourcingując prawie wszystkie związane z tym działania. Administrator zadeklarował znajomość większości rozwiązań (płatnych i bezpłatnych), natomiast organizacja zdecydowała się na budowanie infrastruktury w oparciu o rozwiązanie VMware ESX Server w usłudze Microsoft Azure. Cały proces wdrożenia wirtualizacji został wykonany przez firmę zewnętrzną w ramach outsourcingu usług i nadal przez tę firmę zewnętrzną jest utrzymywany. Firma zewnętrzna, oprócz samego wdrożenia, świadczy również płatne usługi konsultingowe i to ona przekonała ówczesnych decydentów do

migracji w środowisko wirtualne. Z przekazanej wiedzy wynika jednak, że decyzja nie była poparta obliczeniami na kalkulatorach ROI/TCO, nie analizowano zwrotu z inwestycji ROI oraz całkowitych kosztów inwestycji TCO, nie dokonano analizy TOWS/SWOT. Podążano jednak za trendami rynkowymi i działaniami, która firma outsourcingowa stosowała w tamtym czasie. W pierwszej kolejności została przeanalizowana posiadana infrastruktura serwerów wraz z identyfikacją maksymalnych i minimalnych poziomów wykorzystania oraz została dobrana odpowiednia kadra administracyjna zarówno po stronie firmy zewnętrznej (więcej niż 5 osób) jak i organizacji E, która koordynowała migrację. Pierwszy etap trwał ponad rok, a sama implementacja została ograniczona do rozwiązań serwerowych. W kolejnym roku badana jednostka rozwijała i zabezpieczała wirtualną infrastrukturę poprzez wprowadzanie i korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością oraz starała się zapewnić maksymalną bezawaryjność. Systematycznie rozszerzany był wachlarz zastosowań wirtualizacji – wirtualne aplikacje, sieć oraz pamięć. W ostatnim etapie (mniej niż pół roku) wirtualizowane były krytyczne dla organizacji zasoby, które finalnie umieszczone zostały na instalacji VMware, a następnie migrowane do usługi Microsoft Azure. Dalej środowisko IT było rozwijane przez lokalnego administratora, który kontynuował migrację w usługi CC. W przypadku również tej organizacji posiadana infrastruktura jest bardzo rozbudowana. Dlatego do badania wskazany został fragment usługi i infrastruktury, na którym ta usługa działa. Omawiana usługa to proces PVM (ang. *Patch and Vulnerability Management*), który jest uruchomiony na 2 serwerach Serwer (2vCPU, 4GB RAM, 50GB Storage, 4vCPU, 8GB RAM, 100GB Storage) z instalacją VMware.

Cloud Computing to również pojęcie znane i stosowane w organizacji E od ponad 10 lat. Respondenci zadeklarowali korzystanie z chmury publicznej (zewnętrznej) w formie usług SaaS, oraz IaaS. SaaS to system klasy ERP (SAP), jak również wiele systemów do sprzedaży ubezpieczeń. PaaS to środowisko GitHub, czyli repozytorium projektów programistycznych. CC to kierunek, w stronę którego organizacja E będzie podążać. Badana jednostka dalszy rozwój chce opierać o dzierżawę usług serwerowych (i na tej podstawie budować struktury wirtualne), wykluczając zupełnie zakup fizycznych serwerów. Dalsze wdrożenia (w tym planowana implementacja CRM) będą realizowane w ciągu najbliższego roku właśnie w oparciu o chmurę obliczeniową – publiczną lub prywatną na własnych zasobach wirtualnych. Respondenci tym samym mają świadomość i zgadzają się ze stwierdzeniem, iż „technologia wirtualizacji jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub tworzenia chmury prywatnej”.



Badana jednostka E w czasie wywiadu zadeklarowała znajomość pojęcia „zielonego IT”, CSR oraz ESG, twierdząc jednocześnie, że takie rozwiązania są i będą stosowane przez organizację. Równocześnie firma utylizuje zużyty sprzęt komputerowy oraz wprowadziła szereg zmian w kwestii wydruku – drukarki sieciowe i centralizację systemu wydruków oraz wprowadziła konieczność logowania się do systemu przez pracowników przed wydrukiem. Jeśli pracownik nie zgłosi się po wydruk w ciągu 24 godzin, to jest on usuwany z pamięci drukarki. Jeśli natomiast się zgłosi, to domyślnie jest realizowany druk dwustronny. Redukcja wydruku nastąpiła również po wprowadzeniu elektronicznego obiegu dokumentów, co ograniczyło zużycie papieru do minimum. Przy podejmowaniu decyzji o wyborze nowego sprzętu (głównie komputery stacjonarne i laptopy), badana jednostka bierze pod uwagę parametry energooszczędności. Jednak nie dopuszcza do pracy na własnym urządzeniu w ramach idei BYOD ze względu na kwestie bezpieczeństwa informacji. Praca zdalna jest hybrydowa (średnio 3 dni pracy z biura, 2 dni pracy z domu), co jest skutkiem pandemii COVID-19, gdyż wcześniej nie było takiej możliwości. Organizacja promuje siebie jako „eko” w komunikacji marketingowej zewnętrznej i wewnętrznej.

Respondenci, mimo że nie uczestniczyli od początku w procesie wdrożenia lub uczestniczyli pośrednio jako koordynatorzy, są zadowoleni z obranego kierunku i kontynuują taki rozwój infrastruktury przyznając, że „wirtualizacja jest technologią kluczową dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury informatycznej”. W kwestii kosztów organizacja E przyznała, że wirtualizacja (ale również dzierżawa usług IaaS) wpłynęła na większą kontrolę wydatków, mniejsze nakładany inwestycyjne na sprzęt, jednak wyższe koszty utrzymania. Możliwa konsolidacja pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów według badanej jednostki, a dzięki redukcji niepotrzebnego sprzętu, zwiększa się dostępne miejsce w centrum przetwarzania danych. Respondenci podkreślili również wiele cech dotyczących bezpieczeństwa i elastyczności swoich struktur IT. Zgodzili się także ze stwierdzeniem, że „wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji”. Organizacja jest świadoma również potencjalnych problemów, takich jak: możliwa awaria serwera hosta, czy zbyt duże obciążenie fizycznych serwerów.

#### **4.4. Wnioski z przeprowadzonych badań**

##### **4.4.1. Funkcjonalne podsumowanie z przeglądu kalkulatorów ROI/TCO**

Zgodnie z zaproponowaną linią badań podstawą dla identyfikacji wymagań funkcjonalnych prototypu kalkulatora ROI/TCO, oprócz przeglądu literatury, była przede wszystkim przeprowadzona analiza i przegląd kalkulatorów ROI i TCO. Wnioski płynące z badań teoretycznych i empirycznych, zostały sprecyzowane w ramach wymagań funkcjonalnych (WF). Wymagania te zostały sprecyzowane w następujący sposób:

**WF1:** Prototyp kalkulatora ROI/TCO powinien wyliczać całkowity koszt posiadania TCO na podstawie przyjętej w dysertacji klasyfikacji kosztów (z podziałem na koszty CAPEX i OPEX) opisanych w tabelki 3.2.2.

**WF2:** Dane wejściowe kalkulatora ROI/TCO powinny być:

**WF2.1:** szczegółowe i niepredefiniowane (ewentualnie sugerowane na podstawie wiarygodnego źródła danych) przez narzędzie oraz:

**WF2.2:** zgodnie z tabelą 3.11 (wskazaną w podrozdziale dotyczącym opisu artefaktu) w przypadku danych dotyczących posiadanej infrastruktury serwerowej – profil IT albo:

**WF2.3:** zgodnie z tabelą 3.12 (wskazaną w podrozdziale dotyczącym opisu artefaktu) w przypadku pozostałych danych charakteryzujących funkcjonowanie badanej infrastruktury.

**WF3:** Poszczególne koszty powinny być wyliczane zgodnie z algorytmami opisanymi (w podrozdziale dotyczącym opisu artefaktu) w tabeli 3.13.

**WF4:** Całkowity koszt posiadania TCO jest sumą kosztów CAPEX i OPEX.

**WF5:** Wskaźnik ROI należy wyliczyć:

**WF5.1:** zgodnie z wzorem (5) w przypadku wyliczenia ROI dla dokonanej już inwestycji w wirtualizację, gdzie konieczna jest analiza TCO analogicznej, hipotetycznej infrastruktury, ale bez wirtualizacji, aby można było wykazać poczynioną oszczędność (lub stratę) albo:

**WF5.2:** zgodnie z wzorem (7) w przypadku estymacji ROI przejścia w rozwiązania CC, gdzie niezbędna jest analiza TCO obecnej infrastruktury w porównaniu z całkowitymi kosztami posiadania infrastruktury, oprogramowania i usług w chmurze. Na tej podstawie wyliczany jest hipotetyczny zwrot kosztów inwestycji ROI w określonym czasie.

**WF6:** Poziom emisji dwutlenku węgla powinien być wyliczony na podstawie algorytmu przedstawionego w VMware Carbon Calculator.

**WF7** (wniosek po warsztacie demonstracyjnym): Dane wejściowe powinny również zawierać aktualny wskaźnik inflacji lub deflacji, aby precyzyjnie wyliczyć TCO w perspektywie 3-6 lat.

**WF8** (wniosek po warsztacie demonstracyjnym): Dane wejściowe do prototypu kalkulatora ROI/TCO powinny być zbiorem otwartym, aby w każdym momencie móc dodać niezbędny koszt CAPEX lub OPEX, który ma wpływa na wyliczenie całkowitego kosztu posiadania TCO i wskaźnik ROI.

Na podstawie wymagań funkcjonalnych (W1-W6) zdefiniowany został pierwszy prototyp kalkulatora ROI/TCO. W czasie warsztatu demonstracyjnego, kiedy artefakt został ewaluowany na drodze symulacji i warsztatów demonstracyjnych, wskazane zostały dodatkowo dwie luki. Ponieważ artefakt jest tworzony w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, to na podstawie wniosków pozyskanych w trakcie warsztatu, dokonane zostało udoskonalenie konstrukcji artefaktu dla polepszenia jego efektywności. Udoskonalenie to zostało wyrażone poprzez dwa dodatkowe wymagania funkcjonalne (W7-W8).

#### **4.4.2. Wnioski ze studium przypadków**

Przeprowadzone badania wśród doświadczonych firm, reprezentujących różne branże, gałęzie, a nawet modele biznesowe pozwoliły sprawdzić szerokie spektrum zastosowania wirtualizacji w różnych sektorach rynku. Dokonana przez respondentów ocena podczas wywiadu pogłębionego była subiektywna i wynikała z ich doświadczeń. Taka organizacja badań, a także dobór próby badawczej zapewniły zebranie materiałów niezbędnych do dokonania analizy na kalkulatorze ROI/TCO, opracowania wniosków i obiektywnej oceny.

Podsumowanie wyników badań empirycznych jest realizowane w odniesieniu do obszarów, które uznane zostały za krytyczne w związku z celem postawionym w badaniach (tabela 4.13).

**Tabela 4.13. Podział oceny przeprowadzonych badań empirycznych**

	<b>Obszar</b>	<b>Zakres tematyczny</b>
<b>Obszar 1</b>	Wirtualizacja i jej stopień zastosowania	Pojęcie wirtualizacji Przebieg procesu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych Charakterystyka infrastruktury IT
<b>Obszar 2</b>	Zastosowanie idei Green Computingu, CSR i ESG	Pojęcie Green Computingu, CSR, ESG
<b>Obszar 3</b>	Zastosowanie Cloud Computingu	Pojęcie Cloud Computingu
<b>Obszar 4</b>	Efekty wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych	Ocena efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W ramach oceny znajomości pojęcia wirtualizacji (Obszar 1) i jej stopnia zastosowania należy wskazać, że wszystkie organizacje znają i stosują technologię wirtualizacji, głównie w zakresie serwerów. Wskazuje to na fakt, że wirtualizowanie zasobów serwerowych stało się standardem i jedynym kierunkiem rozwoju infrastruktur zarówno w fizycznych centrach danych, jak i dzierżawionych w ramach usługi IaaS. Wirtualizacja znajduje również swoje zastosowanie w przypadku sieci, ale żadna z firm nie stosuje pełnego zestawu narzędzi. Tylko jedna firma (organizacja D) posiada usługę DaaS i VDI, pozostałe, nawet duże i średnie przedsiębiorstwa, gdzie zatrudnionych jest wielu pracowników, nie zdecydowały się na wirtualne desktopty. To mogłoby, tak jak w przypadku serwerów, uprościć zarządzanie infrastrukturą i zredukować koszty sprzętu. Mimo to nie wszystkie firmy planują w ciągu najbliższego roku kolejne wdrożenia i wirtualizowanie kolejnych zasobów, uznając proces implementacji wirtualizacji za zakończony (organizacja B i C).

Zdywersyfikowana jest również kwestia znanych oraz stosowanych technologii – głównie są to rozwiązania komercyjne jak VMware oraz Microsoft, ale również open source – w przypadku badanych organizacji technologia kontenerowa Free BDS Jail. Zdecydowanie szerszą wiedzą w tym temacie wykazali się administratorzy serwerów, gdyż to oni dokonywali we własnych organizacjach analizy dostępnych rozwiązań wirtualizacyjnych i niekiedy byli decydentami (lub mieli istotne zdanie) przy wyborze najlepszego dla firmy rozwiązania. Znajomość niemalże wszystkich technologii i duże doświadczenie czyni z nich wysokiej jakości specjalistów, którzy potrafią dobrać właściwe rozwiązanie, adekwatne do potrzeb i finansowych możliwości organizacji (tabela 4.14).

**Tabela 4.14. Zastosowanie rozwiązań wirtualizacyjnych wśród organizacji**

	Organizacja A		Organizacja B		Organizacja C		Organizacja D		Organizacja E	
	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S
<b>Bochs</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Free BSD Jail</b>			Tak	Tak	Tak	Tak	Tak		Tak	
<b>Linux VServer</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Linux OpenVZ</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Microsoft Hyper-V</b>	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak		Tak	Tak	Tak	
<b>Microsoft Virtual PC</b>	Tak		Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Parallels Virtuozzo Containers</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Solaris Containers</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>QEMU</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>VirtualBox</b>	Tak		Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>VMware ESX/ESXi (vSphere)</b>	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak		Tak	Tak	Tak	Tak
<b>VMware Server</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>VMware Workstation</b>	Tak		Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Wine</b>			Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Xen</b>	Tak	Tak	Tak		Tak		Tak		Tak	
<b>Inne: Proxmox</b>			Tak	Tak	Tak	Tak	Tak		Tak	

Źródło: Na podstawie badań własnych (Z – zna, S – stosuje).

Pierwsze wdrożenia wirtualizacyjne w badanych firmach były implementowane ponad 5, a nawet 10 lat temu, w związku z tym pytania dotyczące przygotowania do procesu wdrożenia odnosiły się do wiedzy respondentów sprzed kilku lat, a w przypadku organizacji B do wiedzy przekazanej przez poprzednią kadrę zarządzającą IT. Trzy organizacje (A, B i E) korzystały wówczas z konsultingu firm zewnętrznych, ponosząc przy tym dodatkowe koszty szkoleń i outsourcingu. Jednak ani firma zewnętrzna wspierająca pierwsze wdrożenia, ani same organizacje nie podjęły się żadnych szacunków potencjalnych oszczędności, ani analiz takich jak zwrot z inwestycji (ROI) oraz całkowity koszt posiadania (TCO). Menedżerowie IT nie znają i w związku z tym nie korzystają i nie korzystali w przeszłości z estymacji na kalkulatorach ROI/TCO. Takie obliczenia nie były również podpowiadane przez firmy konsultingowe. Badane jednostki nie przeprowadzały także analizy strategicznej TOWS/SWOT, ani nie dokonywały żadnych symulacji w narzędziach planistycznych. Żadna z organizacji nie opracowała indywidualnej strategii wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych, jedynie badana jednostka C miała sprecyzowany cel swoich działań, czyli całkowitą

rezygnację z fizycznego data center. Oznacza to, że organizacje wdrażały rozwiązania ad hoc, traktując pierwsze implementacje eksperymentalnie, bez określenia, czy choćby zarysowania docelowej infrastruktury. Decyzje o wyborze kierunku rozwoju nie były dokonywane na podstawie analiz i obliczeń, a jedynie intuicyjnie lub na podstawie panujących trendów. Dlatego też żadna z organizacji nie jest w stanie jasno, a dokładnie ilościowo określić osiągniętych korzyści, a jedynie jest w stanie sprecyzować je jakościowo, na podstawie obserwacji.

Organizacje B i E (sektor prywatny) powierzyły cały proces implementacji wirtualizacji firmie zewnętrznej zajmującej się obsługą serwerową, a pozostałe firmy dokonywały pierwszych migracji w ramach posiadanych zasobów kadrowych i kompetencji. Z przeprowadzonego wywiadu wynika, że wszystkie zmiany były wprowadzane sukcesywnie, poczynając od wirtualizacji zasobów serwerowych. Respondenci byli poproszeni o wskazanie działań w podziale na trzy etapy – działania początkowe, końcowe i te pomiędzy nimi wraz ze wskazaniem czasu realizacji danego etapu oraz liczby osób (FTE) pracujących przy wdrożeniu (tabela 4.15).

**Tabela 4.15. Przebieg procesu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych wśród organizacji**

		Organizacja A	Organizacja B	Organizacja C	Organizacja D	Organizacja E
<b>Realizacja wdrożenia</b>		Wewnętrzny dział IT	Outsourcing	Wewnętrzny dział IT	Wewnętrzny dział IT	Outsourcing
<b>I etap</b>	<b>Działania</b>	- Dobór kadry administracyjnej - Stworzenie środowiska testowego - Wirtualizacja serwerów	- Dobór kadry administracyjnej - Analiza infrastruktury serwerów - Identyfikacja maksymalnych i minimalnych obciążeń zasobów - Wirtualizacja serwerów	- Dobór kadry administracyjnej - Analiza infrastruktury serwerów - Wirtualizacja serwerów - Wybór dostawcy IaaS	Dobór kadry administracyjnej - Analiza infrastruktury serwerów - Identyfikacja maksymalnych i minimalnych obciążeń zasobów - Wirtualizacja serwerów	- Dobór kadry administracyjnej - Analiza infrastruktury serwerów - Wirtualizacja serwerów - Wybór dostawcy IaaS
	<b>Czas</b>	6-12 miesięcy	Ponad rok	6-12 miesięcy	Ponad rok	6-12 miesięcy
	<b>FTE</b>	Mniej niż 5	Mniej niż 5	Mniej niż 5	5-10	Mniej niż 5
<b>II etap</b>	<b>Działania</b>	- Wirtualizacja sieci - Zapewnienie bezawaryjności	- Korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością infrastruktury - Wirtualizacja prezentacji (interfejs) - Wirtualizacja sieci - Wirtualizacja pamięci - Zapewnienie bezawaryjności	- Korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością infrastruktury - Zapewnienie bezawaryjności	- Korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością infrastruktury - Wirtualizacja sieci - Wirtualizacja pamięci - Zapewnienie bezawaryjności	- Wirtualizacja VDI
	<b>Czas</b>	6-12 miesięcy	Ponad rok	Mniej niż 6 miesięcy	Ponad rok	Ponad rok
	<b>FTE</b>	Mniej niż 5	Mniej niż 5	Mniej niż 5	5-10	Mniej niż 5
<b>III etap</b>	<b>Działania</b>	- Wprowadzenie narzędzi do zarządzania infrastrukturą	- Wirtualizacja krytycznych dla organizacji zasobów - Wprowadzenie narzędzi do zarządzania infrastrukturą	- Wprowadzenie narzędzi do zarządzania infrastrukturą	- Wirtualizacja krytycznych dla organizacji zasobów - Wprowadzenie narzędzi do zarządzania infrastrukturą	- Wirtualizacja krytycznych dla organizacji zasobów
	<b>Czas</b>	Mniej niż 6 miesięcy	Mniej niż 6 miesięcy	Mniej niż 6 miesięcy	Ponad rok	6-12 miesięcy
	<b>FIE</b>	Mniej niż 5	Mniej niż 5	Mniej niż 5	5-10	Mniej niż 5
<b>Dokumentacja</b>		Tak	Nie	Nie	Tak	Tak
<b>Decydent (technologia)</b>		Administrator serwerów	CIO i administrator serwerów	Administrator serwerów	CIO i administrator serwerów	CIO i administrator serwerów
<b>Decydent (koszt)</b>		Dyrektor jednostki	CEO/CFO	CEO	CEO/CTO	CEO/CTO

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Wszystkie implementacje miały podobny przebieg, ponieważ na początku organizacje koncentrowały się na zasobach serwerowych, dbając o maksymalne bezpieczeństwo nowych

struktur, kończąc wdrażanie na implementacji narzędzi zapewniających pełną automatyzację. Takie działanie doprowadziło organizacje do posiadania wirtualnych, bezpiecznych i elastycznych środowisk IT, jednak nie skłoniło to (poza organizacją B) do wirtualizowania kolejnych zasobów. W efekcie posiadane infrastruktury (w tym desktopty, aplikacje, sieć, czy pamięć) są pewną hybrydą zasobów tradycyjnych, czyli fizycznych oraz wirtualnych.

Trzy firmy (organizacja A – sektor publiczny, organizacja D i E – sektor prywatny ale pod kontrolą Komisji Nadzoru Finansowego) podjęły się trudu i obowiązku udokumentowania całego procesu wirtualizacji. W pozostałych przypadkach, czyli działaniach ad hoc, oznacza to, że zabrakło nie tylko planu, czy strategii, ale również archiwalnego zapisu działań, który mógłby służyć potencjalnym następcom. Godną uwagi jest również kwestia decyzyjności – decyzje co do wyboru technologii były podejmowane przez administratorów infrastruktury lub menedżerów działów IT, natomiast koszty zakupu dodatkowo były akceptowane przez ich przełożonych, CEO (ang. *Chief Executive Officer*), CFO (ang. *Chief Financial Officer*) lub CTO (ang. *Chief Technology Officer*). Jednak na potrzeby podejmowania tychże decyzji nie były przygotowywane żadne analizy oraz symulacje, a jedynie koszt inwestycyjny bez wskazania potencjalnych oszczędności z tytułu wdrożenia wirtualizacji.

Przeprowadzone badania empiryczne udowodniły, że badane organizacje nie posiadają praktycznej znajomości i umiejętności pracy na kalkulatorach ROI/TCO, mimo że są to narzędzia bezpłatne, powszechnie dostępne, i promowane przez dostawców technologii wirtualizacji. Brak takich wyliczeń nie przeszkodził jednak decydującym w podjęciu pozytywnej decyzji o wdrożeniu technologii wirtualizacji. Mimo to żaden z respondentów (bez praktycznej znajomości narzędzi) nie był w stanie potwierdzić, iż „kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji”, co stanowi pierwszą hipotezę pomocniczą **H1** w niniejszej pracy. Hipoteza zostanie zatem zweryfikowana poprzez przegląd stanu wiedzy i literatury w 3.2.3 oraz analizę porównawczą efektywności zastosowania wirtualizacji na kalkulatorze ROI/TCO, która zostanie przeprowadzona w części 4.6 i 4.7.

W ramach oceny znajomości pojęcia idei Green Computing, CSR i ESG (Obszar 2) należy wskazać, że „Zielone IT”, jak również pojęcie CSR i ESG, znane jest w organizacjach. Tylko badana jednostka C przyznała, że nie zna pojęcia Green Computingu. Na pytanie o stosowanie „zielonych” rozwiązań organizacje A, B, C odpowiedziały, że ich nie stosują. Jednak w czasie wywiadu okazało się, że pewne procesy w firmach zostały zoptymalizowane, a tym samym podjęte działania i oszczędności są jak najbardziej zgodne z ideą „zielonego IT”



oraz polityką CSR. Wynika to z faktu, że menedżerowie IT nie mieli świadomości, że pewne decyzje miały wpływ nie tylko na optymalizację kosztów, ale również na ochronę środowiska. Zarówno konsolidacja serwerów, wirtualizacja, jak również korzystanie z usług w ramach Cloud Computingu jest częścią Green Computingu i polityki CSR, ESG, i podczas wywiadu taką świadomość nabyli respondenci z firmy A, B i C. W przypadku rezygnacji z zasobów fizycznych, sprzęt jest odpowiednio utylizowany lub recyklingowany, co też ma pozytywne znaczenie dla ochrony środowiska. Organizacja A, która ma własne centrum przetwarzania danych dodatkowo przeprowadza doświadczenia regulacji temperatury w celu ustawienia najbardziej optymalnej. Większą świadomością wykazali się respondenci z organizacji D i E, którzy potrafili wskazać jakie działania podjęte przez firmę (takie jak konsolidacja serwerów i ich wirtualizacja) wpisują się w ideę zielonych rozwiązań. Wynika to z samego faktu posiadania wykwalifikowanej kadry menedżerskiej, jak również działań jakie podejmują te firm – wewnętrzna kampania wśród pracowników uświadamiająca czym jest ESG lub zewnętrzne działania promocyjne i budowanie „eko” wizerunku wśród swoich licznych klientów.

Żadna z firm nie inwestuje jednak w narzędzia umożliwiające automatyczne monitorowanie poboru energii w poszczególnych porach dnia, miesiąca i roku, nie szacuje kosztów zużycia energii niezbędnej w centrum przetwarzania danych, nie estymuje emisji CO<sub>2</sub>, ani nie podejmuje prób modyfikacji i unowocześnienia wentylacji. Wszystkie firmy, które nadal inwestują w fizyczne serwery (szczególnie organizacja A, która zamawia sprzęt poprzez procedury przetargowe) biorą pod uwagę parametry energooszczędności przy zakupie nowego sprzętu, także desktopów, laptopów, a nawet telefonów komórkowych. Jednak żadna z badanych jednostek nie jest w stanie wskazać wolumenu oszczędności z tego tytułu, jak również z faktu stosowania rozwiązań wirtualizacyjnych i chmurowych. Organizacje nie posiadają również wiedzy na temat kosztów utrzymania fizycznych centrum przetwarzania danych (oraz kosztów wynajem powierzchni biurowych). Wynika to z faktu, że menedżerowie i administratorzy nie mają odgórnej presji na obniżanie tych konkretnych wydatków, a ich centra przetwarzania danych nie są relatywnie duże (w porównaniu z takimi firmami jak Google, czy Facebook) i znajdują się na terenie powierzchni biurowych organizacji, co nie generuje dodatkowych kosztów dla respondentów.

Organizacje sporo zmian na przestrzeni ostatnich kilku lat wprowadziły w kwestii wydruku – zarówno firmy z sektora prywatnego, jak i publicznego. Respondenci mówili głównie o takich działaniach jak centralizacja systemu druków (drukarki sieciowe), drukowanie dwustronne, możliwość (a w zasadzie konieczność) wydruku po zalogowaniu się do drukarki przez pracownika oraz usunięcie wydruku z tak zwanej kolejki w przypadku niezgłoszenia się

po wydruk w określonym czasie. Natomiast w przypadku obiegu dokumentów prawie wszystkie organizacje (oprócz A) przeszły na sposób elektroniczny, który wymusiła pandemia COVID-19. Ten fakt miał ogromny wpływ na optymalizację wydruku w zakresie formalnych dokumentów wewnętrznych w firmach, jak i zewnętrznych z klientem. Zatem można przyjąć, że takie działania stały się w organizacjach standardem, który prowadzi do oszczędności ekonomicznych i ekologicznych.

Pandemia COVID-19 odbiła ogromne piętno na podejściu do sposobu pracy. W czasie pandemii koniecznością było szybkie przejście na pracę zdalną. Po okresie restrykcji pandemicznych organizacja A (sektor publiczny) wróciła do tradycyjnego modelu pracy z biura, pozostałe organizacje (sektor prywatny) nie zmieniły sposobu pracy i kontynuują pracę zdalną lub przeszły w model hybrydowy. Praca zdalna szczególnie popularna jest w branży IT. Niektóre z organizacji nadal dopuszczają możliwość pracy na własnym urządzeniu, podczas gdy u innych jest to całkowicie zakazane ze względu na bezpieczeństwo informacji. Wśród pracowników organizacji A, D i E promowana jest idea „Wyłącz komputer przed wyjściem z pracy!”, co ma duże znaczenie dla optymalizacji poboru energii, a tym samym emisji CO<sub>2</sub>. To czyni z badanych jednostek organizacje społecznie odpowiedzialne i rozwijające się we właściwym, ekologicznym kierunku.

Respondenci, którzy deklarowali znajomość pojęcia Green Computing, dopiero w czasie wywiadu nabrali pełnej świadomości czym tak naprawdę jest „zielone IT” i dowiedzieli się, że ich praktyczne działania jak najbardziej wpisują się w tę ideę. Mimo to nie planują żadnych innych „zielonych” wdrożeń w najbliższym czasie, poza kontynuowaniem podjętych już działań, rozwijaniem infrastruktury na drodze wirtualizacji i korzystaniem z usług CC. Organizacje te zgodnie jednak stwierdziły (po przebytej dyskusji), iż wirtualizacja działa w zgodzie z ideą „zielonego IT”, co jest zgodne z przeglądem wiedzy i literatury zawartym w podrozdziale 1.3. Ponadto w części 3.1 zostało przyjęte założenie, że wdrażanie rozwiązań wirtualizacyjnych, które wpisują się w ideę „zielonego IT”, jest częścią polityki CSR i ESG. Badane jednostki (zwłaszcza A, B i C) pomimo braku świadomości, że są organizacjami społecznie odpowiedzialnymi (w zakresie działań IT) pokazują, że CSR jest im bliskie nie tyle w teorii, co w praktyce. Na podstawie tych faktów można weryfikować hipotezę pomocniczą **H2**: „Technologia wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computing oraz jest częścią polityki CSR i pojęcia ESG”. Dodatkowo hipoteza zostanie zweryfikowana (w przypadku organizacji A i B, i ich fizycznych infrastruktur) poprzez obliczenia przeprowadzone w części 4.6, które dotyczą poziomu emisji dwutlenku węgla.

Pojęcie Cloud Computingu (Obszar 3) jest dobrze znane wśród organizacji i tak jak w przypadku wirtualizacji, stosowane jest od długiego czasu. Badane jednostki deklarowały głównie korzystanie z chmur publicznych (zewnętrznych). Chmury dzierżawione są przede wszystkim w ramach modeli SaaS i EaaS. Istotną rolę odgrywa również infrastruktura jako usługa – IaaS (tabela 4.16).

**Tabela 4.16. Zastosowanie Cloud Computingu wśród organizacji**

	Organizacja A	Organizacja B	Organizacja C	Organizacja D	Organizacja E
<b>SaaS</b>	Virtua (system biblioteczny) Omega (repozytorium publikacji naukowych) Google Docs WordPress (CMS)	SoftLab (ERP) Office 365 (aplikacje biurowe) FreshMail, Interspire Google Docs Trello WordPress (CMS)	Google Docs	SCCD	
<b>PaaS</b>		GitHub	GitHub	GitHub, SAP, Clarity	GitHub, SAP
<b>IaaS</b>	Azure	OVH (serwery)	OVH (serwery)	Azure	Azure
<b>CaaS</b>		RedLink			
<b>EaaS</b>	Office 365, Gmail	Office 365 (poczta)	Gmail	Office 365	Office 365
<b>Inne (DaaS)</b>					VDI

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Oznacza to, że organizacje sukcesywnie poszerzają wachlarz znanych i stosowanych rozwiązań chmurowych. Badane jednostki podkreślały brak wątpliwości, że w przypadku niektórych usług, Cloud Computing to jest jedyne słuszne rozwiązanie – przykładowo firma z branży wydawniczej nie stworzy własnego systemu ERP, jak również nie ma miejsca, ani środków na utrzymywanie własnej serwerowni, na której utrzymywane byłyby wszystkie systemy i aplikacje. Z usług takich jak GitHub chętnie korzysta zarówno organizacja programująca aplikacje na własne potrzeby (B-D) jak i firma, które sama dostarcza usługi programistyczne (C). Organizacje chętnie również wdrażają rozwiązania typu open source, takie jak poczta Gmail, czy cały pakiet Google Docs (w celach służbowych), a w przypadku tworzenia własnych stron – korzystają z gotowych narzędzi takich jak bezpłatny WordPress (ewentualnie ponosząc dodatkowe koszty za wykup samego szablonu lub dodatkowe funkcjonalności). W firmach, które mają własne działy marketingu, bardzo chętnie są wykorzystywane systemy wysyłkowe takie jak FreshMail, czy Interspire, a do działań telemarketingowych narzędzie RedLink.

Zasługującym na podkreślenie fakt, iż dopiero w trakcie wywiadu respondenci nabierali świadomości, że część dzierżawionych od lat usług jest realizowana w ramach Cloud Computingu (np. system biblioteczny Virtua w ramach SaaS, dzierżawa serwerów w OVH w ramach IaaS, narzędzie do telemarketingu RedLink w ramach CaaS). Jak się okazało – dostawcy usług, z którymi firmy od lat współpracują, nie używają w komunikacji z klientem określeń takich jak „przetwarzanie w chmurze”, „Cloud Computing”, czy też „SaaS”. Zatem taka współpraca była pojmowana jako szeroko rozumiany outsourcing programistyczny. Pomyłone przez respondentów zostały również pojęcia chmury publicznej i prywatnej. Wiele z rozwiązań stosowanych przez organizacje to rozwiązania dostarczone w ramach CC, których instalacja ma swoje miejsce na dedykowanym kawałku infrastruktury firmy – usługobiorcy. Najczęściej ten dedykowany kawałek środowiska IT znajduje się na wirtualnym serwerze – tak jest w przypadku największych systemów dzierżawionych przez respondentów – Virtua i Omega w przypadku organizacji A oraz SoftLab i Office 365 w przypadku organizacji B, D i E, jak również instalacja bezpłatnego WordPress-a. Jest to rozwiązanie wewnętrzne – prywatne. Warto również podkreślić sposób dostarczania usług informatycznych przez organizację C, gdzie większość instalacji realizowana jest w dedykowanych środowiskach IT klientów. Infrastruktury dostarczane są najczęściej na wirtualnym serwerze usługobiorcy ataki sposób realizacji usług zapewnia niezależność i skutkuje posiadaniem dzierżawionego oprogramowania na własnej architekturze klienta. Natomiast w przypadku organizacji D i E należy podkreślić dojrzałość i świadomość (dostępnych na rynku) rozwiązań CC. Obie firmy deklarują podążanie za rozwiązaniami chmurowymi, czyli implementację Microsoft Azure.

Istotną kwestią w świetle wirtualizacji jest polityka zarządzania zasobami serwerowymi. Organizacja A (z sektora publicznego) deklaruje dalsze inwestycje tylko we własne centrum przetwarzania danych – zakup własnego sprzętu i wirtualizacja zasobów. Zupełnie odmienne podejście mają pozostałe organizacje B, C, D i E (z sektora prywatnego) – w przypadku potrzeby zwiększenia zasobów serwerowych, wyłącznie hosting w ramach IaaS jest brany pod uwagę, który w wybranych opcjach zakupu pozwala również na wirtualizowanie dzierżawionych fizycznych zasobów. Badane firmy korzystają z usług największych i najbardziej popularnych dostawców – OVH i Microsoft Azure, którzy znakomitą część usług udostępnia na wirtualnych serwerach. Organizacja C całkowicie zrezygnowała z własnego centrum przetwarzania danych i skierowała się w stronę chmur. Zatem potrzeby badanych jednostek w tym zakresie są dość zdywersyfikowane, a każda z organizacji może dobrać najbardziej dopasowane rozwiązanie do własnych potrzeb i możliwości finansowych. W każdym scenariuszu kluczową rolę odgrywa jednak wirtualizacja.

Wszystkie organizacje deklarują dalszą ekspansję w stronę chmury, podkreślając, że każda potrzeba biznesowa, czyli każde nowe wdrożenie jest poparte dogłębną analizą, której celem jest decyzja, czy np. oprogramowanie będzie tworzone przez wewnętrzny dział IT, czy też organizacja powinna wykorzystać i zaadaptować gotowe, dostępne na rynku rozwiązanie, które można kupić lub wdzierżawić. Oznacza to, że zalety tego rozwiązania są coraz bardziej doceniane nie tylko przez menedżerów IT i administratorów ale również przez decydentów kosztowych (np. CEO, CFO lub CTO). Respondenci, korzystający od lat z usług CC, zgodnie stwierdzili, iż „technologia wirtualizacji jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub tworzenia chmury prywatnej”, co w świetle badań empirycznych, jak i przeglądu literatury w podrozdziale 1.4 pozwala przyjąć za prawdziwą hipotezę badawczą **H3**: „Wirtualizacja jest wydajną metodą dostarczania usług w modelu Cloud Computing”.

Ocena efektów wdrożenia wirtualizacji (Obszar 4) dokonana przez respondentów była subiektywna i wynikająca wyłącznie z doświadczeń menedżerów i administratorów IT. Ponieważ wszystkie firmy od wielu lat obserwowały skutki pierwszych implementacji, ich ocena była poparta bogatym doświadczeniem badanych organizacji. Potencjalne, pozytywne cechy wirtualizacji zostały podzielone na trzy grupy korzyści – dotyczące kosztów, poziomu usług oraz elastyczności i skalowalności rozwiązania. I w takim właśnie podziale była prowadzona dyskusja, aby można było zidentyfikować wszystkie zalety, które mają wpływ na każdą z korzyści.

W przypadku kosztów wszyscy respondenci zauważyli, że wdrożenie technologii wirtualizacji sprzyja ich redukcji. Według badanych organizacji, wirtualizacja pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów oraz umożliwia ich konsolidację, co oznacza, że osiągnięcie oszczędności jest możliwe m.in. poprzez zmniejszenie kosztów sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej. Respondenci również zgodnie zauważyli, że implementacja technologii ogranicza koszty chłodzenia. Wskazane przez organizacje oszczędności są zgodne z przedstawioną w niniejszej dysertacji analizą porównawczą efektywności zastosowania wirtualizacji za pomocą kalkulatora ROI/TCO (w organizacji A i B). Jednak w przypadku oceny respondentów omawiane wnioski nie wynikały z kalkulacji i oceny ilościowej (gdyż takie analizy nie były dokonywane, a żadna z organizacji nie była w stanie wskazać zysku z tego tytułu), a jedynie z ich obserwacji i intuicji, na podstawie oceny jakościowej. Menedżer IT w organizacji B dodatkowo przyznał, że wirtualizacja pozwala mu kontrolować wydatki oraz wpływa na zmniejszenie poboru energii między innymi poprzez zwiększenie dostępnego miejsca w centrum przetwarzania danych (a tym samym likwidację niepotrzebnego sprzętu).

Kolejnym, istotnym omawianym aspektem było zwiększanie poziomu usług poprzez zapewnienie maksymalnej bezawaryjności i możliwość efektywnego odzyskiwania danych. Menedżerowie (organizacja A i C) podkreślali jeszcze jako istotne takie cechy jak stabilność oraz bezpieczeństwo systemów IT. Wskazany również został skrócony czas realizacji kopii bezpieczeństwa jako jedna z zalet wpływająca na podniesienie poziomu usług. Trzecia grupa korzyści dotyczyła elastyczności i skalowalności infrastruktury. Respondenci zgodnie wskazali, że wdrożenie wirtualizacji zwiększa elastyczność systemów IT, a także pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych. Co oznacza, że technologia umożliwia przydzielanie niezbędnych zasobów obliczeniowych według aktualnych potrzeb, dzięki czemu cała infrastruktura staje się skalowalna. W pojedynczych wypowiedziach respondentów (organizacja B i C) pojawiły się również takie cechy jak możliwość dostosowania niezbędnej mocy obliczeniowej do potrzeb infrastruktury oraz sprawne wprowadzanie zmian, co również implikuje wysoką elastyczność i skalowalność całego środowiska IT (tabela 4.17).

**Tabela 4.17. Ocena efektów wdrożenia przez organizacje - zalety**

<b>Korzyści</b>	<b>Organizacja A</b>	<b>Organizacja B</b>	<b>Organizacja C</b>	<b>Organizacja D</b>	<b>Organizacja E</b>
<b>Koszty</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej</li> <li>- Znacznie ogranicza koszty chłodzenia</li> <li>- Zwiększa wydajność systemów IT</li> <li>- Umożliwia konsolidację serwerów</li> <li>- Pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala działom IT kontrolować wydatki</li> <li>- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej</li> <li>- Wpływa na zmniejszenie poboru energii</li> <li>- Znacznie ogranicza koszty chłodzenia</li> <li>- Umożliwia konsolidację serwerów</li> <li>- Pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów</li> <li>- Zwiększa dostępne miejsce w data center</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej</li> <li>- Wraz z usługą IaaS pozwala całkowicie zrezygnować z własnego data center</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala działom IT kontrolować wydatki</li> <li>- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej</li> <li>- Wpływa na zmniejszenie poboru energii</li> <li>- Znacznie ogranicza koszty chłodzenia</li> <li>- Umożliwia konsolidację serwerów</li> <li>- Pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów</li> <li>- Zwiększa dostępne miejsce w data center</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej</li> </ul>
<b>Poziom usług</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększa bezpieczeństwo systemów IT</li> <li>- Zapewnia maksymalną bezawaryjność</li> <li>- Podnosi stabilność systemów</li> <li>- Skracza czas realizacji kopii bezpieczeństwa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala na efektywne odzyskiwanie danych</li> <li>- Zapewnia maksymalną bezawaryjność</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększa bezpieczeństwo systemów IT</li> <li>- Pozwala na efektywne odzyskiwanie danych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększa bezpieczeństwo systemów IT</li> <li>- Zapewnia maksymalną bezawaryjność</li> <li>- Podnosi stabilność systemów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększa bezpieczeństwo systemów IT</li> <li>- Pozwala na efektywne odzyskiwanie danych</li> </ul>
<b>Elastyczność i skalowalność</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych</li> <li>- Zwiększa elastyczność systemów IT</li> <li>- Usprawnia wprowadzanie zmian</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych</li> <li>- Pozwala dostosować niezbędną moc obliczeniową</li> <li>- Zwiększa elastyczność systemów IT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych</li> <li>- Pozwala dostosować niezbędną moc obliczeniową</li> <li>- Zwiększa elastyczność systemów IT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych</li> <li>- Zwiększa elastyczność systemów IT</li> <li>- Usprawnia wprowadzanie zmian</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększa elastyczność systemów IT</li> </ul>

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Wszystkie wskazane przez organizacje zalety wirtualizacji wynikają również z właściwości tej technologii. Okres 5-10 lat od pierwszych implementacji jest wystarczający, aby

zoptymalizować działanie wirtualnej infrastruktury, przetestować jej możliwości, a finalnie ocenić i wskazać zarówno zalety, jak i wady rozwiązania.

Z całego wachlarza potencjalnych ograniczeń wszyscy respondenci wskazali awarię serwera - hosta jako najbardziej niebezpieczne zdarzenie dla funkcjonowania całej infrastruktury. Potencjalna awaria może nieść ze sobą duże straty, łącznie z przerwaniem wszystkich procesów biznesowych, dlatego też nieprzerwane działanie serwera hosta jest tak istotne. Menedżerowie i administratorzy napotkali również w swoich infrastrukturach problemy wydajnościowe, wynikające ze zbyt dużego obciążenia fizycznego serwera (organizacja B i D), jak również z błędów konfiguracyjnych (generowanych przez aplikacje lub silnik bazy danych w organizacji A). Respondenci wskazali również kłopoty sieciowe i licencyjne (tabela 4.18).

**Tabela 4.18. Ocena efektów wdrożenia przez organizacje - wady**

Wady	Organizacja A	Organizacja B	Organizacja C	Organizacja D	Organizacja E
	- Awaria serwera hosta - Problemy wydajnościowe - Problemy licencji	- Awaria serwera hosta - Zbyt duże obciążenie fizycznych serwerów - Problemy wydajnościowe - Problemy sieciowe	- Awaria serwera hosta	- Awaria serwera hosta - Zbyt duże obciążenie fizycznych serwerów - Problemy wydajnościowe - Problemy sieciowe	- Awaria serwera hosta

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Badane jednostki mają całkowitą świadomość istniejących ograniczeń i mogą w pełni przygotować się na potencjalne zagrożenia. Mimo pewnych wad, organizacje nie rezygnują z wirtualizacji, a sukcesywnie wirtualizują kolejne zasoby lub przechodzą do chmury. W takim przypadku usługodawcy IaaS dodatkowo zabezpieczają ich infrastruktury (zwłaszcza w modelu dostarczania serwerów dedykowanych), co daje usługobiorcom podwójny system bezpieczeństwa.

Kolejną ocenianą kwestią podczas wywiadu były zmiany personalne w dziale IT. Wdrożenie rozwiązań wirtualizacyjnych nie wpłynęło jednak w żadnej firmie na redukcję etatów, a według menedżera organizacji A kompetencje jak również zakres obowiązków obecnych administratorów został zwiększony. W przypadku organizacji B, wdrożenie rozwiązań wirtualizacyjnych spowodowało finalnie możliwość rezygnacji z usług firmy zewnętrznej i przejęcie tych obowiązków przez wewnętrzny dział IT bez konieczności jego poszerzenia (redukcja kosztów outsourcingu). Jednak mimo sukcesywnego zwiększania

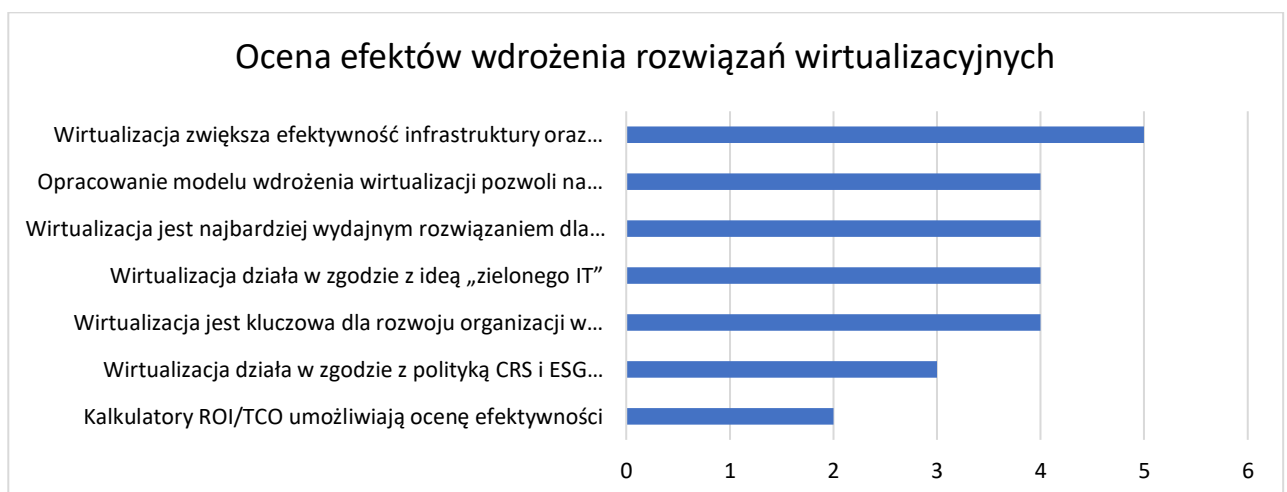


swoich zasobów (tworzenia kolejnym VM) przez wszystkie badane jednostki, nie ma potrzeby zatrudniania nowych osób i poszerzania kadry administratorów IT. Co czyni z wirtualizacji technologię dzięki której można osiągnąć oszczędności również na poziomie kosztów administracji systemu.

W podsumowaniu wywiadu respondenci wskazali spośród poniższych stwierdzeń te, które zgodnie z ich doświadczeniem i oceną są prawdziwe:

1. Wirtualizacja jest kluczowa dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury informatycznej.
2. Wirtualizacja zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji.
3. Wirtualizacja działa w zgodzie z ideą „zielonego IT”.
4. Wirtualizacja działa w zgodzie z polityką CRS i ESG.
5. Wirtualizacja jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub tworzenia chmury prywatnej.
6. Opracowanie modelu wdrożenia wirtualizacji pozwoli na zmaksymalizowanie korzyści płynących z tej technologii.
7. Kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji.

Kalkulatory ROI/TCO prawdopodobnie umożliwiają ocenę efektywności technologii wirtualizacji, ale narzędzia pomiaru całkowitych kosztów posiadania IT i zwrotu z inwestycji są nieznane w organizacjach, a więc niemożliwe do oceny (rysunek 4.2).



**Rysunek 4.2. Ocena efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych**

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W ramach przyjętej w niniejszej pracy linii badań opartej o DSR, na podstawie powyższej oceny efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych przez respondentów, jak również na bazie przeprowadzonego przeglądu literatury i badań empirycznych zawartych w niniejszej dysertacji za prawdziwą uznać należy hipotezę główną: „Wdrożenie technologii wirtualizacji zapewnia bardziej efektywne wykorzystanie zasobów informatycznych przedsiębiorstwa”. Dodatkowo hipoteza zostanie zweryfikowana (w przypadku organizacji A i B, i ich fizycznych infrastruktur) poprzez obliczenia przeprowadzone w części 4.6 i 4.7, które dotyczą efektywności zastosowania technologii wirtualizacji.

#### 4.4.3. Korzyści i ograniczenia technologii wirtualizacji

Wirtualizacja w ostatnich latach stała się jednym z kluczowych trendów w świecie IT. Pokazują to nie tylko raporty Gartnera, a przede wszystkim jest to widoczne w komercyjnych centrach danych (tzw. serwerowniach), jak i również stanowi obszar badawczy. Menedżerowie, przekonani o zaletach technologii wirtualizacji, wdrażają ją z sukcesem w swoich infrastrukturach, czerpiąc korzyści z jej zastosowania. Aby jednoznacznie oszacować wartości dodane wirtualizacji, należy w pierwszej kolejności zidentyfikować właściwości tej technologii.

Jedną z pierwszych zalet wskazanych w niniejszej dysertacji, zarówno w ramach przeglądu stanu wiedzy i literatury oraz badań empirycznych, jest **możliwość konsolidowania fizycznych zasobów obliczeniowych – serwerów**. Konsolidując wiele obciążeń pracą na jednej platformie sprzętowej można zachować rozwiązanie „jedna aplikacja – jeden serwer” (wirtualny), zmniejszając jednocześnie liczbę serwerów fizycznych, a tym samym złożoność całej infrastruktury. Dzięki temu zachowana jest taka sama funkcjonalność, taka sama lub nawet większa wydajność, przy korzystaniu z mniejszej ilości sprzętu. Taka architektura ma bezpośredni wpływ na oszczędności z tytułu zakupu sprzętu i jego eksploatacji (redukcja poboru energii elektrycznej niezbędnej do zasilania i chłodzenia serwerów oraz oszczędności wynikające z ograniczenia miejsca w centrum przetwarzania danych), a dzięki obliczeniom na kalkulatorze ROI/TCO można także oszacować, że konsolidacja ma pozytywny wpływ na redukcję takich kosztów jak: koszty pamięci masowej, sprzętu sieciowego, a przede wszystkim licencji (OS serwera hosta). W perspektywie kilkuletniej zauważalne były również oszczędności za wsparcie sprzętu i oprogramowania.

Drugą, istotną zaletą stosowania wirtualizacji jest jej **maksymalna bezawaryjność**. Technologia VM pozwala, aby jeden komputer był hostem dla wielu maszyn wirtualnych. Na

każdej z nich może działać oddzielny system operacyjny. Rozwiązanie to ma zaletę, że awaria jeden maszyny wirtualnej nie powoduje automatycznie awarii pozostałych. W systemie wirtualnym różne serwery mogą działać na różnych maszynach wirtualnych. W związku z tym jest utrzymany model częściowej odporności na awarie, typowy dla systemu wielokomputerowego, a osiąga się ten stan znacznie niższym kosztem. Podział obciążeń pracą zapobiega sytuacjom, w których jedna aplikacja wpływa na wydajność innej lub powoduje awarię całego systemu. Nawet mniej stabilne, przestarzałe aplikacje można wykorzystywać w bezpiecznym, wyizolowanym środowisku. Gwarancja bezawaryjnej pracy zdecydowanie wpływa na podniesienie poziomu usług IT w organizacji, co również zostało wskazane w przeprowadzonym badaniu.

Kolejną pozytywną właściwością technologii wirtualizacji **jest możliwość efektywnego odzyskiwania danych po ewentualnej awarii**. Strategia wirtualizacji pozwala opracować plan działania w przypadku awarii (politykę bezpieczeństwa) umożliwiającą kontynuowanie pracy pomimo kłopotów ze sprzętem lub oprogramowaniem. Dzięki odpowiednim narzędziom można zautomatyzować proces tworzenia kopii zapasowych, przeprowadzić replikację oraz przenosić serwery, komputery biurowe i aplikacje. Nawet w przypadku awarii fizycznego serwera można przenieść pliki maszyn wirtualnych i uruchomić je na dowolnym innym serwerze o podobnych parametrach (niekoniecznie identycznych). W przypadku, gdy pliki leżą na zewnętrznych macierzach dyskowych, odzyskiwanie danych po awarii jest jeszcze prostsze, bo wystarczy podpiąć macierz do drugiego serwera i uruchomić system. Szybkie i efektywne odzyskiwanie danych po awarii gwarantuje utrzymanie, a nawet podniesienie poziomu usług IT w przedsiębiorstwie.

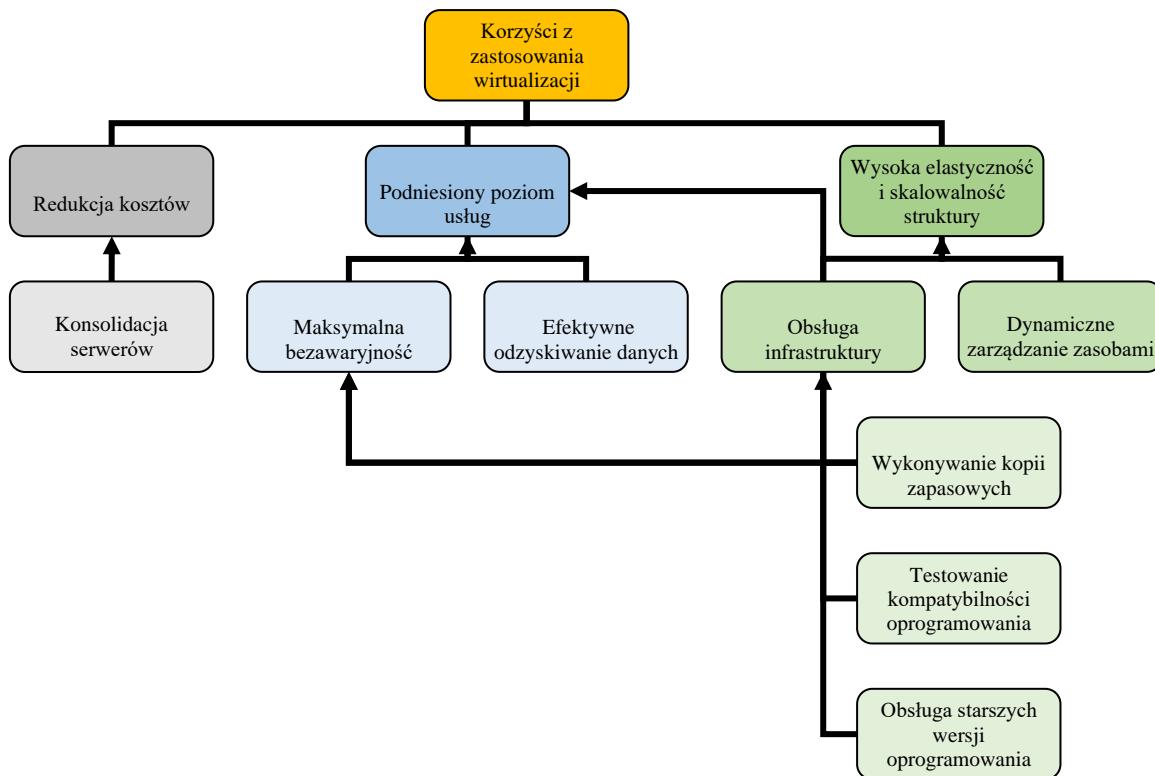
Konsolidując moce obliczeniowy i zmniejszając ogólną złożoność systemu, szczególnie należy wziąć pod uwagę wydajność zasobów. To jak szybko działają serwery, desktopty, a w zasadzie zainstalowane na nich aplikacje, często ma kluczowy wpływ na działanie organizacji, a zwłaszcza takiej, która działa na rynku e-biznesu. Jedną z cech, która ma duży wpływ na gwarancję wydajności (a tym samym utrzymanie wysokiego poziomu usług) jest dynamiczne zarządzanie zasobami. Jeśli określony proces biznesowy wymaga wzbogacenia systemu o dodatkowe możliwości (np. mechanizm pozwalający na prowadzenie sklepu internetowego), odpowiednie zmiany mogą być wprowadzane szybko i efektywnie. Zatem wirtualizacja to nie tylko oszczędności wynikające z zakupu sprzętu, gdyż dzięki wirtualizacji zyskuje się znacznie większą elastyczność w konfiguracji zasobów. Parametry zwirtualizowanych serwerów, tj. przestrzeń dyskowa, czy pamięć RAM, mogą być zmieniane bez ingerencji w fizyczny sprzęt. Zaś w zaawansowanym środowisku wirtualnym, wymagania

związane z przetwarzanymi obciążeniami pracą mogą być automatycznie udostępniane, przez co zasoby przydzielane będą dynamiczne według potrzeby „tu i teraz”.

Powyższe cechy implikują wytworzenie środowiska IT, które jest zoptymalizowane pod kątem złożoności, jest elastyczne i bezpieczne. Natomiast istotnym czynnikiem, poza tym jak to środowisko działa, jest fakt jak się tym środowiskiem zarządza. Ważne w tym aspekcie są narzędzia jakimi administrator się posługuje, jak bardzo skomplikowane i zintegrowane jest zarządzanie zasobami (w tym odzyskiwanie danych po awarii) i ile czasu zajmują czynności, które należy wykonywać cyklicznie, np. skrócenie czasu wykonywania kopii bezpieczeństwa, co zostało wskazane w badaniach. Dzięki wirtualizacji zostaje również zredukowany czas potrzebny na testowanie kompatybilności programowania. W przypadku udostępniania na żądanie aplikacji na komputerach biurowych, konflikty między poszczególnymi programami są niemal całkowicie wyeliminowane. Skraca to znacznie czas testowania oprogramowania przed jego instalacją i zapobiega problemom związanym z kompatybilnością. Poza tym wystarczy wykonać testy na jeden VM, aby mieć pewność, że będzie system działał na pozostałych, identycznych kopiach. Kolejnym aspektem, który ma wpływ na jakość zarządzania całą infrastrukturą jest możliwość obsługi starszych wersji programów oraz aplikacji biznesowych. Przykładem są usługi terminalowe lub wirtualne desktopy, które umożliwiają obsługę aplikacji napisanych na starszych platformach operacyjnych w aktualnie wykorzystywanych systemach bez konieczności wprowadzania zmian w kodzie. Wszystkie wymienione powyżej czynniki świadczą o tym, że (relatywnie prosta) obsługa infrastruktury zostaje zidentyfikowana jako pozytywna właściwość wirtualnego środowiska.

Wirtualizacja pozwala działom IT kontrolować wydatki CAPEX i OPEX i optymalizować wykorzystanie serwerów, zmniejszać koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej, redukować czas potrzebny na testowanie kompatybilności oprogramowania oraz zmniejszać ogólną złożoność systemu. Pozbycie się nadmiarowych serwerów w istotny sposób wpływa na zmniejszenie poboru energii przez serwerownie, zwiększenie dostępnego w nich miejsca i znaczne ograniczenie kosztów chłodzenia. Technologia wirtualizacja pozwala na inteligentne, dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych i dopasowywanie mocy obliczeniowej (a co za tym idzie, poboru energii) do realnych, aktualnych potrzeb. Wirtualizacja jest technologią kluczową dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury. Zwiększa ona elastyczność i skalowalność systemów IT i usprawnia wprowadzanie zmian. Wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa także

efektywność oraz podnosi poziom usług organizacji. Wpływ zalet na wynikające z nich korzyści można przedstawić i podzielić następująco (rysunek 4.3).



**Rysunek 4.3. Korzyści i zalety z zastosowania technologii wirtualizacji**

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Wirtualizacja zasobów informatycznych nie jest pozbawiona wad i niedoskonałości. Każda organizacja powinna posiadać politykę bezpieczeństwa swoich systemów i być gotowa na wypadek awarii wynikających z wyboru tego sposobu zarządzania zasobami IT. Dobrze opracowana strategia bezpieczeństwa będzie użyteczna tylko wtedy, gdy menedżerowie i administratorzy IT zdadzą sobie sprawę z realnych zagrożeń wirtualizacji zasobów informatycznych.

Wskazane poniżej ograniczenia technologii wirtualizacji zostaną opisane wraz z proponowanymi rozwiązaniami, które zapobiegą powstawaniu niekontrolowanych, przytłaczających infrastruktur informatycznych, dziur w bezpieczeństwie, czy też innych problemów wynikających z nieumiejętnego wykorzystania wirtualizacji. Środowisko IT korzystające z wirtualizacji mimo że zapewnia wiele korzyści, jednak bez odpowiedniego zarządzania, przestrzegania norm oraz właściwie zdefiniowanych procesów, może również przysporzyć określonych trudności. Projektując wirtualną infrastrukturę IT lub przystępując do strategii wdrażania, należy wziąć pod uwagę również wszelkie ograniczenia.

Głównym problemem z jakim potencjalnie może zmierzyć się wirtualizacja jest **awaria serwera hosta**. To zagrożenie zostało jednogłośnie wskazane w literaturze i badaniach empirycznych, jako jedno z głównych ograniczeń dla funkcjonowania wirtualnego środowiska. Jeśli serwer, na którym działają wszystkie maszyny wirtualne, ulegnie awarii, rezultaty mogą być jeszcze bardziej katastrofalne w porównaniu z awarią pojedynczego, dedykowanego serwera, jeśli zawnoczu nie zostaną podjęte kroki zapobiegawcze. Takim krokiem jest m.in. posiadanie testowego bądź zapasowego serwera gospodarza lub odizolowanie plików systemowych z VM na macierzach zewnętrznych. Wówczas, w przypadku awarii, wystarczy jedynie przełączyć pliki pod nowy serwer. Istotne jest także wykonywanie regularnych kopii zapasowych (backupów) (i VM, i serwera hosta) oraz migawek stanu systemu w danej chwili, dokonywanych w niewielkich, regularnych odstępach czasu. Taka praktyka jest standardem wśród dostawców usług IaaS, dlatego też usługobiorcy często dzielą się odpowiedzialność za bezpieczeństwo własnych systemów z usługodawcami. A polityka bezpieczeństwa, zaraz obok cen, ma znaczący wpływ na wybór najlepszego dostawcy. Jednak przyczyną większości awarii usług nie jest wadliwy sprzęt, ale nadmierne rozbudowanie lub błędnie działające oprogramowanie, zwłaszcza systemy operacyjne. Dlatego tak bardzo istotne jest, aby rozsądnie i optymalnie konsolidować serwery, pamiętając o niezbędnej wydajności oraz zadbać o prawidłowe zainstalowanie systemu operacyjnego hosta i systemu wirtualizacyjnego. Także wykonanie wcześniejszych testów może zapobiec nadmiernej rozbudowie systemu. W obliczu wymienionych problemów, jeszcze bardziej istotne wydaje się być posiadanie strategii bezpieczeństwa, będącej częścią strategii wdrażania wirtualizacji w infrastrukturę IT.

Ograniczenia wystąpią również w przypadku złego zabezpieczenia utworzonej infrastruktury. Procesy i narzędzia wykorzystywane do zabezpieczania danych powinny być odpowiednie do utworzonej infrastruktury – umieszczenie maszyn wirtualnych w odpowiednim miejscu oraz odizolowanie ważnych i wrażliwych zasobów informacyjnych. Aby rozwiązać ten problem należy dobrze ocenić wymogi bezpieczeństwa związane z najważniejszymi obciążeniami pracą i oddzielić szczególnie ważne od tych, które mogą być niestabilne, a najistotniejsze z biznesowego punktu aplikacje należy podzielić pomiędzy wiele serwerów w celu rozproszenia ryzyka i uniknięcia przerw w działalności w przypadku awarii sprzętowych. Dodatkowo, umieszczenie obciążeń pracą wykorzystywanych przez klientów i partnerów biznesowych w strefie odizolowanej znacznie zwiększy bezpieczeństwo przetwarzanych danych. Położenie szczególnego nacisku na bezpieczeństwo, zapewnienie ciągłego działania systemu i duże możliwości w zakresie odzyskiwania danych. W ten sposób

dostępność biznesowa zostanie zmaksymalizowana. Szczególnie istotne jest, tak jak w przypadku potencjalnej awarii serwera hosta, regularne tworzenie i aktualizowanie backupów danych opartych na migawkach. Należy również, a w zasadzie przede wszystkim, pamiętać o zabezpieczeniu serwera hosta, z którego jest dostęp do VM i w przypadku udanego ataku hakerskiego na gospodarza, mocno zagrożone stają się wszystkie maszyny wirtualne.

W przypadku nieumiejętnego stosowania technologii wirtualizacji, mogą również wystąpić problemy wydajnościowe, które wynikają głównie z dwóch przyczyn: przytłaczającej złożoności infrastruktury IT (w tym narzędzi do zarządzania) oraz zbyt dużych obciążeń serwera fizycznego. Utworzenie maszyny wirtualnej jest wyjątkowo proste, przez co ich liczba w krótkim czasie może znacznie przekroczyć liczbę serwerów fizycznych (zachodzi tzw. zjawisko „powodzi serwerów”). Może to stanowić poważne obciążenie dla narzędzi służących do zarządzania maszynami wirtualnymi. Kiedy tworzenie nowego serwera wymaga zaledwie kilku kliknięć, środowisko może bardzo łatwo wymknąć się spod kontroli. W przypadku tego problemu konieczne jest opracowanie odpowiednich zmian w zakresie kultury organizacji lub norm w strategii wirtualizacji, celem efektywnego zarządzania zasobami w wirtualnym środowisku oraz zasad dotyczących tworzenia nowych maszyn wirtualnych. Zasady te należy następnie wbudować w efektywny zestaw narzędzi do zarządzania infrastrukturą. Powinna zostać narzucona dyscyplina w zakresie planowania wykorzystywania zasobów i tworzenia wirtualnych maszyn. Dzięki temu uniknąć można niekontrolowanego wzrostu liczby wirtualnych serwerów. Trzeba pamiętać, że w wirtualnym środowisku wszystkie zasoby przyjmują postać plików z danymi. Należy zatem optymalnie wykorzystać doświadczenia, umiejętności i kompetencje pracowników w zakresie zarządzania danymi oraz powinny zostać opracowane i wdrożone ogólne zasady dotyczące wykorzystywania zasobów w różnych organizacjach. Ważną kwestią jest dążenie do ujednolicenia procesów i narzędzi wykorzystywanych w zarządzaniu infrastrukturą. Niekiedy te narzędzia nie są spójne i kompatybilne, a korzystanie z odrębnych narzędzi do obsługi wirtualnych zasobów, może doprowadzić do powielania procesów zarządzania zasobami lub konfliktów między nimi. W rezultacie wzrasta złożoność infrastruktury IT. Warto się upewnić, czy wykorzystywane narzędzia oferują możliwość zarządzania zarówno fizycznymi jak i wirtualnymi zasobami oraz czy zachowują swoją funkcjonalność w środowisku mieszanym (dzięki temu zmniejszona zostanie złożoność infrastruktury, a uzyskana elastyczność pozwoli na przenoszenie obciążeń pracą pomiędzy serwerami.). Docelowo powinna to być jedna konsola do zarządzania całym środowiskiem IT.

Wirtualizacji serwerów towarzyszy problem sieciowy. Aby zapewnić możliwość skalowania systemów obliczeniowych, zachowując przy tym parametry wysokiej dostępności, trzeba odpowiednio przygotować architekturę sieci. Tradycyjne połączenie sieciowe kończy się na interfejsie fizycznego hosta, a standardowe mechanizmy zarządzania siecią nie reagują na zachowanie sieci wirtualnej w jego wnętrzu. W takiej sytuacji trudno więc o diagnostykę błędów, nie jest możliwe przypisanie polityki do konkretnego portu, czy też zapewnienie jego odpowiedniej wydajności. Problemem do rozstrzygnięcia jest także adaptacja związana z przenoszeniem maszyn wirtualnych między serwerami, czyli zapewnienie szybkiego i efektywnego łącza pozwalającego na dokonanie takiej operacji bez dużych strat czasowych (istotna kwestia zwłaszcza w czasie awarii). Rozwiązania sieciowe zostały szczegółowo opisane w niniejszej dysertacji (dokładnie w podrozdziale 2.3.6), jednak najistotniejszy jest fakt, że mimo dostępnej całej palety wirtualnych technologii sieciowych (np. VLAN, VXLAN), sieć musi być łatwa w zarządzaniu, a przede wszystkim elastyczna. Wszystkie te działy wymagają jednak odpowiednich kompetencji administratora, które jeśli nie są wystarczające, to z wirtualizacji nie będzie można czerpać maksymalnych korzyści.

Wirtualizacja serwerów, poprzez proces konsolidacji, jak również wirtualizacja samych aplikacji, redukuje koszty związane z utrzymaniem struktury IT, również przez zmniejszenie liczby licencji oprogramowania. Mimo to problem licencji został wskazany w badaniach empirycznych, jako jedno z zagrożeń, zaś oszczędność z tego tytułu nie zawsze była oczywista, co zostało omówione w 2.3.3. Jednak problem niejasnych reguł licencjonowania jest sukcesywnie rozwiązywany przez dostawców systemów IT, którzy coraz klarowniej wskazują na jakich zasadach można korzystać z oprogramowania. W przypadku licencji Windows Server 2019, Microsoft swoje oprogramowanie uzależnia od liczby partycji oraz od stopnia zwirtualizowania infrastruktury<sup>319</sup>. Licencja Datacenter dotyczy nielimitowanej liczby Windows Server w obrębie jednego serwera fizycznego. Z kolei wersja Standard dotyczy tylko dwóch maszyn wirtualnych w obrębie jednego serwera fizycznego. Przykładowo – na cztery maszyny wirtualne należy zakupić dwa komplety licencji Standard. Dlatego też podczas dokonywania kalkulacji TCO, czy też wyliczania wskaźnika ROI należy precyzyjnie uwzględnić kwestię licencji.

Konsolidacja serwerów zapewnia wiele korzyści biznesowych, ale gdy utworzone środowisko nie jest odpowiednio zarządzane, to wówczas wzrośnie złożoność infrastruktury IT. W rezultacie oszczędności wynikające z mniejszych wydatków na sprzęt, czy energię

---

<sup>319</sup> Cennik dostępny jest pod adresem: <https://www.microsoft.com/pl-pl/cloud-platform/windows-server-pricing>, z dn. 2023.06.12.



potrzebną do zasilania i chłodzenia zespołu serwerów, zostaną zrównoważone przez wzrost kosztów zarządzania systemem, bądź też kosztów zakupu licencji OS i licencji wirtualizacyjnych, czy ich wsparcia. Takie działanie może spowodować niekontrolowany wzrost kosztów. Proponowanym rozwiązaniem omawianego problemu jest wcześniejsza, poprzedzająca proces wirtualizacji precyzyjna estymacja na kalkulatorze ROI/TCO. Tylko wnikliwa analiza i identyfikacja wszystkich kosztów pozwoli na świadome podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Drugim rozwiązaniem, jaki zauważa autorka niniejszej dysertacji jest opracowanie spójnej, całościowej strategii wirtualizacji całej infrastruktury IT, obejmująca ogólne zasady konsolidacji, ułatwiające ciągłą optymalizację. Istotne jest prawidłowe zaplanowanie środowiska wirtualnego, gdyż źle przygotowane bez wątpienia przyniesie skutek odwrotny do zamierzonego. Prawidłowo dopasowany hardware (np. serwer, macierz dyskowa), ilość pracujących maszyn wirtualnych, odpowiednia edycja systemu operacyjnego to zestaw komponentów i wykonywanych działań, które powinny zostać właściwie zaplanowane przed wdrożeniem wirtualizacji.

#### **4.5. Opis artefaktu – prototypu kalkulatora ROI/TCO**

Podstawą stworzenia artefaktu, czyli prototypu kalkulatora ROI/TCO, są wymagania funkcjonalne opisane w drugim kroku przyjętej z niniejszej pracy linii badań, zgodnej z DSR. Wszystkie wymagania (W1-W6, jak również te wskazane po warsztacie demonstracyjnym W7-W8) zostały uwzględnione na drodze iteracyjnego i inkrementacyjnego tworzenia artefaktu. Opis artefaktu stanowi trzeci krok przyjętej w dysertacji linii badań opartej o DSR.

Jak to już zostało wskazane w niniejszej pracy, najważniejsze jest prawidłowe zidentyfikowanie kosztów inwestycyjnych i operacyjnych, zgodnych z przyjętą klasyfikacją (wymaganie funkcjonalne WF1) oraz założenie adekwatnych danych wejściowych, które powinny być w jak najszerszej formie możliwe do uzupełnienia przez użytkownika na bazie jego wiedzy i doświadczenia, a nie narzucane przez kalkulator (wymaganie funkcjonalne WF2.1).

W ramach konstruowanego prototypu kalkulatora ROI/TCO należy w pierwszej kolejności zostać uzupełnione szczegółowe dane dotyczące posiadanej infrastruktury serwerowej – profil IT (wymaganie funkcjonalne WF2.2). Obecnie większość organizacji korzysta już z rozwiązań wirtualizacyjnych, zatem charakterystyka powinna dotyczyć zarówno posiadanych serwerów fizycznych, jak i wirtualnych. Dodatkowo konieczne jest uzupełnienie danych o poniesione koszty na sprzęt, oprogramowanie systemu operacyjnego (zarówno na

serwerach fizycznych, jak i VM), oprogramowanie wirtualizacyjne oraz tak zwane oprogramowanie „stron trzecich”. Jeśli organizacja dodatkowo ponosi koszty wsparcia hardware-u lub software-u, to również takie dane muszą zostać uzupełnione w profilu IT (tabela 4.19).

**Tabela 4.19. Dane wejściowe prototypu kalkulatora TCO według autorki dysertacji – profil IT**

Profil infrastruktury	Sprzęt					Oprogramowanie OS		Oprogramowanie VM		Oprogramowanie "stron trzecich"		
	Serwery fizyczne	CPU	Core	Ilość	Cena serwera	Cena wsparcia	Cena opr. OS	Cena wsparcia	Cena opr. VM	Cena wsparcia	Cena opr. „s.t.”	Cena wsparcia
Grupa 1												
Grupa 2												
Grupa 3												
<b>Suma kosztów</b>												
<b>Serwery wirtualne</b>												
Grupa 1					-	-						
Grupa 2					-	-						
Grupa 3					-	-						
<b>Suma kosztów</b>					-	-						

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12; <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21; <https://vmware.valuestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12; <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

W drugim kroku konstruowania prototypu kalkulatora należy uzupełnić o pozostałe dane wejściowe charakteryzujące funkcjonowanie badanej infrastruktury (wymaganie funkcjonalne W2.3). Najpierw o wielkości potrzebne do wyliczenia kosztów inwestycyjnych CAPEX – zapotrzebowanie na pamięć masową i koszty z tym związane, cenę przełącznika sieciowego oraz koszty związane z ewentualnymi szkoleniami, konsultingiem, bądź outsourcingiem i możliwą likwidacją sprzętu. Następnie należy kalkulator uzupełnić o dane niezbędne do obliczenia kosztów operacyjnych – średnie zapotrzebowanie na zasilanie i chłodzenia na jeden serwer fizyczny wraz z kosztami energii elektrycznej, średni czas przestoju w skali roku, powierzchnię i koszt dzierżawy data center. Istotne są także wielkości związane z kosztami administracji systemu – liczba administratorów, zaangażowanie jednego pracownika w zarządzanie daną infrastrukturą (wskaźnik FTE) oraz średnia miesięczna pensja jednego administratora. Na koniec należy podać liczbę lat, dla której TCO ma być analizowana.

Kalkulator proponuje jedynie dwie dane – cenę 1 kWh energii elektrycznej, zgodnej z obowiązującymi cennikami oraz wynagrodzenia brutto administratora serwerów, zgodnie z aktualnymi i wiarygodnymi danymi dostępnymi w Internecie (wymaganie funkcjonalne WF2.1). Obie wielkości są możliwe do zmiany. Co ważne – kalkulator pozwala wprowadzać zerowe koszty ponoszone przykładowo na pamięć masową (jeśli organizacja nie zakupiła dodatkowych macierzy dyskowych, a cała przestrzeń potrzebna na pamięć znajduje się na serwerach), czy wynajem centrum przetwarzania danych (jeśli powierzchnia znajduje się w ramach budynku organizacji). Wszystkie wprowadzone wielkości będą miały istotny wpływ na ostateczne wyliczenie całkowitego kosztu posiadania TCO oraz wskaźnika zwrotu z inwestycji ROI (tabela 4.20).

**Tabela 4.20. Dane wejściowe prototypu kalkulatora TCO według autorki dysertacji**

Lp.	Dane wejściowe	Opcje
1	Liczba GB potrzebnej pamięci	Serwer fizyczny
		Serwer wirtualny
2	Koszt 1 GB pamięci	
3	Koszt przełącznika sieciowego	
4	Koszt szkolenia/konsultingu/outsourcingu	
5	Koszt likwidacji sprzętu	
6	Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	
7	Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	
8	Koszt 1 kWh energii elektrycznej	0,77zł <sup>320</sup>
9	Średni czas przestoju w skali roku (h)	Serwer fizyczny
		Serwer wirtualny
10	Powierzchnia data center (m <sup>2</sup> )	
11	Koszt dzierżawy 1 m <sup>2</sup> powierzchni data center	
12	Liczba administratorów	
13	FTE (%)	Serwer fizyczny
		Serwer wirtualny
14	Średnia pensja administratora (brutto)	6 300zł 7 830zł 10 000zł <sup>321</sup>
15	Ramy czasowe TCO	3-6

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmgu.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12; <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21; <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Sam sposób (algorytm) wyliczania poszczególnych kosztów powinien być jasny i przejrzysty, a przede wszystkim adekwatny do realiów danej organizacji. Na przykład zasilanie i chłodzenie powinno zostać wyliczone na podstawie poziomu faktycznie pobieranej mocy przez serwery z uwzględnionymi przestojami w skali roku lub zerowy koszt wynajem data center, w przypadku nieponoszenia takich kosztów. Zaś w przypadku administracji systemu należy uwzględnić całkowite zaangażowanie czasowe administratora (w tym na przykład wykonywanie kopii bezpieczeństwa), a nie tylko koszt wykonania poszczególnych czynności takich jak instalacja hypervisorów.

<sup>320</sup> Do obliczeń została przyjęta cena 0,77 PLN za 1 kWh obowiązująca w Polsce dla odbiorców niebędących gospodarstwami domowymi w drugiej połowie 2022 roku (najbardziej aktualne dane w momencie opracowania artefaktu i przygotowania do warsztatu symulacyjnego). Cena została przyjęta na podstawie danych statystycznych Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics), z dn. 2023.06.12. Autorka dysertacji przeliczyła wartość na PLN zgodnie z kursem NBP z dn. 2023.03.13: 1 EUR = 4,6848 PLN.

<sup>321</sup> Wynagrodzenia dostępne są pod adresem: <https://wynagrodzenia.pl/moja-placa/ile-zarabia-administrator-systemow-it>, z dn. 2023.06.12.

W związku z tym do kalkulatora wybrano, zgodnie z przyjętą klasyfikacją, następujące rodzaje kosztów i algorytmy (wymaganie funkcjonalne WF3) wyliczające poszczególne wartości (tabela 4.21).

**Tabela 4.21. Prototyp kalkulatora TCO według autorki dysertacji**

TCO		
CAPEX	Koszty sprzętu	liczba serwerów * średni koszt serwera
	Koszty oprogramowania	koszt licencji oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt licencji oprogramowania serwera hosta + koszt licencji oprogramowania serwera VM + koszt licencji "stron trzecich" wraz z integracją
	Koszty pamięci masowej	(liczba serwerów hosta * zapotrzebowanie na pamięć dla serwera hosta + liczba VM * zapotrzebowanie na pamięć dla VM) * średni koszt 1 GB pamięci
	Koszty sprzętu sieciowego	liczba serwerów * liczba portów sieciowych na serwer / liczba portów na przełącznik sieciowy [wartość zaokrąglona w górę] * koszt przełącznika sieciowego
	Koszty szkoleń i konsultingu	koszt szkolenia i konsultingu
	Koszty likwidacji sprzętu	koszt likwidacji sprzętu
	Inne	
OPEX	Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania	((liczba serwerów * średni koszt wsparcia) + koszt wsparcia oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt wsparcia oprogramowania VM + koszt wsparcia systemu "stron trzecich") * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty zasilania i chłodzenia	liczba serwerów * (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) * liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestoju / 1000 * koszt 1 kWh energii elektrycznej * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty wynajmu data center	całkowita powierzchnia data center * koszt wynajmu m <sup>2</sup> data center * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty administracji systemu	(liczba serwerów hosta * FTE na jeden serwer hosta + liczba VM * FTE na jeden VM) * liczba administratorów * średnia roczna pensja administratora * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Inne	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12; <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21; <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Dokonanie analizy, czyli przeprowadzenie obliczeń według algorytmu kalkulatora, daje szczegółowy obraz inwestycji, a przede wszystkim rachunek kosztów i ewentualnych oszczędności jakie menedżer IT może ponieść lub pozyskać. Całkowity koszt posiadania TCO

jest wyliczany poprzez dodanie do siebie wszystkich kosztów inwestycyjnych CAPEX, jak i operacyjnych OPEX popełnionych w zadanym czasie (wymaganie funkcjonalne WF4).

Rezygnacja z porównania inwestycji wirtualnej z potencjalną fizyczną (tak jak to było przedstawione w poprzedniej wersji kalkulatora VMware ROI TCO Calculator oraz w Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator) uniemożliwia obliczenie ROI. I tak jak to było wskazane w niniejszej pracy istotą wyliczenia ROI jest porównanie scenariusza „as is” z „what if”. Dlatego też w przypadku wyliczenia ROI dla dokonanej już inwestycji w wirtualizację, konieczna jest analiza TCO analogicznej, hipotetycznej infrastruktury, ale bez wirtualizacji, aby można było wykazać poczynioną oszczędność lub stratę (wymaganie funkcjonalne WF5.1). Natomiast w przypadku estymacji ROI przejścia w rozwiązania CC, niezbędna jest analiza TCO obecnej infrastruktury w porównaniu z całkowitymi kosztami posiadania infrastruktury, oprogramowania i usług w chmurze. Na tej podstawie wyliczany jest hipotetyczny zwrot kosztów inwestycji ROI w określonym czasie (wymaganie funkcjonalne WF5.2).

Na potrzeby niniejszej pracy i estymacji dotyczącej emisji CO<sub>2</sub>, autorka przyjmuje metodę przedstawioną w VMware Carbon Calculator (wymaganie funkcjonalne WF6), która wskazuje oszczędności z tytułu redukcji sprzętu oraz kosztów energii (wyrażonych finansowo, jak również w kW) ale przede wszystkim, na podstawie całkowitego zużycia energii, wyliczany jest poziom emisji dwutlenku węgla.

Taka konstrukcja artefaktu, jak również jego udoskonalenie na drodze ewaluacji podczas warsztatu demonstracyjnego, pozwala na utworzenie narzędzia uniwersalnego i transparentnego, z którego może skorzystać każdy manager IT, który rozważa inwestycje we własne środowisko wirtualne lub przejście w usługi Cloud Computing.

#### **4.6. Warsztat demonstracyjny – ewaluacja prototypu kalkulatora ROI/TCO**

Czwartym krokiem przyjętej w niniejszej dysertacji linii badań jest ewaluacja artefaktu, czyli obserwacja i pomiar, na ile dobrze artefakt może wspomóc praktykę. Jak zostało to już wskazane wcześniej – taka ewaluacja nastąpiła podczas demonstracji i warsztatu symulacyjnego z wybranymi menedżerami IT, w czasie którego autorka pracy przedstawiła użycie artefaktu na wybranych przykładach. Ten etap wymagał zastosowania symulacji z wykorzystaniem danych pozyskanych na drodze wywiadu.

Na warsztat zaproszeni zostali managerowie, którzy pracują w organizacjach posiadających własne, rozbudowane data center (a w tych centrach danych serwery fizyczne). Taki dobór uczestników warsztatu był celowy i podyktowany istotą, i celem dysertacji, czyli opracowaniem prototypu kalkulatora ROI/TCO do oceny efektywności zastosowania technologii wirtualizacji. Przypadki w których organizacje nie posiadały własnego data center (tylko usługi dzierżawione w chmurze) lub potencjalnie mogłyby być zbadany tylko fragment infrastruktury, badaczka odrzuciła.

Danymi wejściowymi prototypu kalkulatora ROI/TCO były informacje pozyskane w ramach przeprowadzonych wywiadów pogłębionych z obecnymi menedżerami. Podstawą analizy porównawczej była szczegółowa charakterystyka posiadanej infrastruktury oraz popełnianych kosztów jej funkcjonowania. W demonstracji wzięły udział organizacje A i B, które dysponują infrastrukturą fizyczną.

Demonstracja rozpoczęła się od wskazania charakterystyki badanych jednostek i zaprezentowaniu danych wejściowych. Organizacja A posiada zasoby tylko i wyłącznie we własnej serwerowni. Cztery serwery dedykowane są rozwiązaniom wirtualizacyjnym, na których działa siedemnaście instalacji (tabela 4.22). W przypadku organizacji B infrastruktura fizyczna składa się z dziewięciu maszyn, z których trzy stanowią podstawę pod rozwiązania wirtualizacyjne. Na tej jednej, skonsolidowanej mocy obliczeniowej działa czterdzieści VM (tabela 4.23).



**Tabela 4.22. Dane wejściowe - obecna infrastruktura serwerowa organizacji A (warsztat demonstracyjny)**

Profil infrastruktury	Sprzęt					Oprogramowanie OS		Oprogramowanie VM		Oprogramowanie "stron trzecich"	
	CPU	Core	Ilość	Cena serwera	Cena wsparcia	Cena opr. OS	Cena wsparcia	Cena opr. VM	Cena wsparcia	Cena opr. „s.t.”	Cena wsparcia
Gr.1 (Solaris)	2	4	2	30 000,00 zł	1 500,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.2 (GNU/Linux, ESX Server)	4	6	1	130 000,00 zł	1 500,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	2 666,66 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.3 (GNU/Linux, Hyper-V)	4	6	1	130 000,00 zł	1 500,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	8 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.4 (GNU/Linux, XEN)	4	8	2	150 000,00 zł	3 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
<b>Suma kosztów</b>			<b>6</b>	<b>490 000,00 zł</b>	<b>10 500,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>8 000,00 zł</b>	<b>2 666,66 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>
<b>Serwery wirtualne</b>											
Gr.1 (MS Windows)	1	4	2	-	-	700,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.2 (MS Windows Server)	1	4	1	-	-	12 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.3 (Fedora)	2	2	6	-	-	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.4 (MS Windows Server)	2	4	4	-	-	24 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.5 (Red Hat)	4	4	4	-	-	1 600,00 zł	200,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
<b>Suma kosztów</b>			<b>17</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>115 800,00 zł</b>	<b>800,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>

Źródło: Na podstawie badań własnych.

**Tabela 4.23. Dane wejściowe - obecna infrastruktura serwerowa organizacji B (warsztat demonstracyjny)**

Profil infrastruktury	Sprzęt					Oprogramowanie OS		Oprogramowanie VM		Oprogramowanie "stron trzecich"	
	CPU	Core	Ilość	Cena serwera	Cena wsparcia	Cena opr. OS	Cena wsparcia	Cena opr. VM	Cena wsparcia	Cena opr. „s.t.”	Cena wsparcia
Gr.1 (MS Windows Server)	2	4	5	20 000,00 zł	0,00 zł	90 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.2 (GNU/Linux, ESX Server)	1	8	3	10 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	30 000,00 zł	0,00 zł	40 000,00 zł	0,00 zł
Gr.3 (FreeBSD)	2	4	1	20 000,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
<b>Suma kosztów</b>			<b>9</b>	<b>130 000,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>90 000,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>30 000,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>40 000,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>
<b>Serwery wirtualne</b>											
Gr.1 (CentOS, FreeBSD, Ubuntu)	1	2	20	-	-	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
Gr.2 (MS Windows Server)	1	2	20	-	-	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł	0,00 zł
<b>Suma kosztów</b>			<b>40</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>	<b>0,00 zł</b>

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Omawiane w podrozdziale 4.2 kalkulatory w dużym stopniu narzucały większość danych niezbędnych do analizy, na przykład: liczba GB potrzebnej pamięci na serwer fizyczny i wirtualny, koszt przełączników sieciowych, czy też średnie wynagrodzenie administratora. Mimo że dane były dostarczane na podstawie ankiet przeprowadzanych wśród klientów VMware oraz Parallers, były one zbyt ogólne i nie wszystkie adekwatne do realiów polskiego rynku IT. Dlatego też formularz wywiadu pogłębionego został poszerzony o weryfikację poszczególnych danych wejściowych, które zostaną wprowadzone do prototypu kalkulatora i dzięki którym analiza stanie się jeszcze bardziej precyzyjna (tabela 4.24).

**Tabela 4.24. Dane wejściowe – dodatkowe informacje (warsztat demonstracyjny)**

Lp.	Dane wejściowe		Organizacja A	Organizacja B
1	Liczba GB potrzebnej pamięci	Serwer fizyczny	700	500
		Serwer wirtualny	150	60
2	Koszt 1 GB pamięci		20zł	0zł
3	Koszt przełącznika sieciowego		6 000zł	6 000zł
4	Koszt szkolenia/konsultingu/outsourcingu		12 000zł	0zł
5	Koszt likwidacji sprzętu		0zł	1 500zł
6	Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)		500W	300W
7	Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)		600W	300W
8	Koszt 1 kWh energii elektrycznej		0,77zł	0,77zł
9	Średni czas przestoju w skali roku (h)	Serwer fizyczny	56	10
		Serwer wirtualny	40	3
10	Powierzchnia data center (m <sup>2</sup> )		12	6
11	Koszt dzierżawy 1 m <sup>2</sup> powierzchni data center		0zł	0zł
12	Liczba administratorów		2	1,5
13	FTE (%)	Serwer fizyczny	27%	15%
		Serwer wirtualny	13%	10%
14	Średnia pensja administratora (brutto)		7 000zł	8 000zł
15	Ramy czasowe TCO		3	3

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Po uwzględnieniu wszystkich danych wejściowych, pozyskanych w czasie wywiadu, prototyp kalkulator szczegółowo wskazał koszty, poczynając od niezbędnego sprzętu. Ponadto do symulacji została dodana porównawczo estymacja dla fizycznej infrastruktury (przy założeniu posiadania takiej samej liczby maszyn fizycznych co wirtualnych, przy zachowaniu tego samego poziomu cen). Zatem liczba serwerów (hostów) stanowiła w czasie wyliczeń sumę serwerów fizycznych, które nie są dedykowane wirtualizacji oraz wszystkich VM. W

przypadku organizacji A było to dziewiętnaście maszyn, zaś w kalkulacji B – czterdzieści sześć. Suma kosztów sprzętu została wyliczona na podstawie średniej ceny serwera w danej organizacji. Zdywersyfikowane koszty popełnione na serwery fizyczne (w organizacji A jest to kwota 490 tys. zł na sześć serwerów, zaś w B tylko 130 tys. zł na dziewięć maszyn) pozwalają przyjąć założenie, że firmy dysponują zróżnicowanymi budżetami, jak również potrzebami, dlatego też średnie ceny serwerów dla fizycznej infrastruktury muszą być różne i wyliczone na podstawie popełnionych kosztów na infrastrukturę wirtualną (tabela 4.25).

**Tabela 4.25. Koszty sprzętu – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty sprzętu	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Cena serwera (średnia)	81 666,67 zł	81 666,67 zł
Suma kosztów sprzętu <sup>322</sup>	490 000,00 zł	1 551 666,67 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Cena serwera (średnia)	14 444,44 zł	14 444,44 zł
Suma kosztów sprzętu	130 000,00 zł	664 444,44 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Następnie na podstawie ankiety zaprezentowane zostały koszty oprogramowania wirtualizacyjnego, OS i tzw. „stron trzecich” bez kosztów wsparcia, które zostaną ujęte w ramach wydatków operacyjnych. Organizacja B posiada licencję Datacenter (zakupioną za 90 tys. zł), która obejmuje nielimitowaną liczbę Windows Server w obrębie jednego serwera fizycznego. W przypadku rezygnacji z wirtualizacji i konieczności zakupu pojedynczych licencji typu Standard, koszt oprogramowania serwerów hosta wzrośnie. W kalkulacji A ten wydatek się równoważy, ponieważ organizacja i tak zakupuje pojedyncze licencje (tabela 4.26).

<sup>322</sup> Koszt serwerów = liczba serwerów \* średni koszt serwera.

**Tabela 4.26. Koszty oprogramowania – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty oprogramowania	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Licencje oprogramowania wirtualizacyjnego	8 000,00 zł	0,00 zł
Licencje oprogramowania serwera (hosta)	0,00 zł	115 800,00 zł
Licencje oprogramowania serwera (VM)	115 800,00 zł	0,00 zł
Licencje "stron trzecich" + integracja	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów oprogramowania <sup>323</sup>	123 800,00 zł	115 800,00 zł
Organizacja B		
Licencje oprogramowania wirtualizacyjnego	30 000,00 zł	0,00 zł
Licencje oprogramowania serwera (hosta) <sup>324</sup>	90 000,00 zł	92 700,00 zł
Licencje oprogramowania serwera (VM)	0,00 zł	0,00 zł
Licencje "stron trzecich" + integracja	40 000,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów oprogramowania	160 000,00 zł	92 700,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W przypadku wydatków dotyczących pamięci masowej, tylko organizacja A popełniła koszty z tym związane, dokupując dodatkową macierz dyskową. Estymacja dla infrastruktury fizycznej oparta zatem została o tę kwotę oraz zasoby przydzielane zarówno na VM (150 GB na VM), jak i maszynom fizycznym (700 GB na hosta), zgodnie z deklaracją respondenta. Organizacja B nie poniosła dodatkowych kosztów na pamięć masową, zaś niezbędne zasoby pamięciowe zostały dostarczone i ujęte w ramach kosztów serwerów (tabela 4.27).

<sup>323</sup> Koszt oprogramowania = koszt licencji oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt licencji oprogramowania serwera hosta + koszt licencji oprogramowania serwera VM + koszt licencji "stron trzecich" wraz z integracją.

<sup>324</sup> Cennik dostępny jest pod adresem: <https://www.microsoft.com/pl-pl/cloud-platform/windows-server-pricing>, z dn. 2023.06.12. W kalkulacji zostało uwzględnionych 25 licencji dla serwerów, na których działa system MS Windows.

**Tabela 4.27. Koszty pamięci masowej – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty pamięci masowej	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	17	0
Liczba GB potrzebnej pamięci na serwer	150	700
Sumaryczna liczba GB potrzebnej pamięci <sup>325</sup>	6750	13300
Koszt 1 GB pamięci (średni)	20,00 zł	20,00 zł
Suma kosztów pamięci masowej <sup>326</sup>	135 000,00 zł	266 000,00 zł
Organizacja B		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	40	0
Liczba GB potrzebnej pamięci na serwer	-	-
Sumaryczna liczba GB potrzebnej pamięci	-	-
Koszt 1 GB pamięci (średni)	-	-
Suma kosztów pamięci masowej	0 zł	0 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W kolejnym kroku prototyp kalkulatora na podstawie liczby hostów wskazał koszty sprzętu sieciowego (tabela 4.28).

<sup>325</sup> Liczba GB potrzebnej pamięci = liczba serwerów hosta \* zapotrzebowanie na pamięć dla serwera hosta + liczba serwerów wirtualnych VM \* zapotrzebowanie na pamięć dla serwera wirtualnego VM .

<sup>326</sup> Koszt pamięci masowej = liczba GB potrzebnej pamięci \* średni koszt 1 GB pamięci.

**Tabela 4.28. Koszty sprzętu sieciowego – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty pamięci masowej	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Liczba serwerów (hostów)	6	23
Liczba portów sieciowych na serwer	2	2
Łączna liczba portów sieciowych <sup>327</sup>	12	46
Liczba portów na przełącznik sieciowy	24	24
Liczba przełączników sieciowych <sup>328</sup>	1	2
Koszt przełącznika sieciowego	6 000,00 zł	6 000,00 zł
Suma kosztów sprzętu sieciowego <sup>329</sup>	6 000,00 zł	12 000,00 zł
Organizacja B		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Liczba portów sieciowych na serwer	2	2
Łączna liczba portów sieciowych	18	92
Liczba portów na przełącznik sieciowy	24	24
Liczba przełączników sieciowych	1	4
Koszt przełącznika sieciowego	6 000,00 zł	6 000,00 zł
Suma kosztów sprzętu sieciowego	6 000,00 zł	24 000,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Następnie prototyp kalkulatora wskazał wydatki związane ze szkoleniami i konsultingiem, rozumiane jako jednorazowa inwestycja przy decyzji o migracji systemu. Organizacja A popełniła taki wydatek, natomiast organizacja B outsourcowała proces wirtualizacji zasobów firmie zewnętrznej zajmującej się obsługą serwerową. Koszt ten również został ujęty w ramach szkoleń i konsultingu. Wskazany wydatek jest znaczny, zatem ma duży wpływ na koszty CAPEX, a tym samym wielkość wskaźnika ROI. Z tego oto powodu tak istotne było poszerzenie obliczeń o omawianą inwestycję (tabela 4.29).

**Tabela 4.29. Koszty szkoleń i konsultingu – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty szkoleń i konsultingu	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Koszt szkolenia i konsultingu	12 000,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów szkoleń i konsultingu	12 000,00 zł	0,00 zł
Organizacja B		
Koszt szkolenia i konsultingu	150 000,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów szkoleń i konsultingu	150 000,00 zł	0,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

<sup>327</sup> Liczba portów sieciowych = liczba serwerów hosta \* liczba portów sieciowych na serwer.

<sup>328</sup> Liczba przełączników sieciowych = liczba portów sieciowych / liczba portów na przełącznik sieciowy (wartość zaokrąglona w górę).

<sup>329</sup> Koszt sprzętu sieciowego = liczba przełączników sieciowych \* koszt przełącznika sieciowego.

Ostatnim kosztem inwestycyjnym CAPEX są wydatki związane z likwidacją sprzętu. W przypadku organizacji A niepotrzebny sprzęt został wykorzystany w innych działach instytucji, dlatego też organizacja nie poniosła kosztów związanych z likwidacją serwerów. Zaś organizacja B tylko raz zlikwidowała środki trwałe w postaci zasobów serwerowych (4.30).

**Tabela 4.30. Koszty likwidacji sprzętu – CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

Koszty szkoleń	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Koszt likwidacji sprzętu	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów likwidacji sprzętu	0,00 zł	0,00 zł
Organizacja B		
Koszt likwidacji sprzętu	1 500,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów likwidacji sprzętu	1 500,00 zł	0,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Zestawienie wszystkich kosztów inwestycyjnych CAPEX przedstawia poniższa tabela (tabela 4.31).

**Tabela 4.31. Koszty CAPEX (warsztat demonstracyjny)**

CAPEX	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Koszty sprzętu	490 000,00 zł	1 551 666,67 zł
Koszty oprogramowania	123 800,00 zł	115 800,00 zł
Koszty pamięci masowej	135 000,00 zł	266 000,00 zł
Koszty sprzętu sieciowego	6 000,00 zł	12 000,00 zł
Koszty szkoleń i konsultingu	12 000,00 zł	0,00 zł
Koszty likwidacji sprzętu	0,00 zł	0,00 zł
Suma CAPEX <sup>330</sup>	766 800,00 zł	1 945 466,67 zł
Organizacja B		
Koszty sprzętu	130 000,00 zł	664 444,44 zł
Koszty oprogramowania	160 000,00 zł	92 700,00 zł
Koszty pamięci masowej	0,00 zł	0,00 zł
Koszty sprzętu sieciowego	6 000,00 zł	24 000,00 zł
Koszty szkoleń i konsultingu	150 000,00 zł	0,00 zł
Koszty likwidacji sprzętu	1 500,00 zł	0,00 zł
Suma CAPEX	447 500,00 zł	781 144,44 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

<sup>330</sup> CAPEX = koszt sprzętu + koszt oprogramowania + koszt pamięci masowej + koszt sprzętu sieciowego + koszt szkoleń i konsultingu.

Następnie w czasie warsztatu symulacyjnego zaprezentowane zostały w prototypie kalkulatora koszty OPEX, począwszy od kosztów wsparcia oprogramowania przez cały czas analizy TCO, czyli 3 lat. W przypadku infrastruktury fizycznej zostało przyjęte, że koszty wsparcia sprzętu wzrosną wraz z liczbą maszyn. Dlatego też, podobnie jak w przypadku serwerów, suma kosztów wsparcia zostaje wyliczona na podstawie średniej ceny wsparcia w danej organizacji. W przypadku organizacji B, ze względu na politykę oszczędnościową firmy, większość rozwiązań opartych jest na oprogramowaniu open source, co nie pociąga za sobą kosztów suportu (tabela 4.32).

**Tabela 4.32. Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

Koszty wsparcia	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Cena wsparcia (średnia)	1 750,00 zł	1 750,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (hosta) <sup>331</sup>	10 500,00 zł	33 250,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (VM)	800,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania wirtualizacyjnego	2 666,66 zł	0,00 zł
Wsparcie systemu "stron trzecich"	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia <sup>332</sup>	13 966,66 zł	33 250,00 zł
Suma kosztów wsparcia (3 lata)	41 899,98 zł	99 750,00 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Cena wsparcia (średnia)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (hosta)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (VM)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania wirtualizacyjnego	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie systemu "stron trzecich"	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia (3 lata)	0,00 zł	0,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W kolejnym kroku prototyp kalkulatora wskazał koszty zasilania i chłodzenia na podstawie liczby serwerów, deklarowanej niezbędnej mocy na zasilanie i chłodzenie, i ceny za kilowatogodzinę<sup>333</sup> z uwzględnieniem przestoju w ciągu całego roku (tabela 4.33).

<sup>331</sup> Koszt wsparcia oprogramowania serwera hosta = liczba serwerów \* średni koszt wsparcia.

<sup>332</sup> Koszt oprogramowania = (koszt wsparcia oprogramowania serwera hosta + koszt wsparcia oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt wsparcia oprogramowania serwera VM + koszt wsparcia systemu "stron trzecich") \* liczba lat.

<sup>333</sup> Do obliczeń została przyjęta cena 0,77 PLN za 1 kWh obowiązująca w Polsce dla odbiorców niebędących gospodarstwami domowymi w drugiej połowie 2022 roku (aktualna w momencie opracowania artefaktu). Cena została przyjęta na podstawie danych statystycznych Eurostat: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics->



**Tabela 4.33. Koszty zasilania i chłodzenia – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

Koszty zasilania i chłodzenia	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	500	500
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	600	600
Liczba h pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestojów (h) <sup>334</sup>	8704	8704
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW) <sup>335</sup>	57446,4	181913,6
Koszt 1 kWh energii elektrycznej	0,77 zł	0,77 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia <sup>336</sup>	44 233,73 zł	140 073,47 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia (3 lata)	132 701,18 zł	420 220,42 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	300	300
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	300	300
Liczba h pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestojów (h)	8750	8750
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW)	47250	241500
Koszt 1 kWh energii elektrycznej	0,77 zł	0,77 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia	36 382,50 zł	185 955,00 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia (3 lata)	109 147,50 zł	557 865,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W następnym kroku prototyp kalkulatora pozwolił obliczyć koszty wynajem data center przez cały okres wskazany w ramach czasowych (tabela 4.34). Obie organizacje posiadają jednak serwerownie w ramach własnej powierzchni biurowej, co nie generuje dodatkowych kosztów z tego tytułu.

[explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://www.explained/index.php?title=Electricity_price_statistics), z dn. 2023.06.12. Autorka dysertacji przeliczyła wartość na PLN zgodnie z kursem NBP z dn. 2023.03.13: 1 EUR = 4,6848 PLN.

<sup>334</sup> Liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów = 24 \* 365 – średni czas przestoju na serwer fizyczny w skali roku.

<sup>335</sup> Całkowite zapotrzebowanie na energię = liczba serwerów \* (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) \* liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów / 1000.

<sup>336</sup> Koszt zasilania i chłodzenia = całkowite zapotrzebowanie na energię \* koszt 1 kWh energii elektrycznej \* liczba lat.

**Tabela 4.34. Koszty wynajem data center – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

Koszty wynajem data center	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Całkowita powierzchnia data center (m <sup>2</sup> )	12	12
Koszt wynajem m <sup>2</sup> data center	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wynajem data center <sup>337</sup>	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wynajem data center (3 lata)	0,00 zł	0,00 zł
Organizacja B		
Całkowita powierzchnia data center (m <sup>2</sup> )	6	6
Koszt wynajem m <sup>2</sup> data center	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wynajem data center	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wynajem data center (3 lata)	0,00 zł	0,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Następnie zostały wskazane oszacowane koszty administracji systemu z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków ewentualnej awarii. Wyliczenia biorą pod uwagę liczbę serwerów fizycznych i wirtualnych, liczbę administratorów w danej organizacji oraz ich zaangażowanie czasowe w infrastrukturę. Dane zostaną zestawione ze średnimi rocznymi zarobkami brutto w danej organizacji na stanowisku administratora systemu (tabela 4.35). W przypadku organizacji B, podane FTE dotyczy tylko i włączanie administracji infrastruktury działającej na serwerach fizycznych, a nie wydierżawionych w ramach IaaS.

<sup>337</sup> Koszt wynajem data center = całkowita powierzchnia data center \* koszt wynajem m<sup>2</sup> data center \* liczba lat.

**Tabela 4.35. Koszty administracji systemu – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

Koszty administracji systemu	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	17	0
FTE	13%	27%
Liczba administratorów	2	2
Średnia roczna pensja administratora	84 000,00 zł	84 000,00 zł
Suma kosztów administracji systemu <sup>338</sup>	67 200,00 zł	143 640,00 zł
Suma kosztów administracji systemu (3 lata)	201 600,00 zł	430 920,00 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	40	0
FTE	10%	15%
Liczba administratorów	1,5	1,5
Średnia roczna pensja administratora	96 000,00 zł	96 000,00 zł
Suma kosztów administracji systemu	36 000,00 zł	110 400,00 zł
Suma kosztów administracji systemu (3 lata)	108 000,00 zł	331 200,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Zatem prototyp kalkulatora wskazał następujące koszty OPEX (tabela 4.36).

**Tabela 4.36. Koszty OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

OPEX	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Koszty wsparcia	41 899,98 zł	99 750,00 zł
Koszty zasilania i chłodzenia	132 701,18 zł	420 220,42 zł
Koszty wynajem data center	0,00 zł	0,00 zł
Koszty administracji systemu	201 600,00 zł	430 920,00 zł
Suma OPEX (3 lata) <sup>339</sup>	376 201,16 zł	950 890,42 zł
<b>Organizacja B</b>		
Koszty wsparcia	0,00 zł	0,00 zł
Koszty zasilania i chłodzenia	109 147,50 zł	557 865,00 zł
Koszty wynajem data center	0,00 zł	0,00 zł
Koszty administracji systemu	108 000,00 zł	331 200,00 zł
Suma OPEX (3 lata)	217 147,50 zł	889 065,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

<sup>338</sup> Koszt administracji systemu = (liczba serwerów hosta \* FTE na jeden serwer hosta + liczba serwerów VM \* FTE na jeden serwer wirtualny VM) \* liczba administratorów \* średnia roczna pensja administratora \* liczba lat.

<sup>339</sup> OPEX = koszt wsparcia + koszt zasilania i chłodzenia + koszt wynajem data center + koszt administracji systemu.

Całkowity koszt funkcjonowania TCO został wyliczony poprzez dodanie kosztów inwestycyjnych CAPEX i operacyjnych OPEX (tabela 4.37).

**Tabela 4.37. Całkowite TCO (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

TCO	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
CAPEX	766 800,00 zł	1 945 466,67 zł
OPEX	376 201,16 zł	950 890,42 zł
Suma TCO (3 lata) <sup>340</sup>	1 143 001,16 zł	2 896 357,08 zł
Organizacja B		
CAPEX	447 500,00 zł	781 144,44 zł
OPEX	217 147,50 zł	889 065,00 zł
Suma TCO (3 lata)	664 647,50 zł	1 670 209,44 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W przypadku organizacji A całkowity koszt posiadania (przez 3 lata) wirtualnej infrastruktury  $TCO_3^w$  wyniósł 1 143 001,16 zł. Gdyby jednak organizacja zdecydowała się pozostać tylko przy fizycznym środowisku IT to całkowite  $TCO_3^f$  wyniosłoby 2 896 357,08 zł, co oznacza, że zysk netto z zastosowania technologii wirtualizacji  $Z_3$  jest równy 1 753 355,92 zł. Po obliczeniu początkowego nakładu inwestycyjnego  $NI_0$  równego wydatkom inwestycyjnym CAPEX i uwzględnieniu wzoru (5) można obliczyć wskaźnik ROI, który wyniósł 128,66%. Natomiast w przypadku organizacji B całkowity koszt posiadania (przez 3 lata) wirtualnej infrastruktury  $TCO_3^w$  jest równy 664 647,50 zł, zaś fizycznej  $TCO_3^f$  (gdyby nie doszło do wirtualizacji) wyniosłoby 1 670 209,44 zł, co daje zysk netto  $Z_3$  w wysokości 1 005 561,94 zł. Wskaźnik ROI wyniósł zatem 124,71% (tabela 4.38).

<sup>340</sup> TCO = CAPEX + OPEX.

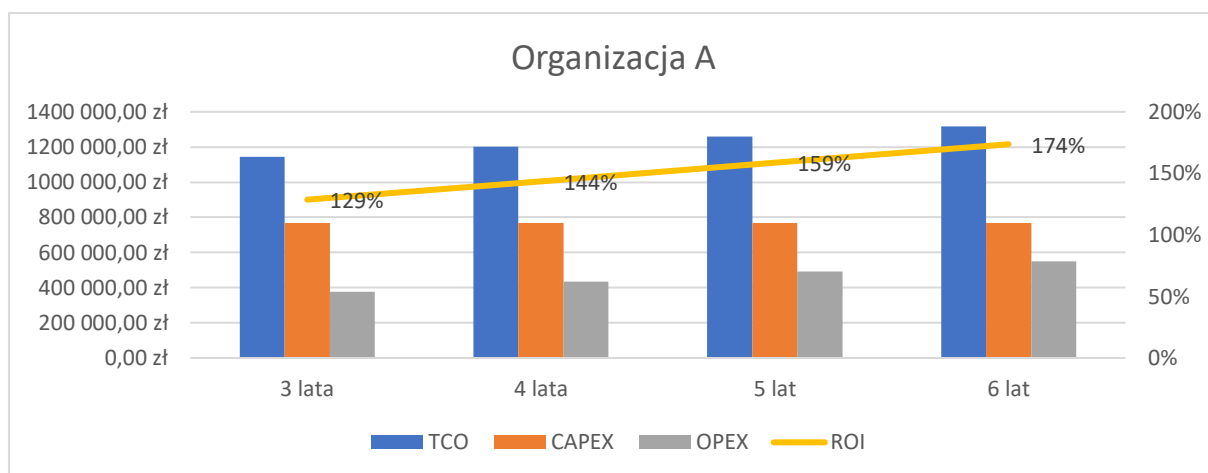
**Tabela 4.38. Wskaźnik ROI (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

ROI	
Organizacja A	
Zysk przyniesiony przez inwestycję $Z_3$	1 753 355,92 zł
Początkowy nakład inwestycyjny $NI_0$	766 800,00 zł
Zwrot z inwestycji ROI	128,66%
Czas zwrotu z inwestycji	16 msc
Organizacja B	
Zysk przyniesiony przez inwestycję $Z_3$	1 005 561,94 zł
Początkowy nakład inwestycyjny $NI_0$	447 500,00 zł
Zwrot z inwestycji ROI	124,71%
Czas zwrotu z inwestycji	17 msc

Źródło: Na podstawie badań własnych.

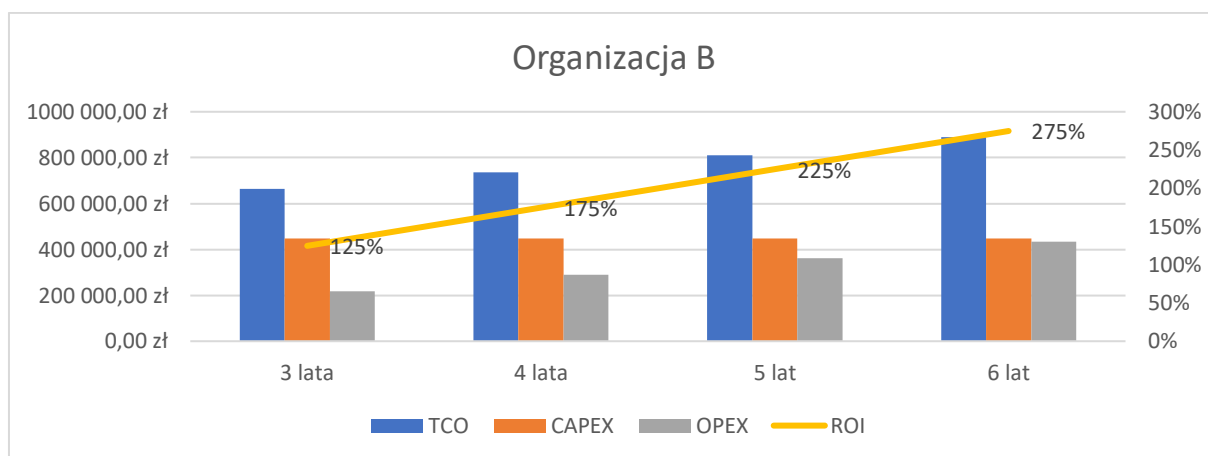
Wdrożenie technologii wirtualizacji w obydwu przypadkach było opłacalne, z czym też się zgodzili obecni na warsztacie managerowie IT – w przypadku organizacji A czas zwrotu z inwestycji wyniósł 16 miesięcy, zaś w kalkulacji B inwestycja zwróciła się w 17. miesiącu. Jeśli zatem wskaźnik ROI wyraża efektywność to, w badanych powyżej jednostkach, wirtualizacja zapewniła bardziej efektywne wykorzystanie posiadanej infrastruktury, a prezentowana powyżej analiza umożliwiła obliczenie efektywności wdrożenia wirtualizacji za pomocą prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Otrzymane wyniki mogą także stanowić podstawę do dalszej analizy danych, na przykład zmieniającej się wartości wskaźnika ROI wraz z upływem lat. Przeprowadzona symulacja uwzględniała bowiem 3-letni okres posiadania wirtualnej infrastruktury i oszczędności poczynionych z tego tytułu. Wraz z wydłużaniem tego czasu, oczywistym jest, że będą również rosły koszty operacyjne jej utrzymania, natomiast jeszcze większe koszty generowałoby utrzymanie fizycznej infrastruktury. Zatem współczynnik ROI, wraz z upływem lat, dla którego analizowana jest inwestycja, również będzie wzrastał (rysunek 4.4 i rysunek 4.5).



**Rysunek 4.4. TCO i ROI w 3-6-letnim okresie analizy – organizacja A**

Źródło: Na podstawie badań własnych.



**Rysunek 4.5. TCO i ROI w 3-6-letnim okresie analizy – organizacja B**

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Organizacja A poniosła znaczne koszty inwestycyjne i mimo wzrostu wraz z upływem lat kosztów operacyjnych, nawet po 6. latach funkcjonowania infrastruktury będą one niższe niż wydatki CAPEX. Nie zmienia to faktu, że gdyby badana jednostka zdecydowała się zostać przy fizycznej infrastrukturze, to rozbudowa i inwestycja w fizyczne maszyny byłaby jeszcze bardziej kosztowna. W kalkulacji B już w 6. roku funkcjonowania wydatki OPEX będą niemalże równe kosztom CAPEX. Znaczny wzrost OPEX dla wirtualnej, a przede wszystkim dla hipotetycznej fizycznej infrastruktury implikuje także dynamiczny wzrost ROI – wskaźnik rośnie od 125% aż do 275%.

Omawiany w podrozdziale 3.2.3 kalkulator Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator obliczał również, na podstawie rocznego zużycia energii, jaka jest emisja dwutlenku węgla. Narzędzie VMware nie posiada takiej funkcjonalności, natomiast firma przygotowała

dedykowany kalkulator VMware Carbon Calculator<sup>341</sup>, który pozwala obliczyć oszczędność również z tego tytułu. Kalkulator przyjmuje, że aby obliczyć emisję dwutlenku węgla należy uwzględnić standardowym współczynnik dla infrastruktury, który wynosi 1.583 lbs (0.718 kg) CO<sub>2</sub> na kWh. Zatem przyjmując takie założenie narzędzie również wylicza oszczędność ekologiczną osiągniętą przez badane organizacje z tego tytułu (tabela 4.39).

**Tabela 4.39. Emisja CO<sub>2</sub> (3 lata, warsztat demonstracyjny)**

Emisja CO <sub>2</sub>	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	500	500
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	600	600
Liczba h pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestoju (h) <sup>342</sup>	8 704	8 704
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW) <sup>343</sup>	57 446,4	181 913,6
Współczynnik dla infrastruktury (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	0,718	0,718
Suma emisji CO <sub>2</sub> (kg) <sup>344</sup>	41 246,52	130 613,96
Suma emisji CO <sub>2</sub> (kg, 3 lata)	123 739,55	391 841,89
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	300	300
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	300	300
Liczba h pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestoju (h)	8 750	8 750
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW)	47 250	241 500
Współczynnik dla infrastruktury (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	0,718	0,718
Suma emisji CO <sub>2</sub> (kg)	33 925,50	173 397,00
Suma emisji CO <sub>2</sub> (kg, 3 lata)	101 776,50	520 191,00

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Powyższe obliczenia dowodzą, że obie organizacje podejmując decyzję o wirtualizacji oprócz oszczędności finansowych, znacznie zredukowały emisję własną dwutlenku węgla. Aspekt ekologiczny, mimo że nie zawsze jest brany pod uwagę, to w momencie wdrożenia wirtualnej infrastruktury przynosi profity dla środowiska naturalnego. Często dzieje się tak pomimo braku „zielonej” świadomości osoby, który przy decyzji o wyborze technologii kieruje się głównie rachunkiem ekonomicznym. Z tym stwierdzeniem zgodzili się również uczestnicy warsztatu

<sup>341</sup> Kalkulator dostępny jest pod adresem: <https://www.vmware.com/company/sustainability/carbon-calculator.html>, z dn. 2023.06.12.

<sup>342</sup> Liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestoju = 24 \* 365 – średni czas przestoju na serwer fizyczny w skali roku.

<sup>343</sup> Całkowite zapotrzebowanie na energię = liczba serwerów \* (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) \* liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestoju / 1000.

<sup>344</sup> Emisja CO<sub>2</sub> = całkowite zapotrzebowanie na energię \* współczynnik dla infrastruktury (0.718 kg CO<sub>2</sub>/kWh).

demonstracyjnego, którzy potwierdzili, że wybór technologii wirtualizacji był podyktowany głównie trendami rynkowymi, a nie ekonomicznym, tudzież ekologicznym rozrachunkiem.

Oprócz fizycznych zasobów informatycznych, na których organizacje A i B budują infrastrukturę wirtualną, badane jednostki posiadają również zasoby wydierżawione w ramach usług IaaS. Manager organizacji B podkreślił w czasie warsztatu demonstracyjnego, że dodatkowo dzierżawi zarówno dedykowane serwery (czyli gotowe, skonfigurowane już maszyny wraz z systemem zabezpieczeń oferowanym przez dostawcę usług), jak i całe przestrzenie dyskowe, na których budowane są przez administratorów środowiska informatyczne dostosowane do potrzeb przedsiębiorstwa. Łącznie organizacja dzierżawi cztery serwery dedykowane (każdy za 349 zł miesięcznie) oraz jedną przestrzeń, na której skonfigurowanych jest jedenaście maszyn „fizycznych” (za 9 tys. zł miesięcznie). Dzięki zastosowaniu wirtualizacji w dzierżawionym środowisku IT, na każdym serwerze „fizycznym” działa po około dziesięć VM. Manager stwierdził, że takie podejście wymaga więcej pracy od administratora zarówno na poziomie implementacji, jak również dbania o bezpieczeństwo infrastruktury, natomiast gwarantuje bardziej ekonomiczne wykorzystanie zasobów – w przeliczeniu na VM wychodzi niecałe 82 zł miesięcznie za jeden serwer wirtualny.

Managerowie IT wraz z badaczką jednoznacznie stwierdzili, że technologia wirtualizacji znajduje swoje zastosowanie również w przypadku usług dzierżawionych. Jest nie tylko sposobem na dostarczanie usług w modelu Cloud Computing ale również metodą na bardziej efektywne wykorzystanie posiadanych zasobów w chmurze. Analogicznie do modelu infrastruktury fizycznej – w CC również można wykupić dostęp do dedykowanej maszyny, tak jak dokonać zakupu pojedynczego serwera. Jednak bardziej opłacana jest dzierżawa całego zasobu, który można dowolnie dostosować do potrzeb organizacji i tak jak w modelu „fizycznym” – zbudować wirtualną strukturę na hoście. Omawiane podejście pochłonie więcej pracy administracyjnej na etapie konfiguracji, nie gwarantuje poziomu bezpieczeństwa oferowanego przez dostawcę, jednak daje dużą swobodę konfiguracyjną, co pozwala zbudować wydajne, skalowalne oraz elastyczne środowisko IT.

Badaczka w czasie prezentacji podniosła kwestię, o której w swojej publikacji napisał E. Syska<sup>345</sup>, mianowicie brak uwzględnienie zmian wartości pieniądza w czasie przy obliczeniu ROI. Wszyscy managerowie biorący udział w warsztacie byli zgodni, że przy wysokiej inflacji, bardzo ciężko jest precyzyjnie zaplanować długoterminowe inwestycje lub obliczyć koszty

---

<sup>345</sup> E. Syska, *Jak nie liczyć ROI...*, *op. cit.*



utrzymania w perspektywie kilku lat do przodu. Dlatego autorka niniejszej dysertacji zaproponowała dodanie do algorytmów obliczeniowych wskaźnik rocznej inflacji/deflacji, co zostało przyjęte z entuzjazmem i jednogłówną zgodą. Przykładem, który uzasadnia tę decyzję jest cena energii elektrycznej, która w 2022 roku wyniosła średnio 0,77 zł za 1 kWh, zaś w 2023 roku i tak wzrosła mimo tak zwanego „zamrożenia” cen (tylko dla firm z sektora MŚP)<sup>346</sup>. Uwzględnienie tego wskaźnika zostało zdefiniowane jako dodatkowe wymaganie funkcjonalne (WF7).

Ostatnie, dodatkowe wymaganie (WF8) zostało wskazane i zdefiniowane przez samych uczestników warsztatu symulacyjnego, którzy jednoznacznie stwierdzili, że lista kosztów inwestycyjnych i operacyjnych nie może być zamknięta. Managerowie IT zasugerowali, aby narzędzie było w pełni elastyczne, co oznacza możliwość identyfikowania i dodawania innych kosztów, które potencjalnie mogą wystąpić. Takie wydatki miały miejsce w przypadku obydwu organizacji – manager IT organizacji A wskazał, że do kosztów operacyjnych należy dodać koszt corocznego ubezpieczenia serwerowni. Taki wydatek organizacja popełnia co roku na wypadek kradzieży lub awarii po okresie gwarancyjnym. Manager organizacji B zwrócił uwagę na aspekt inwestycji w sprzęt twierdząc, że w jego ocenie to nie jest tylko jednorazowy koszt inwestycyjny. Z jego doświadczenia wynika, że w sprzęt i jego amortyzację należy inwestować stale i że jeśli nawet nie ma świadomości, że jakieś wydatki będą musiały być poniesione, to dobrze jest założyć pewną kwotę, jeśli decydujemy się na obliczenie TCO w perspektywie kilkuletniej. Manager IT organizacji B co roku w ramach planowania budżetu roku następnego, uwzględnia kwotę 10 000,00 zł na wymianę podzespołów i drobne naprawy, i jak twierdzi – taka suma co roku jest wydawana. Zatem w ramach wymagania funkcjonalnego (WF8) do prototypu kalkulatora ROI/TCO została dodana opcja zdefiniowania do kosztów inwestycyjnych CAPEX i operacyjnych OPEX dodatkowych wydatków, które może ponieść organizacja. W ostatecznym artefakcie, który w procesie badawczym, zgodnie z DSR, był tworzony w sposób iteracyjny i inkrementacyjny. Takie podejście pozwoliło na jednoczesne weryfikowanie i ewaluowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO, gdzie istotna była obserwacja i pomiar, na ile dobrze artefakt wspomaga praktykę.

Podsumowując powyższe rozważania, czyli wnioski z przeprowadzonego warsztatu symulacyjnego, w tym obserwacje i pomiar, na ile dobrze artefakt może wspomóc praktykę, autorka niniejszej dysertacji wraz z obecnymi na warsztacie menedżerami IT, jednoznacznie stwierdzili, że wdrożenie technologii wirtualizacji zapewnia bardziej efektywne

---

<sup>346</sup> <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ceny-energii-elektrycznej-dla-firm-2023--kto-w-tym-roku-zaplaci-mniej-za-prad>, z dn. 2023.06.12.

wykorzystanie zasobów informatycznych przedsiębiorstwa, uznając prototyp kalkulatora ROI/TCO za narzędzie, dzięki któremu pomiar tej efektywności jest możliwy. Jednak kalkulator wymaga pewnych usprawnień, które pozwolą na obliczenie całkowitego kosztu posiadania TCO i wskaźnika zwrotu z inwestycji ROI w sposób jeszcze bardziej precyzyjny.

#### **4.7. Walidacja artefaktu**

Ostatnim krokiem przyjętej linii badań zgodnej z DSR jest walidacja artefaktu, czyli ocena dokonana przez badaczkę gotowego prototypu pod względem trafności, użyteczności, skuteczności, efektywności oraz trwałości.

Aby dokonać walidacji prototypu kalkulatora ROI/TCO, autorka niniejszej dysertacji przeprowadziła ponowną analizę porównawczą na podstawie zebranego materiału badawczego w stworzonym i opisanym w dysertacji artefakcie, który został wzbogacony o dwa dodatkowe wymagania funkcjonalne (WF7, czyli uwzględnienie wskaźnika inflacji lub deflacji, aby precyzyjnie wyliczyć TCO w perspektywie 3-6 lat oraz WF8, czyli założenie, że dane wejściowe prototypu kalkulatora ROI/TCO powinny być zbiorem otwartym, aby w każdym momencie móc dodać niezbędny koszt CAPEX lub OPEX, który ma wpływa na wyliczenie całkowitego kosztu posiadania TCO i wskaźnik ROI). Podstawą analizy porównawczej jest ponownie szczegółowa charakterystyka posiadanej infrastruktury oraz popełnianych kosztów jej funkcjonowania (tabela 4.20 i tabela 4.21).

To czego nie uwzględniał żaden z analizowanych w podrozdziale 1.1 kalkulatorów ROI/TCO, a co zostało poddane dyskusji w czasie warsztatu symulacyjnego, to współczynnik inflacji i deflacji (wymaganie funkcjonalne WF7). Inflacja, tudzież deflacja jest istotnym wskaźnikiem potrzebnym przy precyzyjnym wyliczeniu inwestycji w czasie. Tak jak to było już zostało wskazane w niniejszej pracy – ROI przez swoich przeciwników uważany jest za metodę mało przydatną i niedokładną metodę pomiaru<sup>347</sup>, głównie ze względu na statyczny charakter, wiążący się z nieuwzględnianiem zmian wartości pieniądza w czasie. Wspomniana zmiana zostanie zatem uwzględniona poprzez wzięcie pod uwagę aktualnego współczynnika inflacji lub deflacji (tabela 4.40).

---

<sup>347</sup> E. Syska, *Jak nie liczyć ROI...*, *op. cit.*

**Tabela 4.40. Dane wejściowe – dodatkowe informacje (walidacja artefaktu)**

Lp.	Dane wejściowe		Organizacja A	Organizacja B
1	Liczba GB potrzebnej pamięci	Serwer fizyczny	700	500
		Serwer wirtualny	150	60
2	Koszt 1 GB pamięci		20zł	0zł
3	Koszt przełącznika sieciowego		6 000zł	6 000zł
4	Koszt szkolenia/konsultingu/outsourcingu		12 000zł	0zł
5	Koszt likwidacji sprzętu		0zł	1 500zł
6	Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)		500W	300W
7	Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)		600W	300W
8	Koszt 1 kWh energii elektrycznej		0,77zł	0,77zł
9	Średni czas przestoju w skali roku (h)	Serwer fizyczny	56	10
		Serwer wirtualny	40	3
10	Powierzchnia data center (m <sup>2</sup> )		12	6
11	Koszt dzierżawy 1 m <sup>2</sup> powierzchni data center		0zł	0zł
12	Liczba administratorów		2	1,5
13	FTE (%)	Serwer fizyczny	27%	15%
		Serwer wirtualny	13%	10%
14	Średnia pensja administratora (brutto)		7 000zł	8 000zł
15	Współczynnik inflacji/deflacji		+17,9%	+17,9%
16	Ramy czasowe TCO		3	3

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Sam sposób (algorytm) wyliczania poszczególnych kosztów powinien być jasny i przejrzysty, a przede wszystkim adekwatny do realiów danej organizacji, jak również do zmieniającej się wartości pieniądza w czasie. W czasie warsztatu symulacyjnego managerowie IT jednoznacznie stwierdzili, że lista kosztów inwestycyjnych i operacyjnych nie może być zamknięta. Zasugerowali, aby narzędzie było w pełni elastyczne i aby możliwym było identyfikowanie innych kosztów, które potencjalnie mogą wystąpić, a które w tej chwili są trudne do identyfikacji. Zatem taka możliwość została dodana w ostatecznym artefakcie (wymaganie funkcjonalne WF8), w którym zgodnie z przyjętą klasyfikacją, zostały wskazane następujące rodzaje kosztów i algorytmy wyliczające poszczególne wartości (tabela 4.41).

**Tabela 4.41. Prototyp kalkulatora TCO według autorki dysertacji (walidacja artefaktu)**

TCO		
CAPEX	Koszty sprzętu	liczba serwerów * średni koszt serwera
	Koszty oprogramowania	koszt licencji oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt licencji oprogramowania serwera hosta + koszt licencji oprogramowania serwera VM + koszt licencji "stron trzecich" wraz z integracją
	Koszty pamięci masowej	(liczba serwerów hosta * zapotrzebowanie na pamięć dla serwera hosta + liczba VM * zapotrzebowanie na pamięć dla VM) * średni koszt 1 GB pamięci
	Koszty sprzętu sieciowego	liczba serwerów * liczba portów sieciowych na serwer / liczba portów na przełącznik sieciowy [wartość zaokrąglona w górę] * koszt przełącznika sieciowego
	Koszty szkoleń i konsultingu	koszt szkolenia i konsultingu
	Koszty likwidacji sprzętu	koszt likwidacji sprzętu
	Inne	
OPEX	Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania	((liczba serwerów * średni koszt wsparcia) + koszt wsparcia oprogramowania wirtualizacyjnego + koszt wsparcia oprogramowania VM + koszt wsparcia systemu "stron trzecich") * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty zasilania i chłodzenia	liczba serwerów * (średnie zapotrzebowanie na zasilanie + średnie zapotrzebowanie na chłodzenie) * liczba godzin pracy w skali roku z uwzględnieniem przestojów / 1000 * koszt 1 kWh energii elektrycznej * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty wynajem data center	całkowita powierzchnia data center * koszt wynajem m <sup>2</sup> data center * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Koszty administracji systemu	(liczba serwerów hosta * FTE na jeden serwer hosta + liczba VM * FTE na jeden VM) * liczba administratorów * średnia roczna pensja administratora * liczba lat z uwzględnieniem współczynnika inflacji lub deflacji
	Inne	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18; <https://www.vmguru.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12; <http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21; <https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

Wprowadzone w czasie warsztatu symulacyjnego usprawnienia nie mają wpływu na identyfikację kosztów inwestycyjnych w przypadku organizacji A i B, zatem zostają one bez zmian. Jednak uwzględnienie współczynnika inflacji, jak również dodatkowych kosztów operacyjnych (ubezpieczenie serwerowni i amortyzacja sprzętu) ma duży wpływ na ostateczną kalkulację OPEX. Zatem po uwzględnieniu powyższych usprawnień, prototyp kalkulatora generuje następujące dane (tabela 4.42).

**Tabela 4.42. Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu)**

Koszty wsparcia	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Cena wsparcia (średnia)	1 750,00 zł	1 750,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (hosta)	10 500,00 zł	33 250,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (VM)	800,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania wirtualizacyjnego	2 666,66 zł	0,00 zł
Wsparcie systemu "stron trzecich"	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 1.	13 966,66 zł	33 250,00 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 2.	16 466,69 zł	39 201,75 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 3.	19 414,23 zł	46 218,86 zł
Suma kosztów wsparcia (3 lata)	49 847,58 zł	118 670,61 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Cena wsparcia (średnia)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (hosta)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania serwera (VM)	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie oprogramowania wirtualizacyjnego	0,00 zł	0,00 zł
Wsparcie systemu "stron trzecich"	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 1.	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 2.	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia - rok 3.	0,00 zł	0,00 zł
Suma kosztów wsparcia (3 lata)	0,00 zł	0,00 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Podobnie przy obliczaniu kosztów zasilania i chłodzenia na podstawie liczby serwerów, deklarowanej niezbędnej mocy na zasilanie i chłodzenie, i ceny za kilowatogodzinę<sup>348</sup> z uwzględnieniem przestojów w ciągu całego roku, zostaje również wzięty pod uwagę współczynnik inflacji/deflacji (tabela 4.43).

<sup>348</sup> Do obliczeń została przyjęta cena 0,77 PLN za 1 kWh obowiązująca w Polsce dla odbiorców niebędących gospodarstwami domowymi w drugiej połowie 2022 roku. Cena została przyjęta na podstawie danych statystycznych Eurostat: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics), z dn. 2023.06.12. Autorka dysertacji przeliczyła wartość na PLN zgodnie z kursem NBP z dn. 2023.03.13: 1 EUR = 4,6848 PLN.

**Tabela 4.43. Koszty zasilania i chłodzenia – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu)**

Koszty zasilania i chłodzenia	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	500	500
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	600	600
Liczba godzin pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestoju (h)	8704	8704
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW)	57446,4	181913,6
Koszt 1 kWh energii elektrycznej	0,77 zł	0,77 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 1.	44 233,73 zł	140 073,47 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 2.	52 151,57 zł	165 146,62 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 3.	61 486,70 zł	194 707,87 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia (3 lata)	157 871,99 zł	499 927,96 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Średnie zapotrzebowanie na zasilanie (W)	300	300
Średnie zapotrzebowanie na chłodzenie (W)	300	300
Liczba godzin pracy serwera w skali roku z uwzględnieniem przestoju (h)	8750	8750
Całkowite zapotrzebowanie na energię (kW)	47250	241500
Koszt 1 kWh energii elektrycznej	0,77 zł	0,77 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 1.	36 382,50 zł	185 955,00 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 2.	42 894,97 zł	219 240,95 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia - rok 3.	50 573,17 zł	258 485,07 zł
Suma kosztów zasilania i chłodzenia (3 lata)	129 850,63 zł	663 681,02 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W kolejnym kroku prototyp kalkulatora wskazał koszty wynajmu data center przez cały okres wskazany w ramach czasowych. Obie organizacje posiadają jednak serwerownie w ramach własnej powierzchni biurowej, co nie generuje dodatkowych kosztów z tego tytułu. Następnie zostają oszacowane koszty administracji systemu z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków ewentualnej awarii. Wyczerpania biorą pod uwagę liczbę serwerów fizycznych i wirtualnych, liczbę administratorów w danej organizacji oraz ich zaangażowanie czasowe w infrastrukturę. Dane zostaną zestawione ze średnimi rocznymi zarobkami brutto w danej organizacji na stanowisku administratora systemu. Wszystkie obliczenia są wskazane z uwzględnieniem współczynnika inflacji/deflacji (tabela 4.44).

**Tabela 4.44. Koszty administracji systemu – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu)**

Koszty administracji systemu	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
<b>Organizacja A</b>		
Liczba serwerów (hostów)	6	19
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	17	0
FTE	13%	27%
Liczba administratorów	2	2
Średnia roczna pensja administratora	84 000,00 zł	84 000,00 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 1.	67 200,00 zł	143 640,00 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 2.	79 228,80 zł	169 351,56 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 3.	93 410,76 zł	199 665,49 zł
Suma kosztów administracji systemu (3 lata)	239 839,56 zł	512 657,05 zł
<b>Organizacja B</b>		
Liczba serwerów (hostów)	9	46
Liczba serwerów wirtualnych (VM)	40	0
FTE	10%	15%
Liczba administratorów	1,5	1,5
Średnia roczna pensja administratora	96 000,00 zł	96 000,00 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 1.	36 000,00 zł	110 400,00 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 2.	42 444,00 zł	130 161,60 zł
Suma kosztów administracji systemu - rok 3.	50 041,48 zł	153 460,53 zł
Suma kosztów administracji systemu (3 lata)	128 485,48 zł	394 022,13 zł

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Prototyp kalkulatora ROI/TCO finalnie identyfikuje następujące koszty OPEX (tabela 4.45), biorąc pod uwagę również inne, wcześniej niezidentyfikowane wydatki takie jak ubezpieczenie serwerowni i amortyzację sprzętu.

**Tabela 4.45. Koszty OPEX (3 lata, walidacja artefaktu)**

OPEX	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
Koszty wsparcia	49 847,58 zł	118 670,61 zł
Koszty zasilania i chłodzenia	157 871,99 zł	499 927,96 zł
Koszty wynajem data center	0,00 zł	0,00 zł
Koszty administracji systemu	239 839,56 zł	512 657,05 zł
Inne (koszt dodatkowego ubezpieczenia serwerowni)	15 000,00 zł	47 500,00 zł
<b>Suma OPEX (3 lata)</b>	<b>462 559,13 zł</b>	<b>1 131 255,63 zł</b>
Organizacja B		
Koszty wsparcia	0,00 zł	0,00 zł
Koszty zasilania i chłodzenia	129 850,63 zł	663 681,02 zł
Koszty wynajem data center	0,00 zł	0,00 zł
Koszty administracji systemu	128 485,48 zł	394 022,13 zł
Inne (koszt amortyzacji sprzętu)	30 000,00 zł	153 333,33 zł
<b>Suma OPEX (3 lata)</b>	<b>288 336,11 zł</b>	<b>1 211 036,48 zł</b>

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Całkowity koszt funkcjonowania TCO zostaje wyliczony poprzez dodanie kosztów inwestycyjnych CAPEX i operacyjnych OPEX (tabela 4.46).

**Tabela 4.46. Całkowite TCO (3 lata, walidacja artefaktu)**

TCO	Wirtualizacja	Fizyczna infrastruktura
Organizacja A		
CAPEX	766 800,00 zł	1 945 466,67 zł
OPEX	462 559,13 zł	1 131 255,63 zł
<b>Suma TCO (3 lata)<sup>349</sup></b>	<b>1 229 359,13 zł</b>	<b>3 076 722,29 zł</b>
Organizacja B		
CAPEX	447 500,00 zł	781 144,44 zł
OPEX	288 336,11 zł	1 211 036,48 zł
<b>Suma TCO (3 lata)</b>	<b>735 836,11 zł</b>	<b>1 992 180,92 zł</b>

Źródło: Na podstawie badań własnych.

W przypadku organizacji A całkowity koszt posiadania (przez 3 lata) wirtualnej infrastruktury  $TCO_3^w$  wyniósł 1 229 359,13 zł (w poprzedniej estymacji było to 1 143 001,16 zł). Gdyby jednak organizacja zdecydowała się pozostać tylko przy fizycznym środowisku IT to całkowite  $TCO_3^f$  wyniosłoby 3 076 722,29 zł (w stosunku do wcześniejszych 2 896 357,08 zł), co oznacza, że zysk netto z zastosowania technologii wirtualizacji  $Z_3$  jest równy

<sup>349</sup> TCO = CAPEX + OPEX.



1 847 363,17 zł (wcześniej było to 1 753 355,92 zł). Po obliczeniu początkowego nakładu inwestycyjnego  $NI_0$  równego wydatkom inwestycyjnym CAPEX i uwzględnieniu wzoru (5) można obliczyć wskaźnik ROI, który wyniósł 140,92% (poprzednio 128,66%), co daje zwrot z inwestycji w ciągu 15 miesięcy. Natomiast w przypadku organizacji B całkowity koszt posiadania (przez 3 lata) wirtualnej infrastruktury  $TCO_3^w$  jest równy 735 836,11 zł (w poprzedniej estymacji było to 664 647,50 zł), zaś fizycznej  $TCO_3^f$  (gdyby nie doszło do wirtualizacji) wyniósłby 1 992 180,92 zł (poprzednio 1 670 209,44 zł), co daje zysk netto  $Z_3$  w wysokości 1 256 344,81 zł (wcześniej było to 1 005 561,94 zł). Wskaźnik ROI wyniósł zatem 180,75% (poprzednio 124,71%). Zgodnie z tą kalkulacją inwestycja zwróci się po 13 miesiącach (tabela 4.47).

**Tabela 4.47. Wskaźnik ROI (3 lata, walidacja artefaktu)**

ROI	
Organizacja A	
Zysk przyniesiony przez inwestycję $Z_3$	1 847 363,17 zł
Początkowy nakład inwestycyjny $NI_0$	766 800,00 zł
Zwrot z inwestycji ROI	140,92%
Czas zwrotu z inwestycji	15 msc
Organizacja B	
Zysk przyniesiony przez inwestycję $Z_3$	1 256 344,81 zł
Początkowy nakład inwestycyjny $NI_0$	447 500,00 zł
Zwrot z inwestycji ROI	180,75%
Czas zwrotu z inwestycji	13 msc

Źródło: Na podstawie badań własnych.

Po uwzględnieniu dodatkowych wymagań do prototypu kalkulatora ROI/TCO i dokonaniu ponownych obliczeń, nadal wdrożenie technologii wirtualizacji w obydwu przypadkach okazało się opłacalne – w przypadku organizacji A czas zwrotu z inwestycji skrócił się z 16 na 15 miesięcy, zaś w kalkulacji B inwestycja zwróciła się w 13. miesiącu, co stanowi 4 miesiące szybciej w porównaniu z poprzednimi kalkulacjami. Oznacza, to, że dodanie dodatkowych kosztów operacyjnych i współczynnika (inflacji/deflacji), który ten koszt zwiększy, zwiększa tym samym estymowane koszty dla infrastruktury fizycznej. Zatem początkowy nakład inwestycyjny pozostał bez zmian, zwiększył się jednak zysk przyniesiony przez inwestycję w zadanym czasie. To spowodowało wzrost współczynnika zwrotu z inwestycji ROI i skrócenie czasu zwrotu z tejże inwestycji.

Dokonane zmiany i usprawnienia w prototypie kalkulatora ROI/TCO, nie mają wpływu na wyliczenia dotyczące oszczędności ekologicznej osiągniętej przez badane organizacje z tego tytułu (tabela 4.25).

W niniejszym podrozdziale autorka niniejszej dysertacji dokonała walidacji prototypu kalkulatora ROI/TCO. Na podstawie wniosków z warsztatu demonstracyjnego dokonana została ewaluacja artefaktu i na bazie zdefiniowanych nowych wymagań funkcjonalnych powstał w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, zgodnie z DSR, nowy prototyp kalkulatora ROI/TCO. Samo narzędzie w takiej formie jest gotowe, aby wyliczać potencjalny zysk lub stratę jaki osiągnie lub utraci organizacja po inwestycji w technologię wirtualizacji. Kalkulator jest na tyle uniwersalny, że jest ponadto możliwa estymacja zysku (lub straty) w inwestycję w usługi chmurowe. Jednak skupienie się na opracowaniu prototypu kalkulatora ROI/TCO do oceny efektywności wirtualizacji, wskazanie analiz porównawczych efektywności zastosowania wirtualizacji technologii informatycznych w organizacjach, pozwoliło osiągnąć zdefiniowane w niniejszej dysertacji cele badawcze. Walidacja artefaktu była też ostatnim krokiem w przyjętej w pracy linii badań, zgodnej z podejściem DSR.

Cały proces badawczy kończy się opracowaniem implikacji teoretycznych i praktycznych. W ramach implikacji teoretycznych, czyli opracowań naukowych i artykułów, oprócz już opublikowanych prac z zakresu efektywności technologii wirtualizacji, do bazy wiedzy należy dodać i do publicznej krytyki poddać sam artefakt – prototyp kalkulatora ROI/TCO. Dodatkowo jak to już zostało wskazane w niniejszej dysertacji, w celu sprawdzenia użyteczności zaproponowanego artefaktu w praktyce i implikacji praktycznych, należy zastosować zbudowany artefakt w praktyce społeczno-gospodarczej. Dlatego też w ramach implikacji praktycznych opracowany w procesie badawczym artefakt został udostępniony w postaci pliku Excel wraz z instrukcją obsługi wszystkim respondentom. Prototyp kalkulatora powinien pozwolić organizacjom społeczno-gospodarczym na prawidłową ocenę efektywności dokonywanych przez nich inwestycji w technologię wirtualizacji, bądź w usługi CC oparte o technologię wirtualizacji. Dzięki czemu można założyć, że prototyp kalkulatora ROI/TCO powinien ułatwić badanym organizacjom skuteczniej i efektywniej podejmować decyzje inwestycyjne. Zgodnie z przyjętym podejściem DSR, autorka opracowała oryginalne rozwiązanie naukowe i narzędzie użyteczne dla praktyków (czyli artefaktu). Zatem dzięki zastosowaniu DSR w linii badań, autorka podjęła praktyczne wyzwania, jednocześnie wnosząc wkład zarówno w praktykę, jak i teorię.

## Zakończenie

Technologią wirtualizacji posługują się obecnie wszyscy kluczowi dostawcy aplikacji, sprzętu i rozwiązań sieciowych IT. To pochodna wielu korzyści płynących z tego rozwiązania, jak również odpowiedź na trudności ekonomiczne, które wymagają zwiększania oszczędności i efektywności w wykorzystaniu środowiska IT. Wszyscy decydenci IT powinni rozważyć konsolidację i wirtualizację, bądź przejście do chmury obliczeniowej, jako kolejny etap rozwoju w zarządzanych przez siebie infrastrukturach. Konieczne jednak jest właściwe przygotowanie się do tego procesu, w szczególności od strony organizacyjnej, przyjmując jeszcze przed implementacją strategię wdrożenia, która pozwoli wyznaczyć drogę do osiągnięcia pożądanego celu. Jednak pomimo popularności wirtualizacji, wdrożenia tej technologii nie są poprzedzane planem działania, symulacjami, czy kosztorysami (jedynie koszt inwestycyjny bez wskazania potencjalnych oszczędności z tytułu wdrożenia wirtualizacji), co wskazuje na działania ad hoc w tym zakresie.

Autorka w niniejszej dysertacji oparła linię badań o metodykę badań projektowych **DSR** zaproponowaną przez A. Hevnera. DSR to podejście do badań naukowych, które zakłada, że na podstawie wiedzy naukowej, wiedzy środowiska gospodarczego determinującego przedmiot badań, generowana jest nowa, oryginalna wiedza, uzupełniająca zasoby wiedzy uprzedniej, ale równocześnie mająca znaczenie i użyteczna dla przedstawicieli praktyki gospodarczej. W konsekwencji przyjęcia podejścia DSR, autorka zdefiniowała pięć głównych kroków badawczych, a w rezultacie stworzyła artefakt – oryginalne rozwiązanie naukowe i narzędzie użyteczne dla praktyków:

1. Badania literaturowe, wywiady i przegląd dostępnych kalkulatorów ROI/TCO
2. Wnioski z badań zakończone zdefiniowaniem wymagań funkcjonalnych artefaktu.
3. Opis artefaktu - prototypu kalkulatora ROI/TCO.
4. Ewaluacja artefaktu podczas warsztatu demonstracyjnego (symulacyjnego).
5. Walidacja gotowego prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Celem przeglądu stanu wiedzy i literatury (krok pierwszy przyjętej linii badań) było pozyskanie oraz usystematyzowanie wiedzy dostępnej w literaturze krajowej i zagranicznej na temat wirtualizacji – jej definicji, klasyfikacji, zastosowań, a także znaczenia w pojęciach **Cloud Computingu, Green Computingu, CSR i ESG**. Cel ten został osiągnięty przez analizę literatury przedmiotu, jakiej dokonano w części teoretycznej, przedstawionej w rozdziale pierwszym, drugim i trzecim. Przegląd literatury z zakresu wirtualizacji pozwala

stwierdzić, że publikacje poruszające temat lub prezentujące wyniki badań, dotyczące wirtualizacji, zwłaszcza w ujęciu ekonomicznym i ekologicznym, są nieliczne. Tematy poruszane w publikacjach polskojęzycznych i anglojęzycznych dotyczą głównie aspektów technologicznych wirtualizacji – klasyfikacji typów architektury tej technologii, dostępnych rozwiązań wirtualizacyjnych na rynku IT oraz zastosowań wirtualizacji na płaszczyźnie hardware-owym (np. serwer i desktop) i software-owym (np. aplikacja i prezentacja). Niewiele istnieje również opracowań dotyczących strategii wdrażania rozwiązań wirtualizacyjnych, a te dostępne dotyczą jedynie zasobów serwerowych. Nie traktują infrastruktury IT jako całościowego, kompletnego środowiska, które należy poddać migracji. Zatem analiza literatury z tego zakresu pozwoliła stwierdzić, że przedstawione w publikacjach poglądy autorów różnią się od siebie, zawierają luki, a nawet niejednoznaczności. Ten fakt pozwolił usystematyzować i skatalogować wiedzę w tym zakresie, co zostało uczynione w niniejszej dysertacji w rozdziale pierwszym i drugim. To pozwoliło na osiągnięcie pierwszego z celów pośrednich, czyli wykonania analizy uwarunkowań i determinantów, istotnych w technologii wirtualizacji i procesach jej implementacji w infrastrukturę IT organizacji.

Niezmiernie ważnym aspektem, z perspektywy efektywności wirtualizacji, są wymierne skutki wdrożenia technologii w infrastrukturę. Dostępna literatura z tego zakresu jest ograniczona, a żadne ze znanych autorce niniejszej dysertacji badań (poza jej własnymi publikacjami) nie wskazuje jak efektywność technologii wirtualizacji można wyliczyć. W literaturze można znaleźć jedynie informację, że **kalkulatory ROI/TCO** istnieją i jest możliwe dokonanie na nich pewnych symulacji. Zatem istotne było opisanie, w rozdziale trzecim, wskaźników ROI oraz TCO w ujęciu technologii wirtualizacji oraz przedstawienie, w rozdziale czwartym, narzędzi (kalkulatorów ROI/TCO) i wykazanie, że technologię wirtualizacji można badać nie tylko od strony technicznej, ale również ekonomicznej z wymiernym wskazaniem jej zastosowania. To pozwoliło na osiągnięcie drugiego celu pośredniego jakim było wykonanie analizy porównawczej istniejących kalkulatorów ROI/TCO, w celu wskazania punktów wspólnych oraz braków, jak również późniejszej unifikacji narzędzia.

Udowodniony w badaniach empirycznych brak świadomości wśród respondentów, iż technologie wirtualizacyjne wspierają „zielone IT” oraz CSR i ESG, wskazuje, że nadal brakuje dostępnych publikacji z tego zakresu. Niezbędne zatem jest uzupełnienie luki poznawczej w temacie wirtualizacji w kontekście Green Computingu, CSR oraz ESG. Te informacje zostały wskazane w podrozdziale 1.3. Natomiast badanie literatury z zakresu

zagadnienia Cloud Computingu wykazało, że autorzy poruszając ten temat skupiają się głównie na identyfikacji rodzajów chmur, a także korzyściach osiągniętych z tytułu stosowania usług CC. Niewiele jednak jest publikacji z zakresu wspierania chmur obliczeniowych przez technologię wirtualizacji, technicznego aspektu dostarczania usług w modelu CC, czy też wykorzystania wirtualizacji do budowania własnych, prywatnych chmur. Wiedza ta została uzupełniona w podrozdziale 1.4. Fakt, że wirtualizację można badać nie tylko od strony technologicznej, ekonomicznej, ale również ekologicznej, świadczy o holistycznym podejściu do tematu.

Badanie empiryczne, w kroku pierwszym przyjętej linii badań, miało na celu dokonanie analizy porównawczej istniejących kalkulatorów ROI/TCO, a przeprowadzone wśród respondentów wywiady, zaobserwowanie skutków wdrażania technologii wirtualizacji w środowisku informatycznym. Uzyskane wyniki w trakcie analizy zgromadzonego materiału badawczego posłużyły, m.in. do określenia efektów, korzyści oraz ograniczeń technologii wirtualizacji. Badania wykazały, iż technologia wirtualizacji pozwala działom IT optymalizować wykorzystanie komputerów i serwerów, zmniejszać koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej, redukować czas potrzebny na testowanie kompatybilności oprogramowania oraz zmniejszać ogólną złożoność systemu. Wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa również wydajność i podnosi poziom usług przedsiębiorstwa. Wirtualizacja zasobów informatycznych posiada szeroki wachlarz zastosowań. Swoje rozwiązania odnajduje nie tylko w stosunku do komputerów i serwerów, ale także aplikacji, prezentacji, sieci i pamięci. Każde z tych rozwiązań przynosi korzyści w zakresie organizacji IT.

Zgodnie z DSR, w kroku drugim, autorka niniejszej dysertacji zebrała wnioski wyciągnięte z zebranych materiałów teoretycznych i badań empirycznych. Podstawą stworzenia prototypu autorskiego kalkulatora ROI/TCO (artefaktu) była ocena funkcjonalności dostępnych kalkulatorów ROI/TCO, ich porównanie, wskazanie niejednoznaczności. Ostatnim źródłem wniosków było zestawienie doświadczeń projektowych menedżerów IT. Na tej podstawie autorka zidentyfikowała wymagania funkcjonalne prototypu kalkulatora ROI/TCO.

Zdefiniowanie artefaktu, czyli opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO, to trzeci krok przyjętej linii badań zgodnej z DSR. Narzędzie zostało stworzone w wersji prototypowej w arkuszu kalkulacyjnym Excel, posiada formularz na dane wejściowe, listy rozwijane z wartościami do wyboru, słowniki danych, a przede wszystkim zdefiniowane formuły opracowane zgodnie z przyjętymi algorytmami. Na tej podstawie kalkulator generuje dane

wyjściowe takie jak: TCO, ROI (zarówno jako wielkość procentowa, jak i zwrot z inwestycji w ujęciu czasowym) i poziom emisji dwutlenku węgla.

W ramach kroku czwartego prototyp kalkulatora ROI/TCO poddany został ewaluacji w czasie symulacji i warsztatów demonstracyjnych, które przeprowadzone zostały z dwoma wybranymi menedżerami IT, będącymi również respondentami w ramach przeprowadzonych badań empirycznych. Warsztaty polegały na prezentacji narzędzia wraz z symulacją obliczeń, czyli analizą porównawczą za pomocą prototypu. Wynikiem analizy była identyfikacja, dla wybranych organizacji poddanych badaniom empirycznym, wszystkich kosztów wdrożenia wirtualizacji, obliczenie TCO i ROI, sięgające w perspektywie od 3 do 6 lat do przodu, jak również poziom emisji CO<sub>2</sub>. Ponieważ artefakt, zgodnie z DSR, należy stworzyć w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny (co pozwala na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie), to na podstawie wniosków pozyskanych w trakcie warsztatu, dokonane zostały udoskonalenia konstrukcji artefaktu dla polepszenia jego efektywności. To spowodowało powrót do kroku drugiego i wskazanie nowych wymagań funkcjonalnych.

Ostatni krok przyjętej linii badań zgodnej z DSR to walidacja artefaktu, czyli ocena gotowego prototypu, która została dokonana przez autorkę pod względem trafności, użyteczności, skuteczności, efektywności oraz trwałości. Cała linia badań zakończyła się opracowaniem implikacji teoretycznych i praktycznych. Ponadto realizacja tego kroku oznacza osiągnięcie głównego celu dysertacji, którym było opracowanie prototypu kalkulatora ROI/TCO do oceny efektywności zastosowania technologii wirtualizacji, jak również jego późniejsza praktyczna weryfikacja, ewaluacja w wybranych organizacjach i walidacja.

Dla osiągnięcia wszystkich zakładanych celów poddano weryfikacji następującą hipotezę główną: **„Wdrożenie technologii wirtualizacji zapewnia bardziej efektywne wykorzystanie zasobów informatycznych przedsiębiorstwa”**. Hipoteza została uszczegółowiona i uzupełniona o trzy hipotezy pomocnicze, które następnie poddano weryfikacji na podstawie badań teoretycznych oraz empirycznych zrealizowanych w pięciu firmach, które wdrożyły technologię wirtualizacji we własną infrastrukturę IT:

- H1.** Kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji.
- H2.** Technologia wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computing oraz jest częścią polityki CSR i pojęcia ESG.
- H3.** Wirtualizacja jest wydajną metodą dostarczania usług w modelu Cloud Computing.

Zgodnie z pierwszą hipotezą pomocniczą **H1** zakładano, że kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji. Wyniki badań teoretycznych przedstawione w podrozdziale 3.2 wykazały, że zarówno analiza całkowitych kosztów posiadania (TCO), jak również zwrot z inwestycji (ROI) są wskaźnikami, które można zastosować do wyliczenia wymiernych korzyści z zastosowania technologii wirtualizacji. W podrozdziale 4.2 autorka dokonała przeglądu istniejących narzędzi, pokazując, że każde z nich jest odpowiednim narzędziem do skalkulowania kosztów inwestycyjnych CAPEX i operacyjnych OPEX oraz wskazania potencjalnych oszczędności lub strat. Na podstawie tej analizy opracowała założenia prototypu autorskiego kalkulatora ROI/TCO, który potem wykorzystywała do weryfikacji danych pozyskanych od organizacji w trakcie wywiadów. Samo narzędzie poddane zostało ewaluacji i walidacji. Ponadto badania empiryczne w podrozdziale 4.4.2 pokazały, że badanym organizacjom brakuje doświadczenia w tej dziedzinie, ponieważ nie posiadają praktycznej wiedzy i umiejętności pracy na kalkulatorach ROI/TCO, mimo że są to narzędzia bezpłatne i powszechnie dostępne.

Druga hipoteza badawcza **H2** zakładała, że technologia wirtualizacji działa w zgodzie z ideą Green Computing jak również, że jest częścią polityki CSR i pojęcia ESG. Wskazane kwestie zostały opisane w badaniach studialnych w podrozdziałach 1.3 oraz 3.1. Wnioski z badań empirycznych i przeprowadzonych wywiadów, zaprezentowane w podrozdziale 4.4.2 wykazały, że część respondentów dopiero w trakcie badania nabyła pełną świadomość czym jest „zielone IT”, a tym samym dowiedziała się, że ich działania, takie jak konsolidacja i wirtualizacja, korzystanie z usług CC, czy też optymalizacja wydruku, wpisują się w tę ideę. Zrozumienie omawianego tematu pozwoliło im potwierdzić, że wirtualizacja działa w zgodzie z ideą Green Computingu.

Trzecia hipoteza pomocnicza **H3** zakładała, że wirtualizacja jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu Cloud Computing. Zarówno badania teoretyczne w podrozdziale 1.4 oraz empiryczne w 4.4.2 jednoznacznie wskazały, że technologia maszyn wirtualnych wspiera model chmury obliczeniowej poprzez dostarczenie najbardziej wydajnego rozwiązania pod usługi CC, jak również poprzez możliwość budowania własnych chmur prywatnych. Jednoznaczna deklaracja wszystkich badanych firm, że będą kontynuowały ekspansję w stronę chmur, wskazuje, że będzie to kolejny krok do osiągnięcia wydajnych, elastycznych i bezpiecznych infrastruktur w ich organizacjach.

Potwierdzenie wszystkich hipotez pomocniczych w wyniku przeprowadzonych badań, jak również analiza oceny efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych w badaniach empirycznych w podrozdziale 4.4.2, oznacza prawdziwość głównej hipotezy postawionej w

niniejszej dysertacji. Zatem za prawdziwe można uznać stwierdzenie, iż wdrożenie technologii wirtualizacji zapewnia bardziej efektywne wykorzystanie zasobów informatycznych przedsiębiorstwa.

Jak to zostało już wskazane w niniejszej pracy, zdaniem A. Hevnera prowadzenie badań według paradygmatu DSR wymaga udzielenia odpowiedzi na 8 podstawowych pytań<sup>350</sup>, zaś przyjęta w dysertacji linia badań powinna wspierać poszukiwania odpowiedzi na te pytania. Zatem należy ponownie zweryfikować, czy autorce udało się odpowiedzieć na pytania postawione przez A. Hevnera.

### 1. Co jest problemem badawczym? Jakie są wymagania projektu?

Autorka niniejszej pracy dokonała poszukiwań problemów badawczych w środowisku praktyki społeczno-gospodarczej, a pytanie „Jakie są korzyści i ograniczenia efektów wdrażania technologii wirtualizacji w środowisko informatyczne przedsiębiorstwa?” było główną przesłanką poszukiwań badawczych oraz przedmiotem rozważań w ramach rozdziałów teoretycznych, jak również praktycznych. Tylko jasno sprecyzowany i postawiony problem badawczy, pozwolił w ramach dalszych badań naukowych, znaleźć i zidentyfikować luki badawcze, co na dalszym etapie umożliwiło opracowanie implikacji teoretycznych oraz praktycznych.

### 2. Co jest artefaktem? Jak artefakt jest przedstawiany?

Konstrukcja artefaktu została dokonana w oparciu o posiadaną przez autorkę wiedzę teoretyczną i praktyczną na bazie przeprowadzonych w niniejszej pracy badań. Artefaktem w dysertacji jest kalkulator ROI/TCO jako działający prototyp narzędzia. Kalkulator został stworzony w wersji prototypowej w arkuszu kalkulacyjnym Excel wraz z instrukcją obsługi.

### 3. Z czego procesy badawcze będą korzystać dla budowania artefaktów? Gdzie poszukiwane są artefakty?

Do budowania artefaktu w niniejszej dysertacji wprowadzone zostały badania teoretyczne (systematyczny przegląd wiedzy i literatury), jak również empiryczne (studium pięciu przypadków). Ponadto dokonana została analiza porównawcza pięciu dostępnych kalkulatorów

---

<sup>350</sup> <https://docplayer.pl/1535388-Seminarium-dla-doktorantow-paradygmat-badan-naukowych-hevnera-i-in.html>, z dn. 2023.06.12.



ROI/TCO w celu wypracowania jednego, zunifikowanego narzędzia, które na późniejszym etapie zostało poddane praktycznej weryfikacji i ewaluacji (podczas warsztatu symulacyjnego), a następnie walidacji.

4. Jak artefakty i procesy projektu są osadzone w bazie wiedzy? Czy istnieje teoria wspomagająca budowę artefaktów i proces projektowania (design)?

Zawarte w niniejszej pracy rozdziały teoretyczne wspomogły budowę artefaktu, czyli prototypu kalkulatora ROI/TCO. Iteracyjne doskonalenie proponowanego artefaktu zrealizowane zostało poprzez kolejne rozdziały teoretyczne dysertacji przywołujące definicję oraz teorię takich pojęć jak: wirtualizacja IT, Cloud Computing, Green Computing, jak również wskaźnik ROI i TCO oraz efektywność zastosowania technologii wirtualizacji. Analiza porównawcza komercyjnych kalkulatorów ROI/TCO wspomogła budowę artefaktu, poprzez wskazanie punktów wspólnych, ale również luk i niejednoznaczności. To pozwoliło na budowę pełnego, kompleksowego i zunifikowanego artefaktu, czyli prototypu kalkulatora ROI/TCO.

5. Jakie oceny artefaktów są dokonywane w wewnętrznym cyklu projektowym, jakie udoskonalenia działań projektowania artefaktów są dokonywane podczas każdego cyklu projektowego?

Prototyp kalkulatora ROI/TCO został stworzony w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, co pozwoliło na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie, gdzie istotna jest obserwacja i pomiar, na ile dobrze artefakt wspomógł praktykę. Sama ewaluacja odbyła się podczas warsztatu demonstracyjnego (symulacyjnego) z wybranymi organizacjami. Wnioski z warsztatu wprowadziły nowe wymagania funkcjonalne, które zostały uwzględnione. Następnie nastąpiła walidacja prototypu kalkulatora ROI/TCO, czyli ocena narzędzia pod względem trafności, użyteczności, skuteczności, efektywności oraz trwałości.

6. Jak artefakt jest wprowadzany w środowisko zastosowań i jak jest tam testowany? Jakie metryki są stosowane dla demonstrowania użyteczności artefaktów i dla doskonalenia wcześniej utworzonych artefaktów?

W celu sprawdzenia użyteczności zaproponowanego artefaktu w praktyce i w ramach implikacji praktycznych, autorka niniejszej pracy zbudowany artefakt wprowadziła w praktykę społeczno-gospodarczą poprzez warsztat demonstracyjny, czyli przedstawienie użycia

prototypu kalkulatora ROI/TCO na wybranych przykładach (na podstawie danych pozyskanych od respondentów w czasie wywiadów). Ponieważ sam artefakt został stworzony w procesie badawczym w sposób iteracyjny i inkrementacyjny, co pozwoliło na jednoczesne jego weryfikowanie i ewaluowanie, gdzie istotna jest obserwacja i pomiar, na ile dobrze artefakt wspomaga praktykę. Po otrzymaniu uwag i propozycji ulepszeń uwag autorka powróciła do etapu konstrukcji artefaktu dla udoskonalenia jego efektywności. Po walidacji autorka niniejszej dysertacji samo narzędzie (plik Excel razem z instrukcją obsługi) udostępniła wszystkim respondentom, zachęcając badane organizacje do dokonywania świadomych decyzji inwestycyjnych.

#### 7. Jaka nowa wiedza jest wprowadzana do bazy wiedzy (literatury) i w jakiej postaci?

Autorka niniejszej dysertacji wprowadziła do bazy wiedzy publikacje z zakresu efektywności technologii wirtualizacji poprzez tytuły: „*Całkowity koszt posiadania wirtualnej infrastruktury IT*”<sup>351</sup>, „*Wykorzystanie analizy TCO i wskaźnika ROI w pomiarze efektywności technologii wirtualizacji*”<sup>352</sup>, „*Znaczenie i wykorzystanie wskaźnika ROI w pomiarze efektywności wirtualizacji IT*”<sup>353</sup>. Dodatkowo w ramach implikacji teoretycznych, czyli opracowań naukowych i artykułów, oprócz opublikowanych już pracy z zakresu efektywności technologii wirtualizacji, do bazy wiedzy należy dodać i do publicznej krytyki poddać artefakt – prototyp kalkulatora ROI/TCO.

#### 8. Czy problem badawczy został właściwie zaadresowany? Czy znalazł odpowiednie grono interesariuszy w praktyce gospodarczej?

Opracowany artefakt pozwala organizacjom społeczno-gospodarczym na prawidłową ocenę efektywności dokonywanych przez nich inwestycji w technologię wirtualizacji, bądź w usługi CC, oparte o technologię wirtualizacji. Dzięki czemu można założyć, że prototyp kalkulatora ROI/TCO pozwala badanym firmom skuteczniej i efektywniej funkcjonować. Grono interesariuszy jest jednak o wiele szersze aniżeli badane podmioty, gdyż każda firma, która chce być świadoma ponoszonych kosztów na IT, może z narzędzia skorzystać (w celu wyliczenia TCO), zaś ta, która myśli o wdrożeniu technologii wirtualizacji we własne środowisko IT lub inwestycji w usługi Cloud Computing dodatkowo ma możliwość wyliczenia zwrotu kosztów

---

<sup>351</sup> N. Michałek, *Całkowity koszt...*, *op. cit.*

<sup>352</sup> N. Michałek, *Wykorzystanie analizy...*, *op. cit.*

<sup>353</sup> N. Michałek, *Znaczenie i wykorzystanie...*, *op. cit.*

z inwestycji (wyliczenie wskaźnika ROI). Ponadto każda z organizacji może zweryfikować w kalkulatorze poziom emisji dwutlenku węgla, a dane z estymacji zawrzeć w raportowaniu ESG.

Zatem opisana w niniejszej pracy linia badań i przeprowadzenie badań naukowych, zgodnie DSR, pozwoliło w rzetelny sposób odpowiedzieć na wszystkie powyższe pytania. Można zatem przyjąć metodę DSR za właściwą metodę badawczą do osiągnięcia celów postawionych w dysertacji, a zdefiniowany cel badawczy za osiągnięty. Zgodnie z przyjętym podejściem DSR, autorka opracowała oryginalne rozwiązanie naukowe i narzędzie użyteczne dla praktyków (prototyp kalkulatora ROI/TCO), co oznacza, że podjęła praktyczne wyzwania, jednocześnie wnosząc wkład zarówno w praktykę, jak i teorię.

## Bibliografia

- Adams K., Agesen O., *A comparison of software and hardware techniques for x86 virtualization*, International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, San Jose, CA, USA, 2006, s 2-3.
- Adnan F., *Workflow Scheduling for Service Oriented Cloud Computing*, Wydawnictwo VDM Verlaq, 2009, s. 1-124.
- Arora K. G., Kohli G., Ratta P., *Green Computing – Trends and Challenges*, International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology 4(2018), 2018, s. 326-329.
- Batorowska H., *Technologia informacyjna w kształceniu ogólnym*, Wydawnictwo i Poligrafia ZP, Kraków, 2001, s. 11.
- Batorowska H., *Wybrane zagadnienia nauki o informacji i technologii informacyjnej*, Wydawnictwo Naukowe WSP, 1996, s. 13.
- Biesiada D., Cichocki P., Kopacz T., Zass B., Żarski A., Zyliński M., *Windows Azure*, APN Promise, Warszawa 2016, s. 9.
- Blokdijk G., *SaaS 100 Success Secrets - How Companies Successfully Buy, Manage, Host and Deliver Software as a Service (Saas)*, Lulu.com, 2008, s. 24.
- Brzozowski M., *Ewolucja pojmowania wirtualności i definiowanie organizacji wirtualnej*, w: *Management Forum 2020: Nowoczesne koncepcje i metody zarządzania strategicznego*, SGH, Warszawa 2006, s. 2.
- Bytniewski A. (red.), *Systemy informatyczne a rozwój społeczeństwa informacyjnego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2013, s. 98, 148.
- Capra E., Merlo F., *Green IT: Everything starts from the software*, 17<sup>th</sup> European Conference on Information Systems, Verona 2009, s. 62-73.
- Cardoso E. A., *Microsoft System Center Virtual Machine Manager 2012. Poradnik praktyczny*, APN Promise, Warszawa 2013, s. 7.
- Carr N. G., *It doesn't matter*, Harvard Business Review, May 2003, s. 42.
- Ceruzzi P. E., *A History of Modern Computing*, MIT Press, 2003, s. 208.
- Chaffey D., *Digital Business i E-commerce Management*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016, s. 4, 15.
- Christopher M., *Enhancing Customer-Centric Supply Chains. How B2B e-Commerce Increases Customer Satisfaction and Drives Revenue Growth*, SCM World, 2010, s. 26.
- Costa P., Migliavacca M., Pietzuch P., Wolf A., *NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud*, 2<sup>nd</sup> USENIX Workshop on Hot Topics in Management of Internet, Cloud and Enterprise Networks and Services, 2012, s. 1.
- Daniels J., *Server virtualization architecture and implementation*, Magazyn Crossroads, Volume 16 Issue 1, September 2009, s. 8-12.
- Dębicka O., Winiarski J., *Zastosowanie systemów informatycznych we współczesnej gospodarce*, III Konferencja Naukowa InfoGlobMar 2010, Sopot 2010, s. 7-8.
- Dudycz H., *Porównanie metod badania efektywności przedsięwzięć informatycznych*, Prace Naukowe. Akademia Ekonomiczna w Katowicach, 2006, s. 77-85.
- Dudycz H., Dyczkowski M., *Procedura pomiaru i oceny efektywności przedsięwzięć informatycznych. Podstawowe problemy metodyczne*, w: *Informatyka – ocena efektywności*, H. Dudycz, M. Dyczkowski, J. S. Nowak (red.), Polskie Towarzystwo Informatyczne – Oddział Górnośląski, Katowice 2006, s. 33-34.

- Dunaj B. (red.), *Słownik współczesnego języka polskiego*, Wydawnictwo Przegląd Reader's Digest, Warszawa 1998.
- Dyczkowski M., *Analiza efektywności ekonomicznej zastosowania systemów klasy Business Intelligence w sektorze MŚP: podstawy metodyczne*, Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management T. 78, 2016, s. 22-33.
- Dyczkowski M., *Analiza efektywności ekonomicznej zastosowania systemu klasy FSM w optymalizacji łańcucha usług mobilnych. Podstawy metodyczne i studium przypadku*, Zeszyty Naukowe. Ekonomiczne Problemy Usług nr 67, 2011, s. 337-344.
- Dyczkowski M., *Badanie efektywności ekonomicznej informatycznych projektów e-biznesowych: założenia metodyczne i studia przypadków*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Ekonomiczne Problemy Usług nr 58. E-gospodarka w Polsce. Stan obecny i perspektywy rozwoju. Część II, 2010, s. 445-453.
- Dyczkowski M., *Źródła wiedzy wspomagania procesu zarządzania efektywnością zastosowań systemów klasy FSM/FFA w obszarze zarządzania publicznego*, Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach. Studia Ekonomiczne nr 99. Technologie wiedzy w zarządzaniu publicznym, 2012, s. 45-54.
- Dziembek D., *Cloud Computing – charakterystyka i obszary zastosowań w przedsiębiorstwach*, XIX konferencja „Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji”, marzec 2016, s.726, 730.
- Dziembek D., *Rozwiązania Cloud Computing we wspomaganiu strategii kodyfikacji wiedzy w organizacjach wirtualnych*, Informatyka Ekonomiczna 22/2011, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 2011, s. 123.
- Galley S. W., *PDP-10 Virtual machines*, ACM SIGARCH-SIGOPS Workshop on Virtual Computer Systems, 1969, s. 30–34.
- Gawin B., Winiarski J., Marcinkowski B., *Environmental, social, and corporate governance. From unascertainable statements to action plan*, w: Information Systems Development: Artificial Intelligence for Information Systems Development and Operations (ISD2022 Proceedings), Buchmann R. A. i in. (red.), Cluj-Napoca, Risoprint, 2022, s. 1-8.
- Goldberg R. P., *Architecture of virtual machines*. Honeywell Information Systems, Inc., Billerica, MA, 1973.
- Goldberg R. P., *Hardware requirements for virtual machine systems*, Hawaii International Conference on System Sciences, 1971.
- Goldberg R. P., *Virtual machines — Semantics and examples*, IEEE Computer Society Conference, 1971, s 141-142.
- Hevner A. R. i in., *Design Science in Information Systems Research*, MIS Quarterly28(1), 2004, s. 75–105.
- Hoffmann K., *Metoda ROI J. J. Philipsa w mierzeniu efektywności pracy zespołowej*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 230, 2015, s. 167.
- Jasińska K., Szapiro T., *Zarządzanie procesami realizacji projektów w sektorze ICT*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014, s. 9.
- Jennings R., *Cloud Computing with the Windows Azure Platform*, Wydawnictwo John Wiley & Sons, 2009, Part I, s. 3.
- Jusoh M. Y., Haron H., Kaur J., *A Conceptual Framework for BYOD to Support Green Computing in Public Sector*, International Journal Of Control Theory And Applications 10(07), International Science Press, 2017, s. 27.
- Juszczyk S., *Edukacja na odległość. Kodyfikacja pojęć, reguł i procesów*, Multimedialna Biblioteka Pedagogiczna, Wydawnictwo A. Marszałek, Toruń 2002.

- Kaczor K., *Scrum i nie tylko. Teoria i praktyka w metodach Agile*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020, s. 27-28, 43.
- Karwatka P. i in., *Technologia w ecommerce. Teoria i praktyka. Poradnik menedżera*, HELION, Gliwice 2013, s. 181-182, 673.
- Kisielnicki J., *Zarządzanie i informatyka*, Placet, 2014, s. 197.
- Kluk J., *Wybór strategii rozwoju modelu SaaS opartej na analizie TOWS/SWOT*, w: *Technologie informacyjne dla społeczeństwa*, Wyższa Szkoła Informatyczno-Ekonomiczna w Warszawie, Warszawa 2009, s. 21-40.
- Kosiński J., *Zarządzanie zasobami gridowymi z użyciem parawirtualizacji*, AGH w Krakowie, 2009, s. 38.
- Kozakiewicz R., Borzemski L., *Wykorzystanie wskaźnika ROI w ocenie efektywności inwestycyjnej projektu internetowego*, Multimedialne i sieciowe systemy informacyjne. Materiały konferencyjne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s. 313-322.
- Kreuter D., *Where server virtualization was born*, Virtual Strategy Magazine, July 2004.
- Krzykowski G., Syska E., *Zarządzanie informacją w decyzjach inwestycyjnych*, Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego, 2003, s. 321-332.
- Kubiak M., *Słownik technologii informacyjnej*, Wydawnictwo MIKOM, Warszawa 1999, s. 135.
- Kumaniński, *Słownik łacińsko-polski*, PWN, Warszawa 1981, s.540.
- Lech P., *Metodyka ekonomicznej oceny przedsięwzięć informatycznych wspomagających zarządzanie organizacją*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2007, s. 35, 74, 135.
- Lech P., *Przegląd metod oceny efektywności rozwiązań informatycznych wspierających zarządzanie*, w: *Badania Systemowe: Zastosowanie informatyki w nauce, technice i zarządzaniu*, J. Studziński, L. Drelichowski, O. Hryniewicz (red.), Instytut Badań Systemowych PAN, 2005, s. 35-45.
- Leoński W., *Wykorzystanie mediów społecznościowych w CSR*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach nr 300, 2016, s. 109.
- Lichstein H. A., *When should you emulate?*, Datamatlon 15, 1969, s. 205-210.
- Liderman K., *Bezpieczeństwo informacyjne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, s. 17.
- Lobel L., Brust A. J., Forte S., *Programowanie Microsoft SQL Server 2008. Tom 1 i 2*, Promise, 2016, s. 5.
- Malmmodin J., Lundén D., *The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015*, Sustainability 2018, 10(9), 2018.
- Mazurek G., *Znaczenie wirtualizacji marketingu w sieciowym kreowaniu wartości*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2012.
- Mendyk-Krajewska T., Mazur Z., Mazur H., *Konkurencyjność rozwiązań wirtualnych infrastruktury informatycznej*, Ekonomiczne Problemy Usług nr 113, 2014, s. 262-271.
- Michałek N., *Całkowity koszt posiadania wirtualnej infrastruktury IT*, w: *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Z. E. Zieliński (red.), Portal Innowacyjnego Transferu Wiedzy w Nauce, Kielce 2011.
- Michałek N., *Wykorzystanie analizy TCO i wskaźnika ROI w pomiarze efektywności technologii wirtualizacji*, w: *Zastosowanie systemów informatycznych we współczesnej gospodarce*, K. Kreft (red.), Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2011.
- Michałek N., *Znaczenie i wykorzystanie wskaźnika ROI w pomiarze efektywności wirtualizacji IT*, w: *Współczesna Gospodarka. Vol. 3 Issue 1 (2012) 1-11*, K. Kreft (red.), Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2012.

- Niemiec R., *Metoda Total Cost of Ownership oceny efektywności inwestycji informatycznych*, Zagadnienia Techniczno-Ekonomiczne T. 50, z. 2-3, 2005, s. 355-359.
- Nowicka K., *Wartość w modelu cloud computing*, w: *Przedsiębiorstwo przyszłości*, Warszawa 2013.
- Offermann P., Blom S., Schönherr M., Bub M., *Artifact types in information systems design science – A literature review*, Lecture Notes in Computer Science 6105, 2010, s. 77–92
- Orzoł I., *Znaczenie współczesnych technologii informacyjnych w zarządzaniu polskimi przedsiębiorstwami*, Konferencja KZZ Zakopane, 2010, s. 319-321.
- Palonka J., Porębska-Miąc T., *Koncepcja zwirtualizowanego modelu biznesowego dla MŚP*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 47.
- Paszkiel P., *Technologia Cloud Computing na rynku usług informatycznych*, w: *Rola informatyki w naukach ekonomicznych i społecznych. Innowacje i implikacje interdyscyplinarne*, Z. Zieliński (red.), Kielce 2010, s. 7-11.
- Pawlicz E., *E-turystyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, s. 19.
- Pedram M., *Green computing: reducing energy cost and carbon footprint of information processing systems*, in Proceedings of the 19<sup>th</sup> ACM Great Lakes symposium on VLSI, 2009.
- Popek G. J., Goldberg R. P., *Formal Requirements for Virtualizable Third Generation Architectures*, Communications of the ACM 17 (7), 1974, s. 412–421.
- Proszowska A., *CSR 2.0, czyli wykorzystanie mediów społecznościowych w kampaniach społecznej odpowiedzialności biznesu – studium przypadku z rynku polskiego*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 157, 2013, s. 64.
- Pulliam Phillips P., Phillips J. J., *Zwrot z inwestycji w szkolenia i rozwój pracowników*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2009, s. 37.
- Pyzik L., *Wirtualizacja na usługach e-learningu*, „e-mentor” nr 1(33), 2010, s. 48, 50.
- Ratajewski J., *Wybrane problemy metodologiczne informologii nauki (informacji naukowej)*, Prace Naukowe UŚ, Katowice, 1994.
- Rot A., Chrobak P., *Wirtualizacja infrastruktury informatycznej w środowisku akademickim. Studium przypadku z zastosowaniem technologii VDI*, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie nr 26, 2017, s. 167-177.
- Rysiewicz Z. (red.), *Słownik wyrazów obcych*, PIW, Warszawa, 1965.
- Rytelewska K., Siemieniuk N., Siemieniuk T., *Problematyka zastosowania wybranych metod kontroli kosztów usług informatycznych w przedsiębiorstwie*, w: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, R. Knosali (red.), Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Białymstoku, Białystok 2011, s. 307.
- Serafin M., *Wirtualizacja w praktyce*, HELION, Gliwice 2012, s. 9, 19, 59, 69, 97, 141, 153, 201, 215.
- Serjeant A., *Building a case for server consolidation*, VMWorld, Presentation, October 2005.
- Seroka-Stolka O., *Wiedza i świadomość ekologiczna w innowacyjnym przedsiębiorstwie*, w: *Wiedza i komunikacja w innowacyjnych organizacjach. Komunikacja elektroniczna*, M. Pańkowska (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2011, s. 399.
- Siwik L. i in., *Mobile Cloud for Parallel and Distributed Green Computing*, Journal of Telecommunications and Information Technology 4(17), Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy, 2017, s. 30-40.
- Smith J., Nair R., *Virtual Machines*, Morgan Kaufmann, 2005, s. 387, 391.

- Sobińska M., *Analiza finansowa outsourcingu informatycznego*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2004, s. 447.
- Sobińska M., *Zarządzanie outsourcingiem informatycznym*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2008, s. 56.
- Sołtysik A., *Rozwiązania wspierające wirtualizację we współczesnej organizacji*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 130-131.
- Stasiak A., Skowroński Z., *Wirtualizacja – kierunek rozwoju platform n-procesowych*, Przegląd telekomunikacyjny, rocznik LXXXI, nr 6/2008, s. 856.
- Syska E., *Jak nie liczyć ROI*, Serwis Gazeta-IT.pl, 2003.
- Sysło M., *Standardy przygotowania nauczycieli w zakresie technologii informacyjnej i informatyki*. Uniwersytet Wrocławski, 1998, s. 5-6.
- Szmit P., *Cloud computing historia, technologia, perspektywy*, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, 2012.
- Tanenbaum A. S., *Systemy operacyjne*, Wydawnictwo HELION, Gliwice 2015, s. 107, 667, 669-672, 682.
- Teixeira C., Azevedo R., Pinto J., Batista T., *User Provided Cloud Computing*, 10<sup>th</sup> IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing, May 2010.
- Varian M., *VM and the VM community: Past, present, and future*, Office of Computing and Information Technology, Princeton University, Princeton, NJ, 1997.
- Wasilewski A., Wróbel E., *Wybór systemu informatycznego z uwzględnieniem analizy efektywności inwestycyjnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005, s. 117.
- Whitaker A., Shaw M., Gribble S. D., *Denali: Lightweight virtual machines for distributed and networked applications*, University of Washington, 2002.
- Winiarski J., Marcinkowski B., *e-Commerce websites and the phenomenon of dropshipping: evaluation criteria and model*, Themistocleous M., Papadaki M., Kamal M. (red.), Information Systems: 17th European, Mediterranean, and Middle Eastern Conference, EMCIS 2020, Dubai, United Arab Emirates, November 25-26, 2020: proceedings. T. 402, 2020, s. 289–300.
- Wiśniewski M., *Różne oblicza Cloud Computing – czy chmura jest dla każdego?*, w: *Informatyka w społeczeństwie informacyjnym*, W. Chmielarz, J. Kisielnicki, T. Parys (red.), Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2015, s. 155.
- Wolny W., *Uwarunkowania rozwoju IASS, PAAS i SAAS – przegląd i analiza proponowanych rozwiązań we współczesnej organizacji*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 164-184.
- Wrycza S., Auksztol J., Gajda D., *Assessing the adoption of e-business in the region: A quantitative study*, European Conference on Information Systems 2007, s. 268.
- Zacher L. W. (red.), *Wirtualizacja. Problemy, wyzwania, skutki*, Wydawnictwo Poltext, Warszawa 2013.
- Żemigła M., *Społeczna odpowiedzialność biznesu w świetle analiz bibliometrycznych i opinii pracowników na temat równowagi między życiem zawodowym a prywatnym*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2013, s. 48, 55.
- Żurak-Owczarek C., *E-biznes w wymiarze globalnym i lokalnym. Analiza i próba oceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2013.



Żytniewski M., *Wirtualizacja zasobów informatycznych organizacji. Analiza metod i typów wirtualizacji oraz stosowanych standardów*, w: *Modele techniczno-społeczne wirtualizacji udostępniania na żądanie zasobów IT*, J. Palonka, M. Pańkowska, M. Żytniewski (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2016, s. 112-113, 115, 117, 120-121.

## Netografia

<http://blog.integratedsolutions.pl/wirtualizacja/kontenery-chca-podbic-swiat>, z dn. 2023.06.12.  
<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>, z dn. 2023.06.12.  
<http://download.microsoft.com/download/7/f/4/7f4004f7-c7eb-48c5-a0a7-dd7944a50e72/Whitepaper-Remote-Infrastructure-CoreIO-FY08.pdf>, z dn. 2019.10.21.  
<http://forcore.pl/pl/node/58>, z dn. 2023.06.12.  
<http://info.cern.ch>, z dn. 2023.06.12.  
<http://itfocus.pl/dzial-it/wirtualizacja/kliencki-hypervisor-vmware-kontra-citrix>, z dn. 2023.06.12.  
<http://parallels.com/tco>, z dn. 2011.08.18  
<http://tco.vmware.com/tcocalculator>, z dn. 2019.10.21.  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129538e.pdf>, z dn. 2023.06.12.  
[http://www.112it.pl/n/aktualnosci/technologie\\_kontenerowa\\_poczatek\\_konca\\_maszyn\\_wirtualnych](http://www.112it.pl/n/aktualnosci/technologie_kontenerowa_poczatek_konca_maszyn_wirtualnych), z dn. 2023.06.12.  
[http://www.3w-studio.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=35&Itemid=49](http://www.3w-studio.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=49), z dn. 2019.10.21.  
<http://www.appcore.com/types-cloud-computing-private-public-hybrid-clouds>, z dn. 2019.10.21.  
[http://www.computerworld.pl/artykuly/350420\\_0/Zielone.miliony.html](http://www.computerworld.pl/artykuly/350420_0/Zielone.miliony.html), z dn. 2023.06.12.  
[http://www.computerworld.pl/artykuly/352156\\_0/Gartner.zaczyna.sie.bitwa.o.kontrolę.nad.infrastuktura.IT.html](http://www.computerworld.pl/artykuly/352156_0/Gartner.zaczyna.sie.bitwa.o.kontrolę.nad.infrastuktura.IT.html), z dn. 2023.06.12.  
<http://www.computerworld.pl/artykuly/362618/Grupa.TP.zegluje.ku.cloud.computing.html>, z dn. 2023.06.12.  
<http://www.ekologia.pl/srodowisko/technologie/it-na-zielono,11083.html>, z dn. 2023.06.12.  
<http://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20180301STO98928/infografika-emisje-gazow-cieplarnianych-w-unii-europejskiej>, z dn. 2023.06.12.  
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1210613>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1454221>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=530109>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=777212>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/1826214>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2209615>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2603623>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2867917>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/3143521>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/newsroom/id/3482617>, z dn. 2019.10.21.  
<http://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>, z dn. 2023.06.12.  
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>, z dn. 2023.06.12.  
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020>, z dn. 2023.06.12.  
<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-strategic-technology-trends-for-2021>, z dn. 2023.06.12.  
<http://www.google.com>, z dn. 2023.06.12.  
<http://www.idg.pl/news/356868/Wiecej.wirtualizacji.centra.danych.w.chmurach.html>, z dn. 2023.06.12.

[http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie\\_wirtualizacji.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wykorzystywanie_wirtualizacji.mspix), z dn. 2019.10.21.

[http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/od\\_czego\\_zaczac.mspix](http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/od_czego_zaczac.mspix), w dn. 2019.10.21.

<http://www.microsoft.com/poland/osci/wirtualizacja/wirtualizacja.mspix>, z dn. 2019.10.21.

[http://www.networkworld.pl/artykuly/356868\\_0/Wiecej.wirtualizacji.centra.danych.w.chmurach.html](http://www.networkworld.pl/artykuly/356868_0/Wiecej.wirtualizacji.centra.danych.w.chmurach.html), z dn. 2023.06.12.

<http://www.obywatel.gov.pl>, z dn. 2023.06.12.

[http://www.odin.com/fileadmin/parallels/documents/hosting-cloud-enablement/pvc/whitepapers/TCO\\_Analysis\\_WP.pdf](http://www.odin.com/fileadmin/parallels/documents/hosting-cloud-enablement/pvc/whitepapers/TCO_Analysis_WP.pdf), z dn. 2019.10.21.

[http://www.ssk.com.pl/Zielone\\_IT/tabid/80/Default.aspx](http://www.ssk.com.pl/Zielone_IT/tabid/80/Default.aspx), z dn. 2019.10.21.

<http://www.tco.pl/?p=746>, z dn. 2023.06.12.

<http://www.virtualfocus.pl/raporty/cloud-computing/praktyczne-spojrzenie-cloud-computing>, z dn. 2019.10.21.

[http://www-05.ibm.com/pl/think/pdf/PL\\_0109\\_mini.pdf](http://www-05.ibm.com/pl/think/pdf/PL_0109_mini.pdf), z dn. 2019.10.21.

<https://archman.pl/najwazniejsze-trendy-technologiczne-w-2022-wg-gartnera>, z dn. 2023.06.12

<https://archman.pl/trendy-technologiczne-2021-przeglad-najwazniejszych-trendow-wg-gartnera>, z dn. 2023.06.12

<https://awstcalculator.com>, z dn. 2019.10.21.

<https://azure.microsoft.com/pl-pl/pricing/tco>, z dn. 2023.06.12.

<https://blogs.technet.microsoft.com/curiousgeorge/2008/06/16/microsoft-integrated-virtualization-roi-tool>, z dn. 2023.06.12.

<https://crn.pl/aktualnosci/gartner-wydatki-na-it-wzrosna-w-2023-r>, z dn. 2023.06.12.

<https://crn.pl/aktualnosci/w-polsce-brakuje-blisko-150-tys-specjalistow-it>, z dn. 2023.06.12.

<https://digitalandmore.pl/10-technologicznych-trendow-na-rok-2018-wedlug-gartnera>, z dn. 2019.10.21.

<https://docplayer.pl/1535388-Seminarium-dla-doktorantow-paradygmat-badan-naukowych-hevnera-i-in.html>, z dn. 2023.06.12.

[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics), z dn. 2023.06.12.

<https://environment.google/projects/announcement-100>, z dn. 2023.06.12.

<https://mypmr.pro/content/freeresources/19556/69091170b75856a7fc5128079a7e96d2bb86c773-Pdf>, z dn. 2023.06.12.

<https://nucleusresearch.com>, z dn. 2023.06.12.

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-125.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<https://pl.euro-linux.com/blog/efektywny-optimalny-oszczedny-dzieki-it>, z dn. 2023.06.12.

<https://serwisy.gazetaprawna.pl/nowe-technologie/artykuly/8666055,tendencje-w-branzy-nowych-technologii-co-czeka-zatrudnionych-w-it-w-2023-roku.html>, z dn. 2023.06.12.

<https://sjp.pwn.pl/szukaj/wirtualny.html>, z dn. 2023.06.12.

[https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/2/3/1/zuzycie\\_energii\\_w\\_gospodarstwach\\_domowych\\_w\\_2015\\_r..pdf](https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/2/3/1/zuzycie_energii_w_gospodarstwach_domowych_w_2015_r..pdf), dn. 2023.06.12.

<https://technet.microsoft.com/pl-pl/library/architektura-hyper-v.aspx>, z dn. 2023.06.12.

<https://trends.google.pl/trends>, z dn. 2023.06.12.

<https://vmware.valuestoryapp.com/vmwarecloud>, z dn. 2023.06.12.

<https://wynagrodzenia.pl/moja-placa/ile-zarabia-administrator-systemow-it>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.bureauveritas.pl/needs/iso-26000-przewodnik-esg-dla-firm>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ceny-energii-elektrycznej-dla-firm-2023--kto-w-tym-roku-zaplaci-mniej-za-prad>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.computerworld.pl/news/Wirtualizacja-i-elastyczna-infrastruktura-sieciowa,386023.html>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.computerworld.pl/news/Za-i-przeciw-wirtualizacji,403362.html>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.computerworld.pl/news/Zielona-linia,346484.html>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.fxmag.pl/artykul/Amazon-wyniki-IV-kwartal-2022-sprzedaz-online-amazon-web-services>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.gartner.com/en/articles/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2023>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-tech-trends>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.gartner.com/newsroom/id/503867>, z dn. 2019.10.21.

[https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne\\_do\\_raportowania\\_ESG.pdf](https://www.gpw.pl/pub/GPW/ESG/Wytyczne_do_raportowania_ESG.pdf), z dn. 2023.06.12.

[https://www.hpe.com/emea\\_europe/en/solutions/tco-calculators.html](https://www.hpe.com/emea_europe/en/solutions/tco-calculators.html), z dn. 2023.06.12.

<https://www.intel.pl/content/dam/www/public/emea/pl/pl/documents/guides/cloud-computing-private-cloud-infrastructure-as-a-service-guide-pl.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5604/htm>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.microsoft.com/pl-pl/cloud-platform/windows-server-pricing>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.pkn.pl/informacje/2013/09/iso-26000>, z dn. 2023.06.12.

[https://www.researchgate.net/publication/268291860\\_State-of-the-Art-of-Virtualization-its-Security-Threats-and-Deployment-Models](https://www.researchgate.net/publication/268291860_State-of-the-Art-of-Virtualization-its-Security-Threats-and-Deployment-Models), z dn. 2023.06.12.

<https://www.statista.com/statistics/242235/number-of-ebays-total-active-users>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.telko.in/download,8132,VMware+og%C5%82osi%C5%82o+wyniki+finansowe+z+a+pierwszy+kwarta%C5%82+roku+fiskalnego+2023.docx>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.vmg.ru/articles/vmware-citrix-parallels-microsoft-tco>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.vmware.com/company/sustainability/carbon-calculator.html>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/sustainability/vmware-greenit-virtualization-delivers-energy-carbon-emissions.pdf>, z dn. 2023.06.12.

<https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/whitepaper/vmware-tco-comparison-calculator-methodology-whitepaper.pdf>, z dn. 2023.06.12.

[https://www.vmware.com/pdf/roi/VMware\\_TCO\\_Calculator\\_Users\\_Guide.pdf](https://www.vmware.com/pdf/roi/VMware_TCO_Calculator_Users_Guide.pdf), z dn. 2019.10.21.

## Spis rysunków

Rysunek 1.1. Powiązanie branż IT .....	16
Rysunek 1.2. Funkcje ICT i skutki ich zastosowania w przedsiębiorstwie .....	34
Rysunek 1.3. Wykorzystywanie ICT w przedsiębiorstwie .....	36
Rysunek 1.4. Przykładowy proces konsolidacji serwerów .....	38
Rysunek 1.5. Klasyczna architektura, a wirtualizacja.....	40
Rysunek 1.6. Zainteresowanie w wyszukiwarce Google ideą Green IT i wirtualizacji.....	46
Rysunek 1.7. Model Cloud Computing.....	55
Rysunek 1.8. Zainteresowanie w wyszukiwarce Google ideą Cloud Computingu, Green IT i wirtualizacji.....	56
Rysunek 1.9. Wirtualizacja w modelu Cloud Computing.....	68
Rysunek 2.1. Obiekty wirtualne .....	72
Rysunek 2.2. Historia wirtualizacji – najważniejsze wydarzenia .....	77
Rysunek 2.3. Rozwiązanie osadzonego VMM w nadrzędnym systemie operacyjnym.....	81
Rysunek 2.4. VMM jako samodzielny zarządca.....	82
Rysunek 2.5. Hybrydowy VMM.....	83
Rysunek 2.6. Kontenerowa maszyna wirtualna .....	85
Rysunek 2.7. Dwie metody budowania rozwiązań hypervisorów .....	88
Rysunek 2.8. Klasyfikacja rozwiązań wirtualizacyjnych.....	92
Rysunek 2.9. Wirtualizacja serwera .....	101
Rysunek 2.10. Idei pracy w wirtualnym środowisku desktopów .....	102
Rysunek 2.11. Wirtualizacja desktopów .....	104
Rysunek 2.12. Wirtualizacja aplikacji.....	106
Rysunek 2.13. Wirtualizacja prezentacji.....	109
Rysunek 3.1. Wymiary koncepcji CSR.....	123
Rysunek 3.2. Ogólny schemat procesu analizy efektywności ekonomicznej metodami TCO i ROI.....	133
Rysunek 4.1. Linia badań.....	148
Rysunek 4.2. Ocena efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych .....	209
Rysunek 4.3. Korzyści i zalety z zastosowania technologii wirtualizacji.....	213
Rysunek 4.4. TCO i ROI w 3-6-letnim okresie analizy – organizacja A.....	238
Rysunek 4.5. TCO i ROI w 3-6-letnim okresie analizy – organizacja B.....	238

## Spis tabel

Tabela 1.1. 10 najważniejszych technologii na rok 2016 według Gartnera.....	21
Tabela 1.2. 10 najważniejszych technologii na rok 2017 według Gartnera.....	21
Tabela 1.3. 10 najważniejszych technologii na rok 2018 według Gartnera.....	24
Tabela 1.4. 10 najważniejszych technologii na rok 2019 według Gartnera.....	25
Tabela 1.5. 10 najważniejszych technologii na rok 2020 według Gartnera.....	26
Tabela 1.6. Najważniejsze technologie na rok 2021 według Gartnera .....	29
Tabela 1.7. Najważniejsze technologie na rok 2022 według Gartnera .....	31
Tabela 1.8. 10 najważniejszych technologii na rok 2023 według Gartnera.....	34
Tabela 1.9. Rodzaje chmur obliczeniowych .....	59
Tabela 2.1. Zestawienie technik wirtualizacji .....	98
Tabela 3.1. Przegląd kosztów modelu TCO z przykładowym ich rozkładem według B. Bujak .....	137
Tabela 3.2. Przegląd kosztów modelu TCO według K. Rytelwska i in. ....	138
Tabela 3.3. Przegląd kosztów modelu TCO według R. Niemiec.....	138
Tabela 3.4. Przegląd kosztów modelu TCO według autorki dysertacji .....	141
Tabela 4.1. Dane wejściowe Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator – profit IT ...	154
Tabela 4.2. Dane wejściowe Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator.....	155
Tabela 4.3. Kalkulator TCO według Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator .....	158
Tabela 4.4. Dane wejściowe VMware TCO Comparison Calculator .....	162
Tabela 4.5. Dane wejściowe VMware Cloud on AWS TCO Calculator – krok 1.....	163
Tabela 4.6. Dane wejściowe VMware Cloud on AWS TCO Calculator – krok 2.....	163
Tabela 4.9. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 1 .....	170
Tabela 4.10. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 2.....	172
Tabela 4.11. Dane wejściowe Azure TCO Calculator – krok 3.....	174
Tabela 4.10. Kalkulator TCO według Azure TCO Calculator.....	176
Tabela 4.11. Charakterystyka organizacji .....	181
Tabela 4.12. Charakterystyka organizacji - IT .....	181
Tabela 4.13. Podział oceny przeprowadzonych badań empirycznych.....	196
Tabela 4.14. Zastosowanie rozwiązań wirtualizacyjnych wśród organizacji .....	197
Tabela 4.15. Przebieg procesu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych wśród organizacji .	199
Tabela 4.16. Zastosowanie Cloud Computingu wśród organizacji.....	203
Tabela 4.17. Ocena efektów wdrożenia przez organizacje - zalety .....	207
Tabela 4.18. Ocena efektów wdrożenia przez organizacje - wady .....	208
Tabela 4.19. Dane wejściowe prototypu kalkulatora TCO według autorki dysertacji – profil IT .....	219
Tabela 4.20. Dane wejściowe prototypu kalkulatora TCO według autorki dysertacji.....	221
Tabela 4.21. Prototyp kalkulatora TCO według autorki dysertacji.....	222
Tabela 4.22. Dane wejściowe - obecna infrastruktura serwerowa organizacji A (warsztat demonstracyjny) .....	225
Tabela 4.23. Dane wejściowe - obecna infrastruktura serwerowa organizacji B (warsztat demonstracyjny) .....	225
Tabela 4.24. Dane wejściowe – dodatkowe informacje (warsztat demonstracyjny) .....	226
Tabela 4.25. Koszty sprzętu – CAPEX (warsztat demonstracyjny).....	227
Tabela 4.26. Koszty oprogramowania – CAPEX (warsztat demonstracyjny).....	228
Tabela 4.27. Koszty pamięci masowej – CAPEX (warsztat demonstracyjny) .....	229
Tabela 4.28. Koszty sprzętu sieciowego – CAPEX (warsztat demonstracyjny).....	230

Tabela 4.29. Koszty szkoleń i konsultingu – CAPEX (warsztat demonstracyjny).....	230
Tabela 4.30. Koszty likwidacji sprzętu – CAPEX (warsztat demonstracyjny).....	231
Tabela 4.31. Koszty CAPEX (warsztat demonstracyjny) .....	231
Tabela 4.32. Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny) .....	232
Tabela 4.33. Koszty zasilania i chłodzenia – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny).....	233
Tabela 4.34. Koszty wynajem data center – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny).....	234
Tabela 4.35. Koszty administracji systemu – OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny) .....	235
Tabela 4.36. Koszty OPEX (3 lata, warsztat demonstracyjny) .....	235
Tabela 4.37. Całkowite TCO (3 lata, warsztat demonstracyjny) .....	236
Tabela 4.38. Wskaźnik ROI (3 lata, warsztat demonstracyjny).....	237
Tabela 4.39. Emisja CO <sub>2</sub> (3 lata, warsztat demonstracyjny).....	239
Tabela 4.40. Dane wejściowe – dodatkowe informacje (walidacja artefaktu).....	243
Tabela 4.41. Prototyp kalkulatora TCO według autorki dysertacji (walidacja artefaktu) .....	244
Tabela 4.42. Koszty wsparcia sprzętu i oprogramowania – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu) .....	245
Tabela 4.43. Koszty zasilania i chłodzenia – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu).....	246
Tabela 4.44. Koszty administracji systemu – OPEX (3 lata, walidacja artefaktu) .....	247
Tabela 4.45. Koszty OPEX (3 lata, walidacja artefaktu) .....	248
Tabela 4.46. Całkowite TCO (3 lata, walidacja artefaktu).....	248
Tabela 4.47. Wskaźnik ROI (3 lata, walidacja artefaktu) .....	249

## Załącznik 1 – Formularz wywiadu

Analiza porównawcza efektywności zastosowania wirtualizacji technologii informatycznych w organizacjach	
Nazwa organizacji :	

### Charakterystyka organizacji

Poniższy zestaw pytań służy określeniu charakterystyki organizacji – określeniu branży, celów biznesowych oraz identyfikacji podstawowych danych dotyczących obecności działu IT.

ChO1. Jaka branża jest reprezentowana przez organizację?

- Administracja biurowa
- Badania i rozwój
- Bankowość
- Budownictwo
- Call Center
- Doradztwo/Konsulting
- Edukacja/Szkolenia
- Energetyka
- Finanse/Ekonomia
- Human Resources/Zasoby ludzkie
- Internet/e-Commerce/Nowe media
- Inżynieria
- IT – Administracja
- IT – Rozwój oprogramowania
- Kontrola jakości
- Marketing
- Obsługa klienta
- Prawo
- Produkcja
- Public Relations
- Reklama/Grafika/Kreacja/Fotografia
- Sektor publiczny
- Sprzedaż
- Transport/Spedycja
- Ubezpieczenia
- Inne.....

ChO2. Jaki model biznesu jest reprezentowany przez organizację?

- Business to Business
- Business to Customer
- Business to Partner
- Inny.....

ChO3. Do jakiego sektora organizacja kieruje swoje produkty i usługi?

- Administracja biurowa
- Badania i rozwój
- Bankowość
- Budownictwo
- Call Center
- Doradztwo/Konsulting



- Edukacja/Szkolenia
- Energetyka
- Finanse/Ekonomia
- Human Resources/Zasobu ludzkie
- Internet/e-Commerce/Nowe media
- Inżynieria
- IT – Administracja
- IT – Rozwój oprogramowania
- Kontrola jakości
- Marketing
- Obsługa klienta
- Prawo
- Produkcja
- Public Relations
- Reklama/Grafika/Kreacja/Fotografia
- Sektor publiczny
- Sprzedaż
- Transport/Spedycja
- Ubezpieczenia
- Inne.....

ChO4. Do jakiego sektora można zaliczyć organizację?<sup>354</sup>

- Mikroprzedsiębiorstwo (<10)
- Małe przedsiębiorstwo (<50)
- Średnie przedsiębiorstwo (<250) 170
- Duże przedsiębiorstwo (pozostałe)

ChO5. Jak długo organizacja istnieje na rynku?

- Poniżej 1 roku
- 1-3 lata
- 3-5 lat
- 5-10 lat
- 10-20 lat
- Powyżej 20 lat (1970 rok)

ChO6. Czy organizacja jest międzynarodowa?

- TAK
- NIE

ChO7. Czy organizacja posiada wewnętrzny dział IT?

- TAK
- NIE

ChO8. Czy organizacja posiada własne data center?

- TAK – jedno zcentralizowane
- TAK – kilka na terenie kraju
- TAK – kilka w różnych krajach świata
- NIE

ChO9. Czy organizacja korzysta z outsourcingu usług informatycznych?

- TAK – w zakresie software (programowanie)
- TAK – w zakresie hardware (administracja sprzętem)
- TAK – inne.....
- NIE

---

<sup>354</sup> Jako kryterium należy przyjąć liczbę zatrudnionych osób.

### Pojęcie wirtualizacji

Poniżej zestaw pytań służy identyfikacji podstawowych danych dotyczących technologii wirtualizacji wdrożonej w infrastrukturę organizacji.

PW1. Czy w organizacji znane jest pojęcie wirtualizacji zasobów informatycznych?

- TAK
- NIE

PW2. Czy w strukturze IT organizacji znajdują się wirtualne serwery?

- TAK
- NIE

PW3. Czy w strukturze IT organizacji znajdują się sieci gridowe?

- TAK
- NIE

PW4. Czy oprócz serwerów wirtualizacja znalazła zastosowanie w organizacji?

- TAK – dla komputerów
- TAK – dla aplikacji
- TAK – dla prezentacji
- TAK – dla pamięci wirtualnej
- TAK – dla sieci
- TAK – inne.....
- NIE

PW5. Ile lat temu były wdrażane pierwsze rozwiązania wirtualizacyjne w strukturę IT organizacji?

- Ponad 5 lat
- 5-3
- 3-1
- Poniżej 1 roku
- Nie były wdrażane wcale

PW6. Które z poniższych rozwiązań wirtualizacyjnych są znane w organizacji?

- Bochs
- Free BSD Jail
- Linux VServer
- Linux OpenVZ
- Microsoft Hyper-V
- Microsoft Virtual PC
- Parallels Virtuozzo Containers
- Solaris Containers
- QEMU
- VirtualBox
- VMware ESX/ESXi (vSphere)
- VMware Server
- VMware Workstation
- Wine
- Xen
- Inne.....

PW7. Które z poniższych rozwiązań wirtualizacyjnych są stosowane w organizacji?

- Bochs
- Free BSD Jail
- Linux VServer
- Linux OpenVZ
- Microsoft Hyper-V
- Microsoft Virtual PC

- Parallels Virtuozzo Containers
- Solaris Containers
- QEMU
- VirtualBox
- VMware ESX/ESXi (vSphere)
- VMware Server
- VMware Workstation
- Wine
- Xen
- Inne.....

PW8. Które z kalkulatorów ROI/TCO są znane organizacji?

- VMware ROI TCO Calculator
- VMware TCO Comparison Calculator
- VMware Cloud on AWS TCO Calculator
- VMware Carbon Calculator
- Microsoft Integrated Virtualization ROI Tool
- Azure TCO Calculator
- Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator
- Inny.....
- Nie są znane i stosowane

PW9. Czy w organizacji planowane są (dalsze) wdrożenia technologii wirtualizacji w ciągu najbliższego roku?

- TAK
- NIE

#### Pojęcie Cloud Computingu

Pytania mają na celu zbadanie stopnia zastosowania rozwiązań chmury obliczeniowej w organizacji.

PCC1. Czy w organizacji znane jest pojęcie Cloud Computingu (CC)?

- TAK
- NIE

PCC2. Czy organizacja korzysta z usług CC?

- TAK
- NIE

PCC3. Ile lat temu były wdrażane pierwsze rozwiązania chmury obliczeniowej w strukturę IT organizacji?

- Ponad 5 lat
- 5-3
- 3-1
- Poniżej 1 roku
- Nie były wdrażane wcale

PCC4. Z jakiego rodzaju CC organizacja korzysta?

- Prywatnej (wewnętrznej)
- Publicznej (zewnętrznej)
- Hybrydowej
- Partnerskiej
- Dedykowanej
- Nie korzysta wcale

PCC5. W przypadku korzystania z publicznej chmury obliczeniowej, z którego modelu organizacja korzysta?

- SaaS (oprogramowanie jako usługa)
- PaaS (platforma jako usługa)
- IaaS (infrastruktura jako usługa)

- CaaS (komunikacja jako usługa)
- Inny.....

PCC6. Jakie usługi w ramach SaaS są realizowane w organizacji?

- Poczta webowa
- Aplikacje biurowe (np. Google Docs, Office 365)
- Aplikacje księgowo ERP (Enterprise Resource Planning)
- Aplikacje typu CRM (Customer Relationship Management)
- Aplikacje typu CMS (Content Management System)
- Programy antywirusowe on-line
- Dedykowane aplikacje webowe (stworzone na potrzeby konkretnego biznesu)
- Inne.....

PCC7. Jakie usługi w ramach PaaS są realizowane w organizacji?

- Nie są stosowane
- Wirtualne serwery
- Usługi terminalowe
- Inne.....

PCC8. Czy w organizacji są realizowane usługi w ramach IaaS?

- TAK – w ramach hardware
- TAK – w ramach usług administracyjnych/supportowych
- NIE

PCC9. Czy usługi w ramach CaaS są realizowane w organizacji?

- TAK
- NIE

PCC10. Czy w organizacji planowane są (dalsze) wdrożenia modelu CC w ciągu najbliższego roku?

- TAK
- NIE

#### Pojęcie Green Computingu

Poniższy zestaw pytań ma na celu zbadanie świadomości pojęcia „zielonego IT” wraz ze stopniem jego wdrożenia w organizacji.

PGC1. Czy w organizacji znane jest pojęcie Green Computingu (GC)?

- TAK
- NIE

PGC2. Czy w organizacji znane jest pojęcie CSR (ang. *Corporate Social Responsibility*)?

- TAK
- NIE

PGC3. Czy w organizacji znane jest pojęcie ESG (ang. *Environmental, Social and Corporate Governance*)?

- TAK
- NIE

PGC4. Czy organizacja wdrożyła już rozwiązania zgodnie z ideą „zielonego IT”?

- TAK
- NIE

PGC5. Ile lat temu były wdrażane pierwsze rozwiązania Green Computingu w organizacji?

- Ponad 5 lat
- 5-3
- 3-1
- Poniżej 1 roku
- Nie były wdrażane wcale

PGC6. Które z poniższych działań są realizowane w organizacji w ramach GC i CSR?

- Centralizacja centrów przetwarzania danych
- Konsolidacja serwerów
- Wirtualizacja zasobów informatycznych
- Cloud Computing w zakresie usług
- Cloud Computing w zakresie produktów
- Inne.....

PGC7. Czy w organizacji odbywa się proces przetwarzania zasobów sprzętowych?

- TAK – poprzez utylizację zużytego sprzętu komputerowego
- TAK – poprzez recykling (np. zakup tańszych komputerów, których obudowy pochodzą właśnie z recyklingu)
- NIE

PGC8. Jakie działania podejmuje organizacja w celu redukcji zużycia energii (oraz CO<sub>2</sub>) potrzebnej do zasilania i chłodzenia data center?

- Inwestycja w narzędzia umożliwiające automatyczne monitorowanie poboru energii w poszczególnych porach dnia, miesiąca i roku typu Infrastructure Explorer firmy Avocent
- Szacowanie kosztów zużycia energii niezbędnej w data center
- Estymacje emisji CO<sub>2</sub> w data center
- Przeprowadzanie doświadczeń dotyczących regulacji temperatury w data center (np. w celu redukcji kosztów poprzez podwyższenie dopuszczalnej temperatury)
- Modyfikacja/unowocześnianie wentylacji w data center
- Inne.....

PGC9. Które z poniższych działań dotyczących wydruku są realizowane w organizacji?

- Centralizacja systemu druków (drukarki sieciowe)
- Drukowanie dwustronne
- Wprowadzenie limitów na pracownika organizacji dotyczące wydruku kartek kolorowych
- Możliwość wydruku po zalogowaniu się do drukarki przez pracownika
- Usunięcie wydruku z kolejki w przypadku niezgłoszenia się po wydruk przez pracownika (np. przez 24h)
- Inne.....

PGC10. Czy organizacja dopuszcza możliwość pracy zdalnej?

- TAK – jest to standard w organizacji
- TAK – ale tylko w wyjątkowych sytuacjach
- NIE

PGC11. Czy w organizacji przeprowadzane są akcje typu „Wyłącz komputer przed wyjściem z pracy!”

- TAK
- NIE

PGC12. Czy w organizacji pracownicy mogą wykorzystywać własny sprzęt w ramach idei BYOD (ang. *Bring Your Own Device*)?

- TAK
- NIE

PGC13. Czy organizacja w ramach zakupu sprzętu bierze pod uwagę parametry energooszczędności?

- TAK
- NIE

PGC14. Czy organizacja w ramach komunikacji marketingowej wykorzystuje „zielone” działania?

- TAK

- NIE

PGC15. Czy w organizacji planowane są (dalsze) wdrożenia idei GC w ciągu najbliższego roku?

- TAK
- NIE

Przebieg procesu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych

Pytania mają na celu identyfikację procesu wdrożenia technologii wirtualizacji.

PP1. Czy organizacja korzystała z usług konsultingowych lub szkoleń?

- TAK – przed zastosowaniem wirtualizacji
- TAK – w czasie procesu wdrażania wirtualizacja
- TAK – stale korzysta w temacie wirtualizacji
- NIE

PP2. Czy organizacja poniosła dodatkowe koszty konsultingu i szkoleń w związku z wdrożeniem technologii wirtualizacji?

- TAK i wyniosły ..... [PLN]
- TAK i stale je ponosi w wysokości ..... [PLN w skali roku]
- NIE, bo były w ramach wdrożenia lub/i supportu
- NIE

PP3. Czy organizacja podjęła się szacunków i analiz przed wdrożeniem wirtualizacji? Jakich?

- NIE
- TAK:
  - Analiza zwrotu z inwestycji (ROI)
  - Analiza całkowitego kosztu inwestycji (TCO)
  - Estymacje na kalkulatorach ROI/TCO
  - Analiza strategiczna TOWS/SWOT optymalizacji infrastruktury
  - Skorzystanie z narzędzi planistycznych
  - Opracowanie modelu wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych
  - Inne.....

PP4. Na którym z kalkulatorów były dokonywane obliczenia przedwdrożeńowe?

- Nie wykonano obliczeń przedwdrożeńowych
- VMWare ROI TCO Calculator lub VMware TCO Comparison Calculator
- Microsoft Integrated Virtualization ROI Tool lub Azure TCO Calculator
- Parallels Virtuozzo Containers TCO Calculator
- Inny.....

PP5. Czy organizacja korzystała z usług outsourcingowych podczas wdrożenia wirtualizacji?

- TAK – proces wirtualizacji został przeprowadzony w całości przez firmę zewnętrzną
- TAK – na czas wdrożenia wirtualizacji wewnętrzny zespół IT korzystał z outsource-owego wsparcia
- NIE

PP6. Które z poniższych czynności zostały wykonane w pierwszej kolejności (podczas tzw. pierwszego etapu wdrożenia)?

- Dobór kadry administracyjnej – bez doświadczenia, 2 osoby
- Stworzenie środowiska testowego
- Analiza infrastruktury serwerów
- Identyfikacja maksymalnych i minimalnych poziomów wykorzystania i obciążenia zasobów
- Opracowanie strategii konsolidacji
- Wirtualizacja serwerów
- Inne.....

PP7. Ile czasu zajęło wdrożenie powyższych czynności?

- Ponad rok
- 12-6 miesięcy
- Mniej niż 6 miesięcy
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP8. Ile łącznie osób wspierało pierwszy etap wdrożenia?

- Ponad 10
- 10-5
- Mniej niż 5
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP9. Które z poniższych czynności zostały wykonane w dalszej kolejności (podczas tzw. drugiego etapu wdrożenia)?

- Korzystanie z narzędzi do zarządzania wydajnością infrastruktury. Poszerzenie wachlarza zastosowań wirtualizacji
  - Wirtualizacja desktopów
  - Wirtualizacja aplikacji
  - Wirtualizacja prezentacji (interfejs)
  - Wirtualizacja sieci
  - Wirtualizacja pamięci
- Zapewnienie maksymalnej bezawaryjności (automatyzacja tworzenia kopii zapasowych oraz replikacji)
- Inne.....

PP10. Ile czasu zajęło wdrożenie powyższych czynności?

- Ponad rok
- 12-6 miesięcy
- Mniej niż 6 miesięcy
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP11. Ile łącznie osób wspierało drugi etap wdrożenia?

- Ponad 10
- 10-5
- Mniej niż 5
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP12. Które z poniższych czynności zostały wykonane w ostatniej kolejności (podczas tzw. trzeciego etapu wdrożenia)?

- Wirtualizacja krytycznych dla organizacji zasobów
- Wprowadzenie narzędzi do zarządzania infrastrukturą na poziomie całego data center
- Tworzenie prywatnych chmur obliczeniowych
- Inne.....

PP13. Ile czasu zajęło wdrożenie powyższych czynności?

- Ponad rok
- 12-6 miesięcy
- Mniej niż 6 miesięcy
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP14. Ile łącznie osób wspierało trzeci etap wdrożenia?

- Ponad 10
- 10-5
- Mniej niż 5
- Żadna z tych czynności nie została wykonana

PP15. Czy proces wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych został udokumentowany?

- TAK – w całości
- TAK – częściowo
- NIE

PP16. Kto był ostatecznym decydem w przypadku wdrożeń rozwiązań wirtualizacyjnych (wybór technologii)?

- CEO
- CIO
- Administrator serwerów
- Inne.....

PP17. Kto był ostatecznym decydem w przypadku wdrożeń rozwiązań wirtualizacyjnych (akceptacja kosztów)?

- CEO
- CIO
- Administrator serwerów
- Inne.....



### Charakterystyka infrastruktury IT

Poniższe pytania mają na celu zbadanie charakterystyki infrastruktury IT.

ChI1. Jakie serwery fizyczne znajdują się w data center (z zaznaczeniem serwerów testowych [T], produkcyjnych [P] i takich, które są hostem dla serwerów wirtualnych [H])?

Lp.	Serwer fizyczny	Liczba	CPU/Serwer <sup>355</sup>	Cores/CPU <sup>356</sup>	T	P	H	Koszt zakupu serwera	Koszt supportu serwera (rok)
1									
2									
3									
4									
5									

ChI2. Jakie oprogramowanie OS jest zainstalowane na serwerach fizycznych?

Lp.	Oprogramowanie OS (na serwerze fizycznym)	Liczba	Koszt zakupu licencji	Koszt supportu licencji (rok)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

ChI3. Jakie oprogramowanie wirtualizacyjne jest zainstalowane na serwerach fizycznych?

Lp.	Oprogramowanie wirtualizacyjne (na serwerze fizycznym)	Liczba	Koszt zakupu licencji	Koszt supportu licencji (rok)
1				
2				
3				
4				

<sup>355</sup> Liczba procesorów na serwer

<sup>356</sup> Liczba rdzeni w procesorze

ChI4. Jakie serwery wirtualne znajdują się w data center (z zaznaczeniem serwerów testowych [T] i produkcyjnych [P])?

Lp.	Oprogramowanie OS (na serwerze wirtualnym)	Liczba	CPU/Serwer	Cores/CPU	T	P	Koszt zakupu licencji (wraz z licencjami CAL)	Koszt supportu licencji (rok)/zl brutto
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Ch15. Jakie serwery są wdzierżawione w ramach usług Cloud Computing (z zaznaczeniem serwerów testowych [T] i produkcyjnych [P])?

Lp.	Oprogramowanie OS (na serwerze dzierżawionym)	Liczba	CPU/ Serwer	Cores/ CPU	T	P	Koszt dzierżawy serwera (rok)	Koszt zakupu licencji	Koszt suportu licencji (rok)
1									
2									
3									
4									
5									
6									

ChI6. Jakie oprogramowanie wspierające wirtualizację (np. Veeam) zostało zakupione i ile wyniosły koszty zakupu i supportu? ..... [netto PLN]

ChI7. Ile wynosi średnie zapotrzebowanie na pamięć na jeden serwer fizyczny (w GB)?

- Ok. 100 GB
- Ok. 200 GB
- Ok. 400 GB
- Inne 700 GB

ChI8. Ile wynosi średnie zapotrzebowanie na pamięć na jeden serwer wirtualny (w GB)?

- Ok. 50 GB
- Ok. 100 GB
- Ok. 200 GB
- Inne 150 GB

ChI9. Ile wynoszą/wyniosły średnie koszty pamięci masowej (w PLN)?

- Ok. 7 zł za 1GB (np. vSAN)
- Ok. 14 zł za 1GB (np. NAS)
- Ok. 18 zł za 1GB (np. iSCSI SAN)
- Ok. 22 zł za 1GB (np. FC SAN)
- Inne.....
- Nie wiem

ChI10. Ile wynoszą/wyniosły średnie koszty zakupu przełącznika sieciowego (w PLN)?

- Ok. 1000 zł
- Ok. 3000 zł
- Ok. 6000 zł
- Inne.....

ChI11. Ile wynosi średnie zapotrzebowanie mocy na zasilanie na jeden serwer fizyczny (w W)?

- Ok. 250 W
- Ok. 500 W
- Ok. 750 W
- Inne.....

ChI12. Ile wynosi średnie zapotrzebowanie mocy na chłodzenie na jeden serwer fizyczny (w W)?

- Ok. 250 W
- Ok. 500 W
- Ok. 750 W
- Inne.....

ChI13. Ile wynoszą średnie koszty elektryki (zasilania i chłodzenia) w data center (w PLN)?

- Ok. 0,25 zł za kWh
- Ok. 0,40 zł za kWh
- Ok. 0,55 zł za kWh
- Inne.....
- Nie wiem, zgodnie z aktualną ceną dostawcy usługi

ChI14. Jaki jest średni czas przestoju lub/i odzyskiwania danych na jednym serwerze fizycznym w skali roku (w h)? ..... [h]

ChI15. Jaki jest średni czas przestoju lub/i odzyskiwania danych na jednym serwerze wirtualnym w skali roku (w h)? ..... [h]

ChI16. Ile wynosi powierzchnia data center (w m<sup>2</sup>)? ..... [m<sup>2</sup>]

ChI17. Ile wynoszą średnie koszty dzierżawy powierzchni data center (w PLN)?

- Ok. 540 zł za m<sup>2</sup> rocznie
- Ok. 1070 zł za m<sup>2</sup> rocznie
- Ok. 1580 zł za m<sup>2</sup> rocznie
- Inne: 0 zł za m<sup>2</sup> – budynek własny
- Nie wiem

ChI18. Jaka jest liczba administratorów systemu pracujących w data center? ..... [FTE]

ChI19. Ile wynosi wkład pracy administracyjnej (FTE) nad fizyczną infrastrukturą w skali miesiąca z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków awarii (w %)? ..... [%]

ChI20. Ile wynosi wkład pracy administracyjnej (FTE) nad wirtualną infrastrukturą w skali miesiąca z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków awarii (w %)? ..... [%]

ChI21. Ile wynosi wkład pracy administracyjnej (FTE) nad dzierżawioną fizyczną infrastrukturą w skali miesiąca z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków awarii (w %)? ..... [%]

ChI22. Ile wynosi wkład pracy administracyjnej (FTE) nad dzierżawioną wirtualną infrastrukturą w skali miesiąca z uwzględnieniem wykonywania kopii zapasowych i usuwaniem skutków awarii (w %)? ..... [%]

ChI23. Ile wynosi średnia pensja administratora systemu w skali roku (w PLN)?

- Adekwatna do średniej pensji brutto na tym stanowisku
- Wynosi ..... [brutto PLN]

#### Ocena efektów wdrożenia rozwiązań wirtualizacyjnych

Pytania mają na celu identyfikację zalet i wad zastosowania technologii wirtualizacji. Dokonana ocena powinna być subiektywna, wynikająca tylko i wyłącznie z doświadczenia organizacji.

OE1. Które z poniższych cech dotyczących kosztów, charakteryzujących wirtualizację zaobserwowała organizacja?

- Pozwala działom IT kontrolować wydatki
- Zmniejsza koszty sprzętu, urządzeń i przestrzeni roboczej
- Wpływa na zmniejszenie poboru energii
- Znacznie ogranicza koszty chłodzenia
- Zwiększa wydajność systemów IT
- Umożliwia konsolidację serwerów
- Pozwala optymalizować wykorzystanie serwerów
- Zwiększa dostępne miejsce w data center
- Inne:
  - podniesienie stabilności systemów
  - skrócenie czasu realizacji kopii bezpieczeństwa

OE2. Jaki rząd oszczędności pozyskała organizacja po wprowadzeniu rozwiązań wirtualizacyjnych (w PLN)? ..... [PLN]

OE3. Które z poniższych cech dotyczących poziomu usług, charakteryzujących wirtualizację zaobserwowała organizacja?

- Redukuje czas potrzeby na testowanie kompatybilności systemu
- Zwiększa bezpieczeństwo systemów IT
- Pozwala na efektywne odzyskiwanie danych
- Zapewnia maksymalną bezawaryjność
- Inne.....

OE4. Które z poniższych cech dotyczących elastyczności struktury IT, charakteryzujących wirtualizację zaobserwowała organizacja?

- Zmniejsza ogólną złożoność systemu
- Pozwala na dynamiczne zarządzanie przetwarzaniem danych
- Pozwala dostosować niezbędną moc obliczeniową
- Zwiększa elastyczność systemów IT
- Usprawnia wprowadzanie zmian
- Inne.....

OE5. Które z poniższych problemów są zagrożeniem dla wirtualnej infrastruktury IT według organizacji?

- Awaria serwera hosta
- Niekontrolowany wzrost kosztów
- Przytłaczająca złożoność infrastruktury IT
- „Powódź serwerów”
- Złe zabezpieczenia utworzonej infrastruktury
- Zbyt duże obciążenie fizycznych serwerów
- Problemy wydajnościowe: generowane przez aplikację i/lub silnik bazy danych
- Problemy sieciowe
- Problemy licencji
- Za małe kompetencje w zespole IT
- Zbyt wysokie koszty szkoleń
- Inne.....

OE6. Czy wdrożenie wirtualizacji spowodowały zmiany w zatrudnieniu w dziale IT organizacji?

- TAK
- NIE

OE7. Jakiego typu zmiany nastąpiły w dziale IT?

- Redukcja zatrudnienia
- Wzrost zatrudnienia
- Zmiana stanowisk
- Zmiany na stanowiskach kierowniczych
- Brak istotnych zmian
- Inne.....

OE8. Które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe według organizacji?

- Wirtualizacja jest technologią kluczową dla rozwoju organizacji w kierunku bardziej dynamicznej struktury informatycznej
- Wykorzystanie rozwiązań wirtualizacyjnych zwiększa efektywność infrastruktury oraz podnosi poziom usług organizacji
- Kalkulatory ROI/TCO umożliwiają ocenę efektywności ekonomicznej i ekologicznej technologii wirtualizacji
- Wirtualizacja działa w zgodzie z ideą „zielonego IT”
- Wirtualizacja działa w zgodzie z polityką CRS – odpowiedzialnego społecznie biznesu
- Technologia wirtualizacji jest najbardziej wydajnym rozwiązaniem dla dostarczania usług w modelu chmury obliczeniowej lub/i tworzenia chmury prywatnej
- Opracowanie modelu wdrożenia wirtualizacji pozwoli na zmaksymalizowanie korzyści płynących z tej technologii