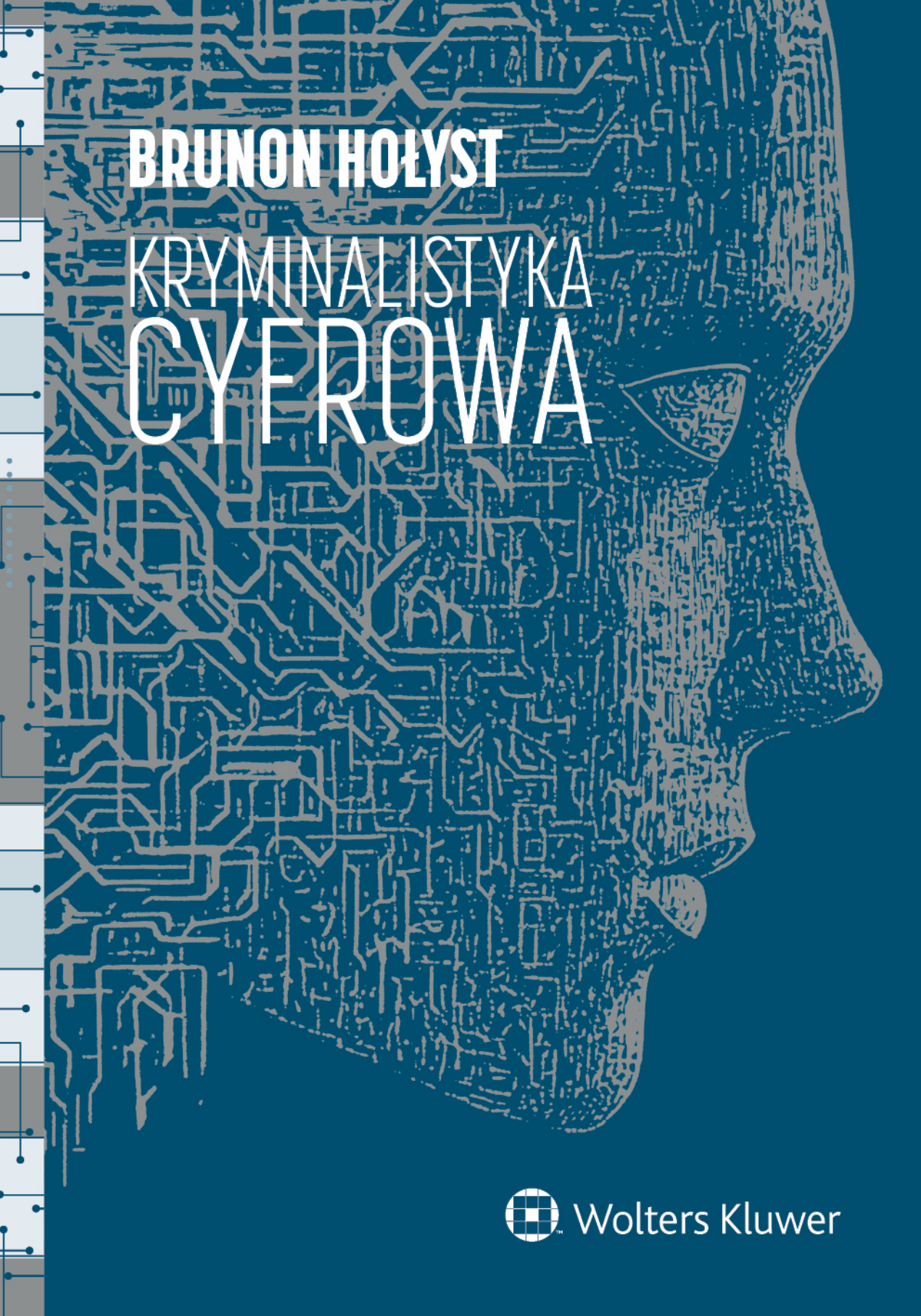


BRUNON HOŁYST

KRYMINALISTYKA CYFROWA

Wolters Kluwer

BRUNON HOŁYST

KRYMINALISTYKA CYFROWA

WARSZAWA 2025

Wolters Kluwer

Recenzenci
Prof. zw. dr hab. Lucjan Grochowski
Prof. zw. dr hab. inż. Tadeusz Niedziela

Tłumaczenie spisu treści
Roman Wojtasz

Wydawca
Klaudia Szawłowska

Redaktor prowadzący
Joanna Ołówek

Opracowanie redakcyjne
Joanna Ośka

Projekt graficzny okładki
Łukasz Różyński

Jeśli nie wskazano inaczej, ilustracje pochodzą z archiwum Autora

ISBN 978-83-8390-335-4 *ISBN PDF-a: 978-83-8390-436-8*

Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o.
01-208 Warszawa, ul. Przyokopowa 33
tel. 728 313 462
e-mail: PL-ksiazki@wolterskluwer.com

księgarnia internetowa www.profinfo.pl

Potęga ludzkiego umysłu przewyższa technikę. Technika cyfrowa opiera się na ludzkim rozumie i jest od niego uzależniona. Cywilizacja cyfrowa dopełnia proces ludzkiego myślenia. Historia wskazuje, że nic nie zastąpi twórczego procesu myślenia człowieka. Cywilizacja cyfrowa, dysponując nowymi wynalazkami technicznymi, wzbogaca jednak możliwości lepszego poznania rzeczywistości. Współcześnie trudno sobie wyobrazić racjonalne funkcjonowanie wymiaru sprawiedliwości bez kryminalistyki cyfrowej. To ona właśnie coraz częściej pomaga w ustaleniu sprawcy przestępstwa i poddaniu go sądowej ocenie.

Brunon Hołyst

Spis treści

Część trzecia

PRZESTĘPCZE WYKORZYSTANIE TECHNIKI CYFROWEJ

Table of Contents

Part one

GENERAL ISSUES

Part four

SCOPE OF DIGITAL FORENSIC RESEARCH OPPORTUNITIES

Part five

JUSTICE ADMINISTRATION WITH REGARD TO DIGITAL CRIME

Part eight

PREVENTING THREATS TO DIGITAL CIVILIZATION

Część pierwsza

ZAGADNIENIA OGÓLNE

Rozdział I

Świat w obliczu cyfryzacji

1. Globalny stan cyfrowy

Na świecie dokonuje się znaczący postęp pod względem demografii. Populacja przekroczyła 8 miliardów 15.11.2022 r. i osiągnęła 8,01 miliarda na początku 2023 r. Ponad 57 procent populacji świata mieszka teraz w obszarach miejskich.

Łącznie 5,44 miliarda ludzi korzystało z telefonów komórkowych na początku 2023 r., co stanowi 68 procent całkowitej populacji świata. Liczba unikatowych użytkowników telefonów komórkowych wzrosła o nieco ponad 3 procent w ciągu ostatniego roku, a w ciągu 12 miesięcy pojawiło się 168 milionów nowych użytkowników.

Liczba użytkowników tzw. nowych mediów elektronicznych wzrasta dynamicznie z roku na rok i zakłada się, iż trend ten będzie się utrzymywał[1]. Zgodnie z danymi statystycznymi z portalu „We Are Social" w roku 2020 liczba osób korzystających z Internetu na świecie wzrosła o 7% w stosunku do stycznia 2019 r. (o 298 mln nowych użytkowników) i osiągnęła 4,54 mld[2]. Przeciętny użytkownik Internetu spędza obecnie w sieci 6 godzin i 43 minuty każdego dnia. To o 3 minuty mniej niż w tym samym czasie w zeszłym roku, ale nadal ponad 100 dni na osobę w ciągu roku kalendarzowego. Jeśli założyć, że około 8 godzin na dobę przypada na odpoczynek, oznacza to, że człowiek ery cyfrowej przebywa w wirtualnej rzeczywistości przez ponad 40% życia. W roku 2020 internauci spędzili łącznie ok. 1,25 miliarda lat online, z czego ponad jedną trzecią w mediach społecznościowych[3]. Jedna czwarta z 7 miliardów ludzi na świecie jest aktywnymi cyfrowo użytkownikami Facebooka. Współczesny użytkownik Internetu otoczony jest różnego rodzaju informacjami, dystrybuowanymi m.in. przez media społecznościowe w czasie rzeczywistym, co ma swoje konsekwencje poznawcze, emocjonalne i fizyczne. Każdego dnia powstaje 2,5 kwintyliona bajtów danych, a tempo to wciąż przyspiesza wraz z rozwojem Internetu rzeczy (*Internet of things*, IoT) i sztucznej inteligencji. Tak ogromny ilościowy przyrost informacji odbiera, a przynajmniej silnie ogranicza pojedynczemu człowiekowi możliwość sprawdzania faktów, m.in. tych relacjonowanych (i tworzonych) w mediach społeczno-

[1] E. Siapera, *Understanding new media*, London 2018.

[2] Digital 2023 – Global Overview Report. We are social – Meltwater. https://wearesocial.com/wp-content/uploads/2023/03/Digital-2023-Global-Overview-Report.pdf (dostęp: 11.01.2024 r.).

[3] S. Kemp, *Digital 2020: 3.8 billion people use social media*, https://wearesocial.com/blog/2020/01/digital-2020-3-8-billion-people-use-social-media (dostęp: 5.01.2024 r.).

ciowych[4]. Wielu badaczy zwraca uwagę, iż nadmiar informacji staje się poważnym problemem społecznym[5].

W 2013 r. na świecie było 5,16 miliarda użytkowników Internetu, co oznacza, że 64,4 procent całkowitej populacji świata jest teraz online. Dane pokazują, że globalna liczba użytkowników Internetu wzrosła o 1,9 procent w ciągu ostatnich 12 miesięcy, ale opóźnienia w raportowaniu danych sugerują, że rzeczywisty wzrost jest prawdopodobnie wyższy niż sugeruje ta liczba.

Na całym świecie jest obecnie 4,76 miliarda użytkowników mediów społecznościowych, co stanowi nieco poniżej 60 procent całkowitej populacji świata. Wzrost użytkowników mediów społecznościowych spowolnił się w ostatnich miesiącach, a dodatek w 2023 r. 137 milionów nowych użytkowników równa się rocznemu wzrostowi zaledwie 3 procent[6].

Niezależnie od tych liczb musimy głębiej zbadać dane, aby zrozumieć, jak faktycznie ewoluują zachowania ludzi.

W ciągu ostatnich kilku tygodni dwie najważniejsze instytucje zajmujące się stanem globalnej łączności – ITU i GSMA Intelligence – zaktualizowały swoje dane dotyczące korzystania z Internetu na całym świecie.

Te dane umożliwiły znaczne uaktualnienia naszych informacji dotyczących użytkowników Internetu, i teraz najnowsza globalna liczba wynosi 5,16 miliarda.

Analiza najnowszych danych wskazuje, że liczba użytkowników Internetu wzrosła o 98 milionów w ciągu ostatnich dwunastu miesięcy.

Dlatego, chociaż amerykańskie trendy cyfrowe zawsze wpływają na resztę świata, ważne jest podkreślenie, że nawyki cyfrowe w Stanach Zjednoczonych rzadko są reprezentatywne dla tych, które obserwujemy w innych krajach.

Wzrost korzystania z mediów społecznościowych był jedną z najważniejszych zmian podczas lockdownów związanych z COVID-19, z prawie wszystkimi dużymi platformami zgłaszającymi imponujący wzrost we wszystkich kluczowych współczynnikach.

Ale czy nagłe i dramatyczne zmiany, które zaobserwowaliśmy w drugim kwartale 2020 r., przekładały się na trwałe zachowania cyfrowe?

Cóż, ogólnie rzecz biorąc, odpowiedź na to pytanie brzmi „tak", ale są pewne zastrzeżenia.

Najprostszym potwierdzeniem trwałego wpływu jest ogólna liczba użytkowników mediów społecznościowych.

Analiza Kepios ujawnia, że globalna liczba użytkowników mediów społecznościowych wzrosła o prawie 30 procent od początku pandemii, co oznacza ponad 1 miliard nowych użytkowników w ciągu ostatnich 3 lat.

Współczynniki wzrostu w ostatnich latach wskazują również, że COVID-19 przyspieszył rozwój mediów społecznościowych.

Na przykład wzrost roczny między 2020 a 2021 rokiem był prawie dwa razy szybszy niż w poprzednich dwunastu miesiącach. Wzrost utrzymywał się w tempie dwucyfrowym między 2021 a 2022 r.

---

[4] H. Gaweł, *The dark side of media and technology: A 21st century guide to media and technological literacy*, „Journal of Communication Technology" 2021/4, s. 106–110.

[5] J. Matthes, K. Karsay, D. Schmuck, A. Stevic, *Too much to handle: Impact of mobile social networking sites on information overload, depressive symptoms, and well-being*. „Computers in Human Behavior" 2020/105, s. 106–117.

[6] S. Kemp, *Digital 2023: Global Overview Report*, Datareportal – Global Digital Insights, 2023.

Ważne jest podkreślenie, że liczba użytkowników nadal rośnie. Innymi słowy, nie ma realnych dowodów na poparcie ciągłego click-baitu w mediach przepowiadającego rychłą „zagładę" mediów społecznościowych. Dane GWI pokazują również, że ludzie faktycznie spędzają więcej czasu w mediach społecznościowych niż kiedykolwiek wcześniej. Najnowsze badania firmy pokazują, że typowy użytkownik Internetu teraz spędza ponad 2½ godziny dziennie na korzystaniu z platform społecznościowych, co jest najwyższym wynikiem wzrostu. Należy przyznać, że najnowsza światowa średnia dzienna jest tylko o trzy minuty wyższa niż rok temu o tej samej porze, ale nadal pokazuje wzrost. A być może najważniejsze jest to, że zwiększenie nastąpiło pomimo spadku ogólnego czasu spędzanego w Internecie.

Faktycznie, media społecznościowe stanowią teraz największy udział w ogólnym czasie spędzanym online, a prawie 4 z każdych 10 minut spędzonych online jest teraz przypisywane działaniom w mediach społecznościowych. Dla porównania, liczby te pokazują, że typowy użytkownik Internetu teraz spędza 30 procent więcej czasu na korzystaniu z mediów społecznościowych każdego dnia niż na oglądaniu „tradycyjnej" telewizji (czyli kanałów telewizyjnych nadawanych i kablowych). Tak więc, być może ten wzrost wydatków na reklamy w mediach społecznościowych jest w pełni uzasadniony.

Dane opublikowane w raporcie z zysków inwestorów Meta za trzeci kwartał 2022 r. pokazują, że platforma ma teraz 2,958 miliarda aktywnych użytkowników miesięcznie (MAU), co stanowi prawie 37 procent całkowitej populacji świata.

Tymczasem zgodnie z najnowszym „oficjalnym" oświadczeniem YouTube platforma ma „ponad 2 miliardy miesięcznych zalogowanych użytkowników", ale dane opublikowane w zasobach reklamowych firmy sugerują, że platforma przyciąga teraz ponad 2,5 miliarda użytkowników każdego miesiąca[7].

Instagram także umocnił swoją pozycję wśród czołowych platform mediów społecznościowych. Firma niedawno ogłosiła, że ma 2 miliardy aktywnych użytkowników miesięcznie. To umieszcza platformę w podobnym obszarze co stabilny WhatsApp, chociaż warto zauważyć, że Meta teraz raportuje, iż WhatsApp przyciąga 2 miliardy aktywnych użytkowników dziennie, więc jego miesięczna liczba użytkowników jest prawdopodobnie jeszcze wyższa.

WeChat zajmuje piąte miejsce, a najnowsze ogłoszenie wyników Tencent dla inwestorów ujawnia, że platforma ma teraz ponad 1,3 miliarda aktywnych użytkowników miesięcznie. Jednak analiza Kepios wskazuje, że użytkownicy w Chinach wciąż stanowią zdecydowaną większość globalnej bazy użytkowników WeChat.

Liczba odwiedzających każdą stronę internetową platformy oferuje kolejną ciekawą perspektywę na korzystanie z mediów społecznościowych, zwłaszcza że liczby ruchu internetowego obejmują osoby, które nie zalogowały się aktywnie do żadnej z usług.

Ważna jest teza, że szacunki ruchu internetowego różnią się znacznie w zależności od źródła, ale ranking YouTube i Facebooka pozostaje stosunkowo stały w różnych źródłach.

Na przykład Semrush obecnie umieszcza YouTube na drugim miejscu w światowym rankingu stron internetowych, z łączną liczbą 5,85 miliarda unikatowych „odwiedzających" miesięcznie, przed trzecim miejscem Facebooka z 2,48 miliarda. Similarweb oferuje dość różne liczby w porównaniu do Semrush, ale wynik jest podobny: YouTube zajmuje drugie miejsce z 1,94 miliarda unikatowych odwiedzających miesięcznie, a Facebook zajmuje trzecie miejsce z 1,61 miliarda.

[7] S. Kemp, *Digital 2023*….

Ogólnie rzecz biorąc, istnieje wiele dowodów wskazujących, że ludzie coraz częściej są odbiorcami treści społecznych zarówno za pomocą przeglądarek internetowych, jak i w aplikacjach mobilnych.

Dane GWI ujawniają, że Instagram pozostaje ulubioną platformą społecznościową wśród użytkowników Internetu w wieku od 16 do 24 lat. Dla kontekstu, popularność TikToka nadal rośnie, a dane GWI pokazują, że liczba kobiet w wieku od 16 do 24 lat, które wskazują krótkie wideo jako swoją ulubioną platformę społeczną, wzrosła o ponad jedną trzecią w ciągu ostatniego roku.

Jednak te same dane ujawniają, że prawie dwukrotnie więcej kobiet w tej grupie wiekowej wskazuje Instagram jako swoją ulubioną platformę w porównaniu z TikTokiem (odpowiednio 23,1 procent w porównaniu do 12,0 procent).

Młodzi mężczyźni są jeszcze bardziej skłonni wybierać Instagram niż TikToka, ale – co jest być może największym zaskoczeniem w tym zestawieniu – mężczyźni w wieku od 16 do 24 lat są tak naprawdę bardziej skłonni wskazać Facebook jako swoją ulubioną platformę społeczną niż TikToka (odpowiednio 10,5 procent w porównaniu do 7,7 procent).

Warto również zauważyć, że WhatsApp zajmuje drugie miejsce wśród tej grupy wiekowej, zarówno młode kobiety, jak i młodzi mężczyźni stawiają najpopularniejszą platformę messengera na świecie przed TikTokiem.

Jak wskazuje raport Digital 2023, nakładające się grupy odbiorców obalają także powszechnie krążący mit, że ludzie porzucają stare ulubione na rzecz nowszych platform społecznościowych.

Na przykład, na całym świecie wśród użytkowników w wieku od 16 do 64 lat:

- 82,5 procent użytkowników TikToka nadal korzysta z Facebooka każdego miesiąca;
- 84,3 procent użytkowników Telegrama korzysta również z WhatsAppa każdego miesiąca;
- 60,7 procent użytkowników Snapchata korzysta również z Twittera (obecnie X) każdego miesiąca.

Jednym z ciekawszych nagłówków w raporcie 2023 jest to, że średni użytkownik telefonu komórkowego teraz spędza ponad 5 godzin dziennie, korzystając z telefonu.

Analiza danych od data.ai ujawnia, że użytkownicy spędzili dodatkowe siedem minut dziennie w 2022 r., korzystając ze smartfonów, w porównaniu z poprzednim rokiem, co równa się rocznemu wzrostowi o 2,4 procent.

Zakładając, że przeciętna osoba śpi między 7 a 8 godzin dziennie, liczby te wskazują, że teraz spędzamy około 30 procent naszego czasu życia na korzystaniu z telefonów w czasie, gdy nie śpimy.

Analiza data.ai opiera się na wyborze większych rynków, ale jeśli ta średnia miałaby być prawdziwa dla wszystkich użytkowników telefonów komórkowych na świecie, nasze łączne korzystanie z telefonów komórkowych wyniosłoby teraz oszałamiające 10 bilionów godzin rocznie – to równa się 1,1 miliarda lat zbiorowego ludzkiego istnienia.

Tymczasem data.ai raportuje, że użytkownicy Androida na świecie spędzają ponad 40 procent swojego czasu na korzystaniu z aplikacji społecznościowych i komunikacyjnych, co wskazuje, że teraz spędzają średnio ponad 2 godziny dziennie, korzystając z tych usług tylko na telefonach komórkowych.

Aplikacje do zdjęć i wideo zajmują drugie miejsce pod względem udziału w czasie korzystania z telefonów komórkowych, stanowiąc jedną czwartą codziennej sumy. Łącznie te dwie kategorie aplikacji odpowiadają za ponad dwie trzecie codziennych aktywności użytkowników Androida.

Przeglądanie Internetu zajmuje trzecie miejsce, ale zaledwie 8,1 procent całkowitego czasu korzystania z telefonów komórkowych, co jasno wskazuje, że natywne aplikacje stanowią ogromną większość dzisiejszych aktywności mobilnych.

Ciekawostką jest jednak, że gry stanowią zaledwie 8 procent typowego codziennego czasu użytkownika Androida.

Mimo tego stosunkowo niskiego udziału, gry mobilne stanowią największy udział w wydatkach konsumentów, zarówno w Sklepie Google Play, jak i w Sklepie App Store.

Twitter (obecnie X) również zwiększył swoją zdolność do dotarcia do reklam w ostatnich miesiącach. Liczby opublikowane w narzędziach reklamowych firmy wskazują, że globalne zasięgi wzrosły o 12 milionów użytkowników od października 2022 r. i o 120 milionów użytkowników od tego samego czasu w zeszłym roku.

Warto zauważyć, że liczby dotarcia do reklam na Twitterze zawsze były podatne na znaczne wahania – nawet w krótkich okresach – i ta ogólna liczba zasięgu prawdopodobnie obejmuje wiele „nie-ludzkich" jednostek (np. firmy, zespoły muzyczne, konta zwierząt domowych itp.).

W podsumowaniu Digital 2023 zwraca uwagę na następujące problemy:

1) wzrost sztucznej inteligencji w obszarze kreatywności: narzędzia takie jak ChatGPT, Dall-E, Midjourney, Stablediffusion i Synthesia to dopiero początek nadchodzącej fali „kreatywnej" sztucznej inteligencji. Oczekujemy wykładniczych postępów w wydajności, potężnych, realnych zastosowań i eskalacji debat dotyczących legalności, etyki i potencjalnego nadużycia;
2) marketing z większym celem: przemieszczanie się ludzi w kierunku bardziej przemyślanej aktywności w Internecie i pragnienie unikania „marnowania czasu" będą nadal kształtować działania online. To samo w sobie będzie interesujące, ale może to mieć szczególne wpływy dla reklamodawców. Użytkownicy mogą mieć ograniczone możliwości całkowitego uniknięcia natrętnych reklam, ale marketing, który świadomie dodaje wartość życiu ludzi – i którego ludzie aktywnie poszukują – będzie najlepiej przygotowany do sukcesu;
3) makroekonomiczne wpływy: w miarę trwania trudnej podróży świata przez polikryzys, będziemy szukać znaków, czy ludzie racjonalizują swoje subskrypcje w odpowiedzi na presję finansową, czy zmieniają swoje zachowania w zakresie informacji w odpowiedzi na potrzeby dobrostanu psychicznego. Istnieje także coraz większe prawdopodobieństwo, że napięcia geopolityczne doprowadzą do nowych sankcji i zakazów platform, co może radykalnie zmienić zachowania użytkowników i szerszy krajobraz cyfrowy;
4) ponowne przemyślenie społeczności: platformy, które obecnie nazywamy „społecznymi", będą nadal poszerzać swoje wpływy w naszym życiu, kształtując, gdzie szukamy informacji, w jaki sposób wykorzystujemy rozrywkę, i czyje opinie i działania wpływają na nasze światopoglądy. Rozmowy i wspólne doświadczenia będą nadal kluczowym elementem tych ofert, ale istnieje coraz bardziej przekonujący argument za „rozgrupowywaniem" tych platform i wykraczaniem poza ogólne terminy, takie jak „media społecznościowe";
5) przeładowanie dezinformacji: niestety, spodziewamy się, że więcej mediów celowo zniekształci fakty podczas raportowania trendów cyfrowych, a wzrost narzędzi takich jak ChatGPT może dodatkowo wzmacniać te zniekształcenia poprzez „kompostowanie" treści. W rezultacie nigdy wcześniej nie było tak ważne znalezienie dokładnych, reprezentatywnych danych do podejmowania decyzji marketingowych.

2. Wpływ technologii na rozwój cywilizacji

Od pewnego czasu można obserwować różnicę stanowisk w kwestii znaczenia, jakie technologia odgrywa w rozwoju ludzkiej cywilizacji. Zgodnie z podejściem określanym jako technologiczny determinizm rozwój cywilizacji technicznej warunkuje organizacje społeczne człowieka, jego perspektywy odbioru i rozumienia rzeczywistości, a także formy komunikowania, a zatem wyznacza kierunek rozwoju człowieka jako gatunku. Zwolennicy determinizmu technologicznego w wersji umiarkowanej przytaczają liczne przykłady przemawiające na korzyść głoszonej tezy. W świetle aktualnej wiedzy o strukturze i funkcjonowaniu ludzkiego mózgu, który kształtuje się pod wpływem nowych doświadczeń, pojawianie się technologii intelektualnych, jak język, mapa, zegar, media elektroniczne, musiało zmieniać system połączeń neuronalnych, początkowo w wymiarze funkcjonalnym, a następnie strukturalnym. Owe zmiany w systemie tkanki nerwowej wywołane stosowaniem nowych narzędzi przekładały się następnie na zmiany w odbiorze i rozumieniu otaczającego świata, a także praktycznego radzenia sobie z problemami życia codziennego[8].

W wersji skrajnej hipoteza technologicznego determinizmu zakłada wysoki poziom autonomii postępu technologicznego w stosunku do kompetencji kontrolnych człowieka. W niektórych ujęciach technologia miałaby wręcz posługiwać się człowiekiem, którego funkcja sprowadzałaby się do konstruowania coraz bardziej złożonych maszyn, aż do osiągnięcia przez nie możliwości samoreprodukowania się[9].

Później rola człowieka stawałaby się zbędna, a jego egzystencja – problematyczna. Stanowisko skrajnego determinizmu eksploatowane jest w literaturze *science fiction*, nie można go jednak – w aktualnym stanie wiedzy – zdecydowanie odrzucić. Nie wiadomo bowiem, czy samo zwiększanie się poziomu komplikacji ilościowej systemu nie może prowadzić do zmiany jakościowej. Jest to problem analogiczny do tego, z jakim mamy do czynienia w przypadku prób wyjaśnienia genezy świadomości i samoświadomości u człowieka jako gatunku. Niekiedy spekuluje się, że za pojawienie się tych nowych – w stosunku do materialnego mózgu – jakości odpowiada (dokonujący się ewolucyjnie czy też skokowo w historii gatunku w zjawiskach tzw. emergencji lub superweniencji) wzrost złożoności fizycznego systemu, na poziomie fizjologicznym, biochemicznym czy też kwantowym.

Czynnikiem katalizującym gwałtowne zmiany w naturze człowieka miałaby być w czasach współczesnych tzw. cyberprzestrzeń, która w przyspieszonym tempie staje się dominującym środowiskiem aktywności życiowej człowieka[10]. Równocześnie ewoluuje również pojęcie cyberprzestrzeni. Już ponad dekadę temu W.J. Mitchell zwracał uwagę, że metafora cyberprzestrzeni jako nieskończenie wielkiego świata ukrytego w kablach łączących komputery wszystkich użytkowników internetu odchodzi do przeszłości[11]. Metafora ta mogła być użyteczna jeszcze do niedawna, gdy próbowano zrozumieć zasady funkcjonowania tego systemu komunikacyjnego, pojawiły się jednak istotne zmiany w rzeczywistości informatycznej podważające jej znaczenie eksplikacyjne. Zmiany te polegają na intensywnym rozwoju telefonii komórkowej i bezprzewodowego internetu oraz powszechnego dostępu do sieci elektronicznej, tak jak do sieci elektrycznej czy gazowej. W związku z tym faktem cyfrowe bity informacji nie stanowią już zawartości odrębnej przestrzeni – cyberprzestrze-

[8] G. Sartori, *Telewizja i postmyślenie*, Warszawa 2007.

[9] M. McLuhan, *Zrozumieć media. Przedłużenie człowieka*, Warszawa 2004.

[10] T. Henthorne, *String theory, French horns, and infrastructure of cyberspace*, „Technology in Society", 2010/32, s. 204–208.

[11] W.J. Mitchell, *ME++. The cyborg self and the networked city*, Cambridge, Mass, 2003.

ni, ale stały się składnikiem rzeczywistości. Technologie bezprzewodowe są odpowiedzialne za harmonijne powiązanie zjawisk wirtualnych z realnymi, w takim sensie, iż wydarzenia w cyberprzestrzeni znajdują swoje odzwierciedlenie w przestrzeni rzeczywistej i odwrotnie. Bezprzewodowe urządzenia połączone z równie bezprzewodową siecią łączą ludzi z otoczeniem, a jednocześnie wyznaczają formy poruszania się w przestrzeni rzeczywistej, zwłaszcza w miastach. W świecie, w którym granice fizyczne tracą swoje znaczenie, trwa zmiana sposobu, w jaki buduje się znaczenia i konstruuje wiedzę.

Odmienne stanowisko w kwestii roli technologii w rozwoju świata zajmuje instrumentalizm technologiczny. Jego zwolennicy przyjmują, że postęp techniczny dostarcza jedynie narzędzi, których stosowanie pozostaje pod kontrolą człowieka. Narzędzia te mogą zostać wykorzystane w sposób korzystny lub niekorzystny, jednak to człowiek, a nie maszyna odgrywa decyzyjną rolę w kwestii zastosowania. Autorzy w większym stopniu koncentrują się na rozpatrywaniu zalet, jakie dla rozwoju człowieka jako gatunku ma wykorzystanie technologii informatycznej. Nie chodzi przy tym o futurystyczne wizje wspaniałej przyszłości roztaczane przed ludzkim gatunkiem, lecz o konkretne zastosowania niepociągające za sobą radykalnych przeobrażeń w zakresie esencji człowieka, choć – niewykluczone, iż modyfikujące na dłuższą metę jego kompetencje poznawcze – tak jak kiedyś uczyniły to pismo, druk i inne wynalazki. Odrębną kwestią pozostaje to, na ile współczesny człowiek może przewidzieć wszystkie konsekwencje wykorzystania konstruowanych przez siebie narzędzi.

Jak wskazuje dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2016/1148 z 6.07.2016 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu bezpieczeństwa sieci i systemów informatycznych na terytorium Unii (Dz.Urz. UE L 194, s. 1), „Sieci oraz systemy i usługi informatyczne pełnią ważną rolę w społeczeństwie. Ich niezawodność i bezpieczeństwo mają zasadnicze znaczenie dla działalności gospodarczej i społecznej, w szczególności dla funkcjonowania rynku wewnętrznego".

W ostatnich latach nasiliły się ataki nie tylko na firmy, ale również struktury państwa – we Francji, w Niemczech, Indiach, Holandii, Szwecji, Ukrainie i Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Gangsterzy próbowali zatruć wodę na Florydzie, włamali się do producenta szczepionek na COVID-19 firmy Pfizer Pharmaceuticals. Ataki na infrastrukturę technologiczną światowej produktywności mogą mieć poważne konsekwencje społeczne i ekonomiczne[12].

3. Cyborgizacja człowieka

Nie ulega wątpliwości, że już współcześnie mamy do czynienia z szerokim wprowadzaniem instrumentów technicznych wzbogacających psychofizyczne możliwości człowieka. W tym kontekście w literaturze stosuje się niekiedy określenie „cyborgizacja", pochodzące od terminu „cyborg" (połączenie pierwszych liter wyrazów *cybernetic* i *organism*) stworzonego przez M. Clynesa i N. Kline'a przy omawianiu korzyści wynikających z połączenia człowieka z maszyną[13].

W szerokim rozumieniu z cyborgizacją mamy do czynienia w sytuacji każdej osoby, w której organizmie zaimplantowano jakiekolwiek urządzenie mechaniczne lub elektro-

[12] D.G. Graham, *Etyczny haking. Praktyczne wprowadzenie do hakingu*, tłum. Ł. Wójcicki, Helion, Gliwice 2021, s. 17.

[13] M. Clynes, N. Kline, *Cyborgs and space, „Astronautics"*, 1960, wrzesień, s. 27.

niczne. Już od kilkudziesięciu lat technologia jest wykorzystywana w medycynie w celu poprawy działania ludzkiego organizmu uszkodzonego w wyniku choroby lub urazu fizycznego, niekiedy w pełni przywracając utraconą lub osłabioną zdolność. Do takich urządzeń można zaliczyć rozruszniki serca i kardiowertery-defibrylatory, endoprotezy, części kręgosłupa. Do poprawy zaburzonych funkcji organizmu wykorzystuje się coraz częściej osiągnięcia z zakresu neurotechnologii, biotechnologii i nanotechnologii. Współcześnie w wyniku rozwoju technologicznego lekarze wszczepiają w trakcie operacji mózgu z precyzją ułamków milimetra specjalne miniaturowe sondy, które potem sterują elektryczną aktywnością sieci neuronów. W niektórych przypadkach mamy do czynienia nie tylko z przywróceniem osłabionej w wyniku choroby czy urazu funkcji, ale z ponadprzeciętnym poszerzeniem zdolności sensorycznych i/lub motorycznych człowieka, jak choćby przypadek O. Pistoriusa, który wziął udział w Olimpiadzie w Londynie, startując zarówno w igrzyskach olimpijskich, jak i paraolimpijskich, biegnąc na specjalnie skonstruowanych sztucznych nogach.

W węższym rozumieniu terminu „cyborgizacja" chodzi o sytuacje, w których układ nerwowy człowieka, zazwyczaj mózg, jest połączony z urządzeniami elektronicznymi w sposób zapewniający ich interakcję. U źródeł tego typu ingerencji w ludzki organizm leżało wynalezienie myszki komputerowej przez D. Engelbarta. Uczony ten opracował swój wynalazek w ramach projektu wzmacniania ludzkiego intelektu jeszcze w latach 60. XX w. O ile operowanie klasyczną myszką wymaga motoryki, o tyle opracowano metody umożliwiające m.in. poruszanie kursorem na ekranie komputera jedynie siłą myśli. Neurolodzy z Massachusetts General Hospital w Bostonie wszczepili specjalny układ Braingate do kory motorycznej mózgu pacjenta unieruchomionego w wyniku paraliżu od szyi aż do stóp. Pacjent ten był w stanie nie tylko poruszać kursorem, ale również otwierać pocztę elektroniczną, grać w gry komputerowe, a nawet poruszać ramieniem robota. Jeszcze bardziej interesujące są osiągnięcia K. Warwicka, profesora cybernetyki na Uniwersytecie w Reading, w Wielkiej Brytanii, który dokonał wszczepienia we własne ciało implantu pozwalającego na komunikację z maszynami i sterowanie nimi za pomocą myśli. Konstruktorzy z firmy Emotive zaprojektowali specjalny hełm działający na zasadzie elektroencefalografu, który rejestruje i analizuje aktywność komórek nerwowych w ośrodkach mózgu odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji, w tym za podejmowanie decyzji, a następnie zamienia je na elektryczne impulsy pozwalające sterować grą. Jest ono w stanie rozpoznać ponad 30 różnych myśli, co umożliwia dokonywanie różnych operacji na widzianych na ekranie komputera przedmiotach, jak podnoszenie, opuszczanie, obracanie (EEG Features, http://emotiv.com/). Urządzenie jest również w stanie rozpoznać stany emocjonalne gracza. Każdy z tych stanów wpływa moderująco na jego zachowanie, np. przyspieszając lub zwalniając jego ruchy.

Osiągnięcia cywilizacyjne już od dawna zmieniały życie człowieka, a co więcej, wyłączały go stopniowo z podlegania bezwzględnym prawom ewolucji. Już tysiące lat temu opanowanie ognia i używanie skór zwierząt do ochrony przed zimnem spowodowały utratę owłosienia na ciele. W analizach dotyczących ewolucji dyskusja toczy się wokół pytania, czy rozwój gatunku ludzkiego jeszcze podlega jej prawom, czy też dokonania współczesnej cywilizacji w zakresie techniki i medycyny wyłączyły całkowicie człowieka spod władzy przyrody. Osiągnięcia współczesnej techniki powalają prognozować perspektywę dalszego przekraczania dotychczasowych biologicznych ograniczeń istot ludzkich. Wykorzystanie technologii informatycznej w dziedzinie uczenia się może obejmować różne sfery funkcjonowania psychicznego jednostki, takie jak percepcja, pamięć, myślenie czy podejmowanie

decyzji. W przypadku percepcji szczególne zainteresowanie budzi wzbogacanie doświadczeń człowieka o tzw. poszerzoną rzeczywistość. Terminem tym określa się system łączący świat rzeczywisty z wytwarzaną symultanicznie przez komputer rzeczywistością wirtualną, który ponadto charakteryzuje się interaktywnością i umożliwia swobodę ruchów w trzech wymiarach[14]. W stosowanych urządzeniach zazwyczaj wykorzystuje się obraz z kamery, na który nałożona jest generowana w czasie rzeczywistym trójwymiarowa grafika. Wiodącą rolę w zachodzących zmianach odgrywa wzrastająca liczba urządzeń mobilnych, bez których wiele osób nie potrafi sobie wyobrazić codziennego życia.

Dla rozwoju rozszerzonej rzeczywistości duże znaczenie ma kontynuacja prac nad rozwojem technologii rzeczywistości wirtualnej. Już niedługo ma pojawić się urządzenie do generowania trójwymiarowego obrazu umożliwiającego m.in. realistyczną przechadzkę ulicami miasta. Trwają też prace nad dołączeniem innych, poza wzrokową, modalności sensorycznych w ramach kreowanej przez maszynę rzeczywistości wirtualnej. Głównie chodzi o doznania dotykowe możliwe do wytworzenia dzięki zastosowaniu tzw. technologii haptycznych. Na przykład interfejs wytwórni Disneya umożliwia doświadczanie przez użytkowników tabletów doznań dotykowych poprzez generowanie słabych wibracji podczas trójwymiarowego odwzorowywania prezentowanych na ekranie obiektów; możliwe jest np. odczuwanie nierówności kraterów na Księżycu czy kolców roślin.

Wykorzystanie zdobyczy cywilizacji w ramach uczenia się dotyczy też bezpośrednio pamięci i bywało postrzegane jako zagrożenie dla naturalnych kompetencji poznawczych człowieka. Sokrates w dialogach zapisanych przez Platona (*Fajdros*) obawiał się, że wynalazek pisma może osłabić u ludzi zdolność zapamiętywania, tak ważną w ówczesnej kulturze opierającej się na retoryce i dyskusji[15]. Niepokój okazał się w dużym stopniu nieuzasadniony, gdy okazało się, że możliwości techniczne związane z wykorzystaniem zewnętrznych nośników pamięci poważnie wzmacniają potencjał edukacyjny, nie osłabiając przy tym autonomii człowieka. Warto jednak mieć na uwadze, że korzystanie z udogodnień, jakie stwarza np. komputer, może pociągać za sobą, jako czynnik uboczny, zredukowanie aktywności poznawczej uczącej się osoby, a fakt ten może negatywnie odbić się na efektach zapamiętywania. Prawidłowość tę zaobserwowano bardzo wyraźnie w badaniach, w których osoby miały za zadanie przepisać określony zestaw słów, przy czym pierwsza grupa czyniła to pisząc ręcznie, a druga przy pomocy klawiatury[16]. Stwierdzono, że znacznie więcej wyrazów przypomniały sobie osoby z grupy pierwszej, co interpretowano jako efekt większego wysiłku – poznawczego i manualnego, który osoby te musiały zainwestować podczas wykonywania zadania.

Internet stanowi bardzo użyteczne narzędzie nie tylko dla zapełnienia niewiedzy poprzez odszukanie ważnej zadaniowo tzw. relewantnej informacji, niezależnie od tego, czy chodzi o dane dość podstawowe, jak pojedynczy fakt, data zdarzenia, czy też bardzo złożone, jak wyjaśnienia naukowe w postaci teorii i modeli. Internet może służyć też do realizacji celów jeszcze bardziej poznawczo skomplikowanych, a mianowicie przy podejmowaniu decyzji w sytuacjach niepewności. Chodzi mianowicie o zjawisko, które ujawnia się w sytuacji odwoływania się i uwzględniania opinii dużej – możliwie jak największej – liczby laików przy rozwiązywaniu specjalistycznego zadania. J. Surowiecki w swojej

[14] R. Azuma, M. Billinghurst, G. Klinker, *Special Section on Mobile Augmented Reality*, „Computers & Graphics" 2011/35(4), s. 34–45.

[15] D. Draaisma, *Metaphors of Memory. A History of Ideas about the Mind*, Cambridge University Press, 2000.

[16] T.J. Smoker, C.E. Murphy, A.K. Rockwell, *Comparing memory for handwriting versus typing*, „Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting" 2009/53(22), s. 1744–1747.

inspirującej pracy pt. *Mądrość tłumów* (*Wisdom of crowds*) wskazuje, że duże grupy ludzi niejednokrotnie są w stanie podjąć bardziej trafne decyzje niż wąskie ekipy ekspertów[17]. Autor książki opisuje badania, jakie w 1906 r. przeprowadził słynny przyrodnik i statystyk F. Galton na targu w Anglii. Zebrani tam farmerzy mieli ocenić wagę mięsa, które pozostanie po zabiciu i sprawieniu prezentowanego im wołu; zwycięzcą miała zostać oczywiście osoba, której szacunek był najbardziej trafny. Ponieważ każdy uczestnik zapisywał swoją propozycję na oddzielnej kartce, którą następnie wręczał organizatorom konkursu, nie było trudności z przeprowadzeniem nieskomplikowanych obliczeń statystycznych w postaci uśrednienia wszystkich cząstkowych ocen. Ku zdziwieniu badacza, który rezultaty swojego doświadczenia opublikował w „Nature", okazało się, że uśredniony wynik jedynie nieznacznie, o 40 gramów (przy całkowitej wadze mięsa wynoszącej 542 kg), odbiegał od stanu faktycznego i był lepszy od oceny zawodowego rzeźnika. Trafność uśrednionych ocen była obserwowana także przy ustalaniu miejsca zaginięcia zatopionego okrętu, a leżąca u podłoża sukcesu logika odpowiada również za to, iż dla uczestników popularnych teleturniejów sprawdzających wiedzę z różnych dziedzin (np. „Milionerzy") bardziej korzystne okazuje się skorzystanie z pomocy widowni (tzw. pytanie do publiczności) niż z pomocy wybranej osoby (tzw. telefon do przyjaciela). Niezwykłe zjawisko mądrości tłumu, współcześnie w literaturze angielskiej określane mianem *crowd-sourcingu*, bywa wykorzystywane przez różne organizacje i firmy nie tylko w celach diagnostycznych, ale również przy prognozowaniu przyszłych zdarzeń, np. przewidywaniu wyników wyborów czy zawodów sportowych. Korzystanie z rozproszonej w różnych społecznościach wiedzy ma również swoje ograniczenia. Doskonale wiadomo bowiem, jak nieracjonalne potrafią być oceny, a w ich następstwie zachowania ludzi, np. podczas kryzysów ekonomicznych. Wydaje się, że czynnikiem optymalizującym znaczenie wiedzy zbiorowej jako podstawy trafnych decyzji w takich dziedzinach jak ekonomia, biznes czy polityka jest fakt wzajemnej niezależności indywidualnie podejmowanych decyzji. Natomiast w przypadku gdy opinie ludzi są formowane przez uniformizujące myślenie czynniki, jak np. media, zamiast zbiorowej mądrości możemy mieć do czynienia ze zbiorowymi halucynacjami, paniką itp.

Mając na uwadze niewątpliwe zalety internetu jako specyficznego partnera w sferze pamięci, nie należy jednak zapominać o problemach, które nie zostały jeszcze rozwiązane. Trzeba do nich zaliczyć kwestię tendencyjności, a w konsekwencji wartości udostępnianych przez sieć informacji w odpowiedzi na zasygnalizowane przez użytkownika sieci potrzeby. Jak wiadomo, przez długi czas digitalizacja polegała po prostu na archiwizowaniu treści uznanych za wiarygodne na mocy stojących za nimi akademickich autorytetów i kulturowej tradycji. W nowych źródłach, takich jak np. Wikipedia, każda osoba może napisać hasło na praktycznie każdy temat. Źródło to jest ogromnym zasobnikiem danych, nie jest jednak oparte na hierarchicznej strukturze stojących za nim autorytetów, ale na federacji niezależnych i równorzędnych w stosunku do siebie podmiotów – aktywnych użytkowników sieci, autorów tych danych. Inne zagrożenie związane z korzystaniem z zawartych w internecie informacji, które wydaje się szczególnie poważne w kontekście autonomii, dotyczy tendencyjności udostępnianych treści. Wiadomo, że w zasobach przechowywanych informacji występuje zaburzenie proporcji między tym, co zaszło w epoce przed pojawieniem się mediów elektronicznych i po ich pojawieniu się, zwłaszcza internetu. Informacje względnie świeże są niewątpliwie nadreprezentowane w całokształcie zasobów sieci, co znajduje wyraz w udostępnianych odpowiedziach. Specyficzny problem dotyczy

[17] J. Surowiecki, *The Wisdom of Crowds*, New York 2005.

roli, jaką w udostępnianiu informacji odgrywają wyszukiwarki internetowe, a ściślej mówiąc – algorytmy indeksujące i organizujące stale napływające do sieci informacje poprzez nadawanie im priorytetów w skali ważności. Chodzi o to, aby otrzymywać dane wysokiej jakości i możliwie pełną odpowiedź na zadane pytanie. Jednocześnie chodzi o ograniczenie wyników mało wartościowych i bezwartościowych, czyli tzw. spamu.

Istotne jest, iż ważność udostępnianych treści coraz rzadziej jest ujmowana jako cecha samych informacji, a coraz częściej jako właściwość „zakładanych" oczekiwań odbiorcy. W tym kontekście wyszukiwarki podsuwają informacje w sposób zindywidualizowany, co może prowadzić do tego, iż na to samo pytanie zadane przez różne osoby przygotowane zostają różne zestawy danych. Udostępniane informacje poddawane są więc spersonalizowanemu filtrowaniu, stając się niejako okularami, przez które odbierana jest rzeczywistość. Z owym zjawiskiem mogą wiązać się oczywiste korzyści, ale również zagrożenia. Jeżeli chodzi o niebezpieczeństwa, to należy zaliczyć do nich personalizację informacji, która będzie prowadziła do przekształcania się sieci w swoisty konglomerat grup coraz silniej integrujących się ze sobą, opierając się na podobieństwie przekonań, lecz coraz słabiej porozumiewających się z innymi grupami.

Obserwacja zachodzących zmian skłania różnych autorów do formułowania bardziej ogólnych i perspektywicznych wniosków. Wskazuje się, iż zinformatyzowana rzeczywistość, w której żyjemy, kształtuje generację ludzi, którzy są przekonani, że wiedzą więcej, niż zdają się o tym świadczyć ich faktyczne zasoby pamięciowe. Jest to możliwe wskutek zacierania się w świadomości użytkowników podziału między indywidualnymi zasobami a zasobami sieci. Być może obserwowana tendencja stanowi początek kształtowania się „wspólnego umysłu" i rozwoju nowego rodzaju inteligencji, która nie będzie ograniczała się do umysłu pojedynczego człowieka i posiadanej przez niego wiedzy. Gdy dojdzie do wyzwolenia się z konieczności zapamiętywania dużej liczby faktów, może wówczas będzie wykorzystywać uwolnione dzięki temu zasoby umysłowe do realizacji różnych intelektualnych wyzwań. Ponieważ postęp w przetwarzaniu i przesyłaniu danych zaciera granicę między umysłem człowieka a maszyną, można oczekiwać pokonania ograniczeń wynikających z niedostatków ludzkiego rozumowania.

Informacje dostarczane przez sieć, choćby najbardziej szczegółowe i bogate, muszą jeszcze zostać odpowiednio zinterpretowane. Aczkolwiek twórcom programów wyszukujących informacje coraz lepiej udaje się zaspokajać oczekiwania osób uczących się i rozwiązujących problemy, to jednak w dalszym ciągu udostępnione treści muszą zostać zinterpretowane przez uczącego się i poznającego człowieka. Człowieka, który oprócz wiedzy i możliwości intelektualnych dysponuje również osobistym doświadczeniem, uczuciami, poczuciem tożsamości i samoświadomością. Dzięki temu jest on w stanie nadawać znaczenia i interpretować informacje w stopniu nieosiągalnym dla systemów informatycznych. Może również kierować własnym uczeniem się, nie tylko czyniąc to w sposób inteligentny, bo w pewnym stopniu jest to dostępne również maszynom, ale również racjonalny, podporządkowany uznawanym wartościom i ideałom.

4. Wpływ internetu na mózg człowieka

Do najgroźniejszych zagrożeń bezpieczeństwa człowieka związanych z internetem należy zaliczyć te, które dotyczą możliwości wywoływania trwałych, przekazywanych gatunkowo zmian w strukturze mózgu. Biorąc pod uwagę to, co wiadomo o neuroplastyczności

mózgu, trzeba stwierdzić, że internet dostarcza tego rodzaju bodźców sensorycznych i poznawczych, które szybko i wyraźnie przekładają się na zmiany w obwodach neuronalnych i w funkcjonowaniu mózgu[18]. Internet może się okazać jedyną (oprócz alfabetów i systemów liczbowych) technologią wywierającą największy wpływ na umysł, która weszła do tak powszechnego użytku, a na pewno jest przynajmniej tą, która po technologii książki wywarła największy wpływ.

W ciągu dnia większość ludzi, którzy mają dostęp do internetu, spędza przy nim co najmniej kilka godzin, a nierzadko znacznie więcej, w tym czasie zaś na ogół raz po raz powtarza się te same albo podobne czynności zazwyczaj bardzo szybko i często w reakcji na bodźce płynące z ekranu albo z głośnika[19]. Niektóre czynności mają charakter fizyczny i gdy wykonuje się te wszystkie czynności, nieprzerwany strumień bodźców płynie z internetu prosto do kory wzrokowej, somatosensorycznej i słuchowej. Część doznań dociera przez ręce i palce, gdy dotyka się klawiszy, nie brakuje też sygnałów dźwiękowych trafiających za pośrednictwem uszu, np. dźwięk, który obwieszcza nadejście nowego e-maila albo SMS-a. Istnieje także wiele bodźców wzrokowych, które przecinają siatkówkę, gdy jednostka przemieszcza się po wirtualnym świecie. Są to nie tylko bezustannie się zmieniające teksty, obrazy, nagrania wideo, lecz także hiperlinki wyróżnione za pomocą podkreślenia lub koloru, kursory zmieniające kształt w zależności od pełnionej funkcji, tematy nowych e-maili wyszczególnione pogrubioną czcionką, wirtualne przyciski itp. Internet angażuje wszystkie zmysły człowieka i czyni to jednocześnie[20]. Internet stanowi także system szybkiego udzielania odpowiedzi i nagradzania, który zachęca do powtarzania określonych czynności zarówno fizycznych, jak i umysłowych. Gdy klika się link, otrzymuje się coś nowego do obejrzenia i ocenienia. Gdy wpisuje się słowo kluczowe do wyszukiwarki Google, w mgnieniu oka dostaje się całą listę ciekawych informacji do zweryfikowania[21]. Interaktywny charakter sieci daje człowiekowi narzędzia o niezwykłym potencjale, które służą znajdywaniu informacji, wyrażaniu jego samego oraz utrzymywaniu kontaktu z innymi ludźmi.

Niezwykle interesujący jest fakt, że sieć skupia uwagę tylko po to, by ją zaraz rozproszyć[22]. Jednostka skupia się intensywnie na samym medium, na migającym ekranie, ale jest rozpraszana przez dostarczane przez nie w zawrotnym tempie komunikaty i bodźce, które ze sobą konkurują. Internet pozwala ludziom powrócić do przyrodzonego stanu rozproszenia, choć jednocześnie daje im znacznie więcej powodów do niego, niż doświadczali przodkowie współczesnego człowieka. Jak wiadomo z doświadczenia, nadmierna koncentracja na jakimś trudnym problemie sprawia uwikłanie się w sidłach rutyny – myślenie się zawęża, a człowiek na próżno próbuje wymyślić coś nowego. Kiedy jednak dany problem odsunie się na chwilę na bok, często się okazuje, że kreatywność powraca. Badania przeprowadzone przez A. Dijksterhuisa potwierdzają, że tego rodzaju przerwy dają nieświadomemu umysłowi czas na zmaganie się z danym problemem, ponieważ dzięki nim rozpoczynają się procesy przetwarzania informacji i uruchamiają mechanizmy poznawcze pozostające poza wpływem świadomej refleksji[23]. Eksperymenty tego badacza dowodzą, że zazwyczaj podejmuje się lepsze decyzje, jeżeli na jakiś czas przestaje się koncentrować na trudnym

[18] N.S. Baron, *Always on. Language in an online and mobile world*, Oxford 2008.

[19] J. Bednarek, *Teoretyczne i metodologiczne podstawy badań nad człowiekiem w cyberprzestrzeni* [w:] *Cyberświat – możliwości i zagrożenia*, red. J. Bednarek, A. Andrzejewska, Warszawa 2009, s. 21–55.

[20] N.S. Baron, *Always on*….

[21] T. Klingberg, *The overflowing brain. Information overload and the limits of working memory*, Oxford, 2009.

[22] N. Carr, *Płytki umysł. Jak internet wpływa na nasz mózg*, Gliwice 2013, s. 147.

[23] A. Dijksterhuis, *Think different. The merits of unconscious thought in preference development and decision making*, „Journal of Personality and Social Psychology" 2004/87, s. 586–598.

wyzwaniu, które stoi przed jednostką. Okazuje się również, że nieświadome procesy myślowe pomogą w rozwiązaniu problemu, pod warunkiem, że zdefiniuje się go w sposób jasny i świadomy. Jeżeli nie ma się w głowie żadnego konkretnego celu, to nieświadome myśli się nie pojawią[24].

Nieustanne rozproszenie uwagi, której źródłem jest internet, nie ma wiele wspólnego z tymczasowym, podporządkowanym określonemu celowi odwróceniem uwagi, które odświeża umysł, gdy podejmuje się jakąś decyzję. Charakterystyczny dla internetu nadmiar bodźców omija świadomy i nieświadomy umysł, nie pozwalając mu myśleć wnikliwie ani kreatywnie. Mózg zmienia się w zbiór jednostek przetwarzających pojedyncze sygnały, szybko wprowadzając informacje do świadomości, a następnie je stamtąd wyprowadzając. Stwierdzono, że mózg bardzo się zmienia pod względem fizjologicznym i funkcjonalnym za każdym razem, gdy zdobywa się nową umiejętność albo opanowuje nową zdolność, a internet jest najmłodszym elementem nowoczesnej cywilizacji, któremu współcześnie żyjący ludzie mogą poświęcić miliony rutynowych czynności. Obecnie trudno jest wyobrazić sobie życie bez internetu oraz takich narzędzi dostępnych *online*, jak choćby wyszukiwarka Google, a częste ich wykorzystywanie wywołuje pewne konsekwencje na poziomie neurologicznym[25]. Ponadto im częściej przegląda się strony internetowe, tym rzadziej czyta się książki, a im częściej wymienia się krótkie wiadomości tekstowe, tym rzadziej komponuje się pełne zdania i akapity. W rezultacie mózg zaczyna wykorzystywać nieużywane neurony i synapsy do innego typu działań. Zdobywamy się więc nowe umiejętności i zyskujemy świeże spojrzenie, ale tracimy stare.

Stwierdzono, iż internet wywołuje daleko idące zmiany w mózgu[26]. To, że codziennie ludzie posługują się komputerami, wyszukiwarkami i innymi tego rodzaju narzędziami, pobudza przemiany komórek mózgowych i uwalnianie się neuroprzekaźników, wzmacniając stopniowo nowe szlaki neuronowe w mózgach i osłabiając stare[27]. Przeprowadzono eksperyment, który faktycznie pokazał, jak mózg ludzki zmienia się w reakcji na korzystanie z internetu[28]. Badacze zaprosili do współpracy ochotników, z których połowę stanowili doświadczeni internauci, a drugą połowę nowicjusze, aby przyjrzeć się pracy ich mózgów podczas korzystania z wyszukiwarki Google. Ponieważ komputer nie mieści się w urządzeniu służącym do wykonywania rezonansu magnetycznego, badanych wyposażono w specjalne okulary, na które projektowano obrazy przeglądanych stron internetowych, oraz dotykowe pady do poruszania się po nich. Obrazy pracy mózgu pokazały, że aktywność mózgu doświadczonych internautów była znacznie większa niż nowicjuszy, a ponadto u badanych, którzy swobodnie posługiwali się internetem, uaktywniała się specyficzna sieć neuronalna w lewej przedniej części mózgu, czyli grzbietowo-bocznej korze przedczołowej, podczas gdy u osób początkujących ten obszar mózgu uaktywniał się w bardzo małym stopniu albo wcale się nie uaktywniał. Aby zweryfikować otrzymane wyniki, badacze poprosili uczestników eksperymentu o przeczytanie ciągłego tekstu, co miało symulować czytanie książki. W tym przypadku obrazy pracy mózgu nie wykazały znaczącej różnicy aktywności mózgów przedstawicieli obu grup. Odrębne drogi neuronalne u doświadczo-

[24] M.W. Bos, A. Dijksterhuis, R. van Baaren, *On the goal-dependency of unconscious thought*, „Journal of Experimental Social Psychology" 2008/44, s. 1114–1120.

[25] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 150.

[26] A. Ward, B.T. Prosser, *Reflections on cyberspace as the New „Wired World of Education"*, „Educational Technology and Society" 2011/14(1), s. 169–178.

[27] G. Small, G. Vorgan, *Jak przetrwać technologiczną przemianę współczesnej umysłowości*, Poznań 2011.

[28] G.W. Small i in., *Your brain on Google. Patterns of cerebral activation during internet searching*, „American Journal Of Geriatric Psychiatry" 2009/17, s. 116–126.

nych internautów powstały więc dzięki temu, że korzystają oni z sieci. Sześć dni później powtórzono badania, wcześniej jednak poproszono nowicjuszy, aby w przerwie między badaniami spędzali *online* godzinę dziennie, korzystając z wyszukiwarki. Nowe obrazy pracy mózgu pokazały, że obszar w korze przedczołowej, który dotąd pozostawał w dużej mierze uśpiony, wyraźnie się uaktywnił, podobnie jak w mózgach doświadczonych internautów. Po pięciodniowym treningu u niemających wcześniej styczności z internetem uaktywnił się ten sam rejon połączeń neuronalnych w przedniej części mózgu.

Inne odkrycie w ramach opisanego eksperymentu uwypukla różnice między czytaniem stron internetowych a czytaniem książek. Badacze zaobserwowali, że gdy ludzie korzystają z wyszukiwarki, schemat działań podejmowanych przez mózg okazuje się zupełnie inny niż wtedy, gdy czytają tekst w książce. W mózgu czytelników książek szczególnie aktywne okazują się obszary związane z językiem, pamięcią i przetwarzaniem bodźców wizualnych, w niewielkim zaś stopniu obszary przedczołowe, które uczestniczą w podejmowaniu decyzji i rozwiązywaniu problemów. Z kolei w mózgu doświadczonych internautów podczas przeglądania i przeszukiwania stron internetowych uaktywniają się wszystkie te obszary. W tym kontekście można powiedzieć, że z racji tego, iż przeszukiwanie internetu uaktywnia wiele funkcji mózgowych, może pomagać starszym osobom w zachowywaniu sprawności umysłu[29]. Wyszukiwanie i przeglądanie materiałów zdaje się bowiem „trenować" mózg w taki sam sposób, jak dzieje się to podczas rozwiązywania krzyżówek. Szczególnie intensywna aktywność mózgu internautów wskazuje również na to, dlaczego uważna lektura oraz inne czynności wymagające dłuższej i trwalszej koncentracji stają się tak trudne w wirtualnym świecie. Konieczność oceniania wartości poszczególnych linków i podejmowania kolejnych decyzji, w którą stronę podążać, przy jednoczesnym przetwarzaniu mnóstwa bodźców, wymaga bowiem ciągłej koordynacji czynności umysłowych i dokonywania wyborów, co odciąga mózg od pracy polegającej na interpretacji tekstu bądź innych informacji. Gdy tylko czytelnik napotyka link, musi się zatrzymać na przynajmniej ułamek sekundy, aby pozwolić korze przedczołowej ocenić, czy warto go kliknąć. Może nawet nie zauważać, kiedy przenosi zasoby umysłowe z czytania słów na dokonywanie oceny, okazuje się jednak, że utrudnia to rozumienie i zapamiętywanie, zwłaszcza jeżeli powtarza się to często. Gdy uruchamiają się funkcje wykonawcze kory przedczołowej, nie tylko ćwiczy się mózg, ale też się go przeciąża. W czasie korzystania z internetu zdolność do tworzenia licznych połączeń, które powstają podczas spokojnej uważnej lektury, pozostaje w dużej mierze niewykorzystana.

Niekiedy wskazuje się, że posługiwanie się komputerem stanowi źródło intensywniejszej stymulacji mentalnej niż czytanie książki. Jako dowód przywołuje się dane świadczące o bardziej intensywnej aktywności neuronowej, którą często obserwuje się w mózgach użytkowników komputerów w porównaniu do ograniczonej aktywności w mózgach czytelników książek. Dowody występujące na poziomie neuronowym mogą nawet prowadzić do wniosku, że czytanie książek pobudza zmysły w stopniu niewystarczającym[30]. Chociaż diagnoza wydaje się trafna, to interpretacja odmiennych schematów aktywności mózgowej okazuje się myląca, gdyż to właśnie sam fakt czytania książki sprawia, że czynność ta stanowi źródło satysfakcji intelektualnej. Dzięki temu bowiem można odsunąć na bok wszystko, co rozprasza i wyciszyć aktywność płatów czołowych odpowiadających za rozwiązywanie problemów. Ludzki mózg ma dwa rodzaje pamięci, które wyraźnie się od siebie różnią,

[29] J. Bednarek, *Teoretyczne i metodologiczne podstawy*..., s. 21–55.
[30] G.W. Small i in., *Your brain on Google*….

a mianowicie: pamięć krótkotrwałą i pamięć długotrwałą[31]. Bieżące wrażenia, doznania, myśli są wspomnieniami przechowywanymi w pamięci krótkotrwałej zazwyczaj przez parę sekund. Wszystko to, czego się dowiedzieliśmy o świecie, znajduje się w pamięci długotrwałej; wspomnienia mogą tam pozostawać przez kilka dni, parę lat, a nawet przez całe życie. Szczególny typ pamięci krótkotrwałej, czyli tak zwana pamięć robocza, odgrywa kluczową rolę w przekazywaniu informacji do pamięci długotrwałej, a więc także w tworzeniu osobistego zasobu wiedzy, wypełniając treścią świadomość jednostki. Jednostka jest świadoma tego, co znajduje się w pamięci roboczej, i nieświadoma całej reszty. Jeżeli porównamy pamięć roboczą do notatnika umysłu, to pamięć długotrwała będzie jego systemem przechowywania dokumentów[32]. Zawartość pamięci długotrwałej pozostaje w dużej mierze poza świadomością człowieka. Aby można było pomyśleć o czymś, czego jednostka się nauczyła albo czego doświadczyła, jej mózg musi przenieść dane wspomnienie z pamięci długotrwałej z powrotem do pamięci roboczej. Kiedyś zakładano, że pamięć długotrwała pełniła funkcję tylko dużego magazynu, gdzie przechowywane są fakty, doznania, zdarzenia, że odgrywa ona niewielką rolę w złożonych procesach poznawczych takich jak myślenie czy rozwiązywanie problemów. Naukowcy zajmujący się badaniem mózgu zdali sobie jednak sprawę z tego, że pamięć długotrwała stanowi w rzeczywistości ośrodek rozumienia, ponieważ przechowuje nie tylko fakty, lecz także złożone koncepcje czy pewne schematy poznawcze[33]. Organizując rozproszone wiadomości w postać całych wzorców, schematy te stanowią o głębi i bogactwie sposobu rozumowania. Sprawność intelektualna wyrasta w dużej mierze ze schematów, które nabyte zostały w ciągu dłuższego czasu. Człowiek jest w stanie zrozumieć różne idee w znanych mu dziedzinach wiedzy, ponieważ dysponuje odpowiednimi schematami.

5. Zalety internetu

Poziom inteligencji człowieka zależy od jego zdolności do przenoszenia informacji z pamięci roboczej do pamięci długotrwałej oraz wplatania ich w schematy myślowe. Przejście z pamięci roboczej do pamięci długotrwałej stanowi jednak główną przyczynę spowalniającą pracę mózgu, w przeciwieństwie bowiem do pamięci długotrwałej, którą charakteryzują ogromne moce przerobowe, pamięć robocza może przechowywać niewiele informacji. Współcześnie przyjmuje się, że ludzie są w stanie w danym momencie przetwarzać mniej więcej od dwóch do czterech elementów. Co więcej, elementy, które jednostka jest w stanie przechowywać w pamięci roboczej, szybko znikają, chyba że można je odświeżyć poprzez przeprowadzenie próby[34]. Przenoszenie informacji z pamięci roboczej do pamięci długotrwałej jest wyzwaniem, które N. Carr przyrównuje do napełniania wanny za pomocą kranu[35]. Regulując szybkość oraz intensywność przepływu, media wywierają silny wpływ na ten proces. Gdy czyta się książkę, informacje płyną z kranu jednostajnym strumieniem, który można kontrolować za pomocą tempa lektury. Poprzez skierowanie całej uwagi na tekst jest się w stanie przenieść wszystkie informacje albo ich znakomitą większość do pamięci długotrwałej i stworzyć liczne połączenia, które są niezbędne do po-

[31] M. Jagodzińska, *Psychologia pamięci. Badania, teorie, zastosowania*, Gliwice 2008.
[32] A.D. Baddeley, *Working memory: thought and action*, Oxford 2007.
[33] J.R. Anderson, *Cognitive psychology and its implication*, Worth Publishers, New York 2004.
[34] N. Cowan, *Working Memory Capacity*, New York 2005.
[35] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 156.

wstawania schematów poznawczych. W internecie mamy do czynienia z bardzo wieloma kranami informacyjnymi, przy czym wszystkie są odkręcone maksymalnie. Mały naparstek przepełnia się za każdym razem, gdy przechodzi się od jednego kranu do drugiego. Jednostka jest wówczas w stanie przenieść do pamięci długotrwałej tylko niewielką porcję informacji, a tak naprawdę przenosi mieszaninę kropel zebranych z różnych kranów, nie zaś ciągły, spójny strumień z jednego źródła.

Informacje wpływające do pamięci roboczej stanowią o obciążeniu poznawczym umysłu i gdy przekracza ono jego zdolności do przechowywania i przetwarzania informacji, to nie jest się już w stanie zachować otrzymanych wiadomości ani połączyć ich z tym, co już znajduje się w pamięci długotrwałej, ani przełożyć nowo zdobytych danych na schematy poznawcze. Cierpi na tym zdolność uczenia się, a rozumienie staje się powierzchowne. Ponieważ zdolność koncentracji również zależy od pamięci roboczej, gdyż trzeba pamiętać, na czym się skupiać, wysokie obciążenie poznawcze potęguje rozproszenie, którego doświadcza się w danym momencie. Różne eksperymenty wskazują na to, że gdy dociera się do granic pamięci roboczej, coraz trudniejsze staje się odróżnianie informacji istotnych od nieważnych, sygnałów od hałasu, a człowiek staje się bezmyślnym konsumentem danych[36]. Dwiema najważniejszymi przyczynami przeciążenia poznawczego są rozwiązywanie problemów za pomocą narzędzi zewnętrznych oraz tzw. podzielona uwaga. Tak się składa, że są to dwie najważniejsze cechy internetu jako medium informacyjnego, a korzystanie z sieci być może ćwiczy mózg tak jak rozwiązywanie krzyżówek, lecz tak intensywny trening, zwłaszcza gdy staje się dominującym sposobem funkcjonowania, zakłóca głębokie procesy uczenia się i rozumowania. Umysł w środowisku internetu działa tak jak podczas jednoczesnego czytania książki i rozwiązywania krzyżówki.

W latach 80., gdy amerykańskie szkoły zaczęły intensywnie inwestować w sprzęt komputerowy, powszechnie wyrażano entuzjazm w związku z ewidentną przewagą dokumentów elektronicznych nad papierowymi. Wielu pedagogów było przekonanych o tym, że wprowadzenie hiperlinków do tekstu wyświetlającego się na ekranie monitora okaże się korzystne w procesie nauczania. Zakładano, że hipertekst miał wspierać krytyczne myślenie uczniów, umożliwiając im łatwe przyjmowanie różnych punktów widzenia. Uczniowie uwolnieni z obowiązku wspólnej lektury w czasie lekcji mieli otrzymać możliwość tworzenia wszelkiego rodzaju połączeń intelektualnych między różnymi tekstami. Hipertekst miał okazać się modelem, który w większym stopniu odpowiada zdolności umysłu do reorganizowania elementów doświadczenia poprzez zmianę połączeń między skojarzeniami albo determinujących je czynników[37]. Okazało się jednak, że ocenianie hiperlinków i wytwarzanie połączeń między nimi polega na wykonywaniu zadań, które stanowią duże obciążenie dla umysłu, nie wchodząc przy tym w zakres samej czynności czytania. W rzeczywistości czytanie hipertekstu zwiększa obciążenie poznawcze czytelnika, a więc i osłabia jego zdolność rozumienia i zapamiętania tego, co czyta. Czytelnik hipertekstu często wpada w pułapkę bezrefleksyjnego klikania kolejnych stron i często nie pamięta, co przeczytał. W ramach innego badania dwie grupy uczestników odpowiadały na pytania dotyczące treści zbioru dokumentów. Jedna grupa przeglądała hipertekstowe dokumenty elektroniczne, druga zaś tradycyjne dokumenty papierowe. Grupa, która zajmowała się dokumentami papierowymi, osiągnęła znacznie lepsze wyniki.

[36] A.D. Baddeley, *Working Memory*….

[37] G. Landow, P. Delany, *Hypertext, hypermedia and literary studies* [w:] *Multimedia. From Wagner to Virtual Reality*, red. R. Packer, K. Jordan, New York 2001, s. 206–210.

Mimo że dzięki internetowi hipertekst stał się zjawiskiem popularnym, a wręcz wszechobecnym, badania nadal pokazują, że ludzie, którzy czytają tradycyjny tekst linearny, nadal rozumieją więcej, zapamiętują więcej i uczą się więcej niż ci, którzy czytają tekst z dużą liczbą linków. W jednym z badań poproszono kilkadziesiąt osób o przeczytanie opowiadania, przy czym jedna grupa czytała je w postaci tradycyjnego tekstu linearnego, druga zaś wersję z linkami charakterystyczną dla strony internetowej[38]. Okazało się, że lektura hipertekstu trwała dłużej, a w wywiadach, które miały miejsce po zakończeniu czytania, badani nierzadko stwierdzali, że czują się niepewni tego, co przeczytali. Trzy czwarte z nich powiedziało, że napotykali trudności ze śledzeniem tekstu, podczas gdy tylko jedna osoba na dziesięć spośród czytających tekst linearny zgłaszała tego rodzaju problem. Drugie badanie przeprowadzone przez tych samych naukowców tym razem przy użyciu krótszego i prostszego opowiadania przyniosło takie same rezultaty. Czytelnicy hipertekstu ponownie częściej zgłaszali, że śledzenie tekstu sprawiało im pewną trudność, a ich komentarze dotyczące przebiegu akcji oraz sposobu obrazowania okazały się mniej szczegółowe i mniej dokładne niż te, które pochodziły od czytelników tekstu linearnego.

W ramach innego eksperymentu zadaniem osób badanych było przeanalizowanie dwóch artykułów *online*, które przedstawiały przeciwstawne teorie uczenia się[39]. W jednym artykule argumentowano, że „wiedza jest obiektywna", w drugim zaś, że „wiedza jest względna". Oba teksty miały podobne nagłówki i zawierały linki do siebie nawzajem, co umożliwiało czytelnikowi szybkie przemieszczanie się między artykułami i porównywanie omawianych koncepcji. Zakładano, że osoby, które wykorzystają linki, lepiej zrozumieją obie teorie oraz występujące między nimi różnice, niż ci, którzy przeczytają całe teksty jeden po drugim. Okazało się jednak, że badani, którzy czytali artykuły linearnie, osiągnęli lepsze wyniki w rozwiązanym później teście na rozumienie niż ci, którzy przeskakiwali tam i z powrotem między tekstami. W innych badaniach uczestnicy zostali poproszeni o przeczytanie tych samych fragmentów tekstu *online*, lecz o różnej liczbie linków[40]. Następnie sprawdzono poziom rozumienia, prosząc czytelników o napisanie streszczenia tekstu oraz wypełnienie testu wielokrotnego wyboru. Okazało się, że poziom rozumienia spadał ze wzrostem liczby linków, badani musieli bowiem poświęcać coraz więcej uwagi i zasobów umysłowych na ocenianie linków oraz decydowanie, czy je kliknąć. W konsekwencji byli mniej skupieni i dysponowali mniejszymi zasobami poznawczymi, które mogliby wykorzystać w rozumieniu tekstu. Eksperyment wskazał na silną zależność między liczbą linków a dezorientacją czy przeciążeniem poznawczym. Czytanie i rozumienie wymagają stworzenia zależności między przedstawionymi koncepcjami, wyciągania wniosków, uruchamiania zasobów posiadanej wiedzy oraz syntezy głównych idei. Dezorientacja czy przeciążenie poznawcze musi więc zakłócać procesy kognitywne w postaci czytania i rozumienia. Metaanaliza wyników 38 eksperymentów, które dotyczyły odbioru hipertekstu, wykazała, że istnieje niewiele dowodów poświadczających prawdziwość teorii, że hipertekst umożliwi bogatsze doświadczanie tekstu.

Przeciwnie, stwierdzono, że wyższe wymagania co do podejmowania decyzji i przetwarzania bodźców wzrokowych związane z hipertekstem obniżają poziom jego rozumie-

[38] D.S. Mial, T. Dobson, *Reading Hypertext and the Experience of Literature*, „Journal of Digital Information" 2001/2, s. 34–42.

[39] D.S. Niederhauser, R.E. Reynolds, D.J. Salmen, P. Skolmoski, *The influence of cognitive load on learning from hypertext*, „Journal of Educational Computing Research" 2000/23, s. 237–255.

[40] E. Zhu, *Hypermedia interface design. The effects of number of links and granularity of nodes*, „Journal of Educational Multimedia and Hypermedia" 1999/8, s. 331–358.

nia, zwłaszcza w porównaniu z tradycyjną postacią linearną. Można zatem przyjąć, iż wiele cech hipertekstu zwiększa obciążenie poznawcze, w związku z czym może wymagać takiej zdolności pamięci roboczej, która przekracza możliwości czytelników[41].

Internet łączy technologię hipertekstu i technologię multimediów, dzięki czemu powstają tzw. hipermedia, w których podawane są łączone elektronicznie nie tylko słowa, ale także nieruchome i ruchome obrazy oraz dźwięki. Zakłada się, że multimedia pogłębią rozumienie i zwiększą skuteczność procesu nauczania, jednak hipoteza ta została podważona przez wyniki badań, gdy okazało się, że podzielność uwagi wymuszana przez multimedia nadweręża w jeszcze większym stopniu zdolności poznawcze, obniżając efektywność uczenia się i poziom rozumienia[42]. W badaniach przedstawiano uczestnikom na komputerze za pomocą przeglądarki program informacyjny dotyczący pewnego kraju afrykańskiego. Część badanych oglądała wersję prezentacji, która składała się tylko ze stron zapełnionych tekstem, reszta zaś wersję, w której tekstowi towarzyszył związany z nim materiał audiowizualny odtwarzany w odrębnym oknie, przy czym widzowie mogli zatrzymywać go i ponownie puszczać w dowolnym momencie. Po obejrzeniu prezentacji badani wypełnili test złożony z dziesięciu pytań, które dotyczyły przedstawionego materiału. Różnica okazała się znacząca na korzyść badanych zapoznających się z materiałem bez towarzyszącego mu przekazu audiowizualnego. Badanych poproszono także o udzielenie odpowiedzi na szereg pytań odnośnie do ich wrażeń związanych z obejrzaną prezentacją. Ci, którzy widzieli wyłącznie tekst, uważali ją za bardziej interesującą, pouczającą i zrozumiałą, niż ci, którzy obejrzeli wersję multimedialną.

W innym eksperymencie podzielono zespół studentów na dwie grupy, z których jednej pozwolono w czasie wykładu surfować po internecie[43]. Okazało się, że studenci oglądali strony związane z treścią wykładu, ale oprócz tego odwiedzali witryny o innej tematyce, sprawdzali pocztę, dokonywali zakupów, oglądali wideo itp. Druga grupa wysłuchała tego samego wykładu, ale nie wolno jej było korzystać z komputerów. Zaraz po tym obie grupy wypełniły test, który weryfikował, co badani zapamiętali z wykładu. Stwierdzono, że ci, którzy surfowali po internecie, osiągnęli wyraźnie niższe wyniki w bezpośrednim sprawdzianie wiadomości, które należało zapamiętać, a co więcej, nie miało znaczenia, czy studenci przeglądali informacje związane z wykładem, czy też materiały zupełnie niezwiązane z jego treścią – wszyscy wypadli słabo. W innym eksperymencie poinstruowano grupę uczniów college'u, aby obejrzeli typowy program stacji telewizyjnej, w którym prezenter opowiadał o czterech zdarzeniach[44]. W tym samym czasie na ekranie pojawiały się także różne infografiki, a na znajdującym się na dole pasku wyświetlano tekst innych doniesień. Druga grupa uczestników badania oglądała ten sam program, lecz bez infografik i paska. Późniejsze testy pokazały, że uczniowie, którzy widzieli multimedialną wersję programu, zapamiętali znacznie mniej faktów z przedstawionych zdarzeń, niż ci, którzy widzieli wersję prostszą.

Ilustracje w podręcznikach często wyjaśniają i wzmacniają przekaz pisemny, a dydaktycy wykryli, że starannie opracowane prezentacje, które zawierają dźwiękowe lub wizualne objaśnienia bądź instrukcje, mogą zwiększyć skuteczność uczenia się. Prawidłowości te wyjaśnia się, wskazując, że nasz mózg wykorzystuje różne kanały w celu przetwarzania

---

[41] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 161.

[42] S.C. Rockwell, L.A. Singleton, *The effect of the modality of presentation of streaming multimedia on information acquisition*, „Media Psychology" 2007/9, s. 179–191.

[43] H. Hembroke, G. Gay, *The lecture and the laptop: Multitasking in wireless learning environments*, „Journal Of Computing in Higher Education" 2003/15(1), s. 46–64.

[44] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 163.

tego, co widzi się i słyszy. Pamięć robocza słuchowa i pamięć robocza wzrokowa funkcjonują w pewnym stopniu niezależnie od siebie i dlatego skuteczność pamięci roboczej można zwiększać przez wykorzystywanie ich obu, a nie tylko jednej z nich. W rezultacie w niektórych przypadkach negatywne skutki podzielonej uwagi mogą zostać złagodzone przez uruchomienie modalności słuchowej i wzrokowej. Internet nie został jednak stworzony w celu optymalizowania procesów nauczania i uczenia i dostarcza informacji w sposób starannie wyważony.

Internet jest z zasady systemem nastawionym na rozpraszanie uwagi, co jest konsekwencją nie tylko faktu, że może przybierać postać wielu różnych mediów jednocześnie, lecz także łatwości, z jaką można go wykorzystywać do wysyłania wiadomości i ich otrzymywania. Badania przeprowadzone wśród pracowników biurowych, którzy korzystają z komputerów, pokazują, że osoby te prawie zawsze przerywają to, co robią w danej chwili, aby czytać dopiero co otrzymane e-maile i odpowiadać na nie. Ponieważ każde sprawdzenie poczty czyni przerwę w procesie myślenia, koszt poznawczy może być wysoki. Wiadomo, że częste przerwy rozpraszają myśli, osłabiają pamięć oraz sprawiają, że odczuwa się napięcie i niepokój. Im bardziej złożony jest proces myślenia, tym większe są szkody, które rozproszenie to powoduje. Oprócz napływu prywatnych komunikatów internet przekazuje coraz więcej wszelkiego rodzaju powiadomień automatycznych. Czytniki kanałów informują, gdy pojawia się coś nowego w często odwiedzanej witrynie albo na ulubionym blogu, a portale społecznościowe powiadamiają o tym, co robią znajomi, często niemal minuta po minucie. W zależności od tego, ile informacji jednostka chce otrzymywać oraz jak często będzie o nich powiadamiana, może w ciągu godziny odbierać dziesiątki doniesień, a każde powiadomienie staje się przyczyną rozproszenia.

Poruszanie się po internecie wymaga szczególnie intensywnej postaci wielozadaniowości umysłu[45]. Oprócz zalewania informacjami pamięci roboczej tego rodzaju działanie narzuca zdolnościom poznawczym tzw. koszty przełączania. Za każdym razem, gdy przenosi się uwagę gdzie indziej, mózg musi dokonać reorientacji, wykorzystując w tym celu dodatkowe zasoby umysłowe. Mózg potrzebuje czasu, aby zmienić cele, zapamiętać zasady obowiązujące przy wykonywaniu nowego zadania oraz odciąć poznawcze wpływy wywierane przez poprzednią, wciąż jeszcze świeżą czynność. Stwierdzono, że przełączanie się nawet między tylko dwoma zadaniami może wyraźnie zwiększyć obciążenie poznawcze, utrudniając myślenie i podnosząc ryzyko, że przeoczy się jakąś ważną informację albo błędnie ją zinterpretuje.

W pewnym eksperymencie pokazano grupie dorosłych osób zestaw kolorowych kształtów i poproszono o sformułowanie na tej podstawie własnych przewidywań[46]. Badani wykonywali to zadanie, mając na uszach słuchawki, z których rozlegały się krótkie urywane dźwięki. W pierwszej próbie polecono ignorowanie ich i skoncentrowanie się na kształtach, natomiast w drugiej poproszono o śledzenie liczby dźwięków. Po każdej turze badani wypełniali test, który wymagał zinterpretowania tego, co zrobili przed chwilą. W obu próbach uczestnicy sformułowali przypuszczenia równie skutecznie, lecz po próbie o charakterze wielozadaniowym wyciąganie wniosków dotyczących doświadczenia okazało się znacznie trudniejsze. Przełączanie się między dwoma zadaniami zakłócało więc proces rozumienia, a uczenie się złożonych treści okazuje się trudniejsze, jeżeli nauce towarzyszy rozpraszająca ją czynność.

---

[45] W. Koutstaal, *The Agile Mind*, New York 2012.

[46] K. Foerde, B. Knowlton, R.A. Poldrack, *Modulation of competing memory systems by distraction*, „Proceedings of the National Academy of Sciences" 2006/103, s. 11778–11830.

Do najważniejszych zalet internetu jako technologii komunikacyjnej należą możliwości monitorowania zdarzeń oraz automatycznego wysyłania wiadomości. Korzysta się z nich w celu dostosowywania pracy systemu do własnych potrzeb oraz programowania baz danych, aby odpowiadały potrzebom i zainteresowaniem. Użytkownicy chcą być rozpraszani, ponieważ każda przyczyna rozproszenia stanowi jednocześnie cenną dla nich informację. Wyłączenie funkcji powiadamiania pociąga za sobą ryzyko utraty kontaktu z pewną rzeczywistością, a nawet społecznej izolacji. Ponadto nieprzerwany strumień nowych informacji pobudza naturalną skłonność do znacznego przeceniania tego, co dzieje się z ludźmi w danym momencie. W końcu XIX w. odkryto, że oczy podczas czytania nie przesuwają się po słowach całkiem płynnie, ale wykonują jakby niewielkie skoki, tzw. ruchy sakkadowe, zatrzymując się krótko w różnych miejscach każdego wersu. Zaobserwowano też, że układ miejsc fiksacji wzroku zmienia się znacząco w zależności od tego, co ktoś czyta i kto czyta[47]. Badania nad procesami czytania okazały się cenne również w kontekście pogłębiania wiedzy o wpływie internetu na uwagę i funkcje poznawcze, a zwłaszcza na ruchy gałek ocznych u internautów. Dwustu trzydziestu dwóm uczestnikom eksperymentu założono małe kamery, które śledziły ruchy ich oczu podczas czytania stron internetowych i przeglądania innych treści. Zaobserwowano, że prawie żaden z badanych nie czytał tekstu w sposób systematyczny, linijka po linijce, jak zazwyczaj czyta się tekst w książce[48]. Ogromna większość badanych szybko przebiegała tekst wzrokiem, oczy zaś przeskakiwały po stronie w dół jakby po kształcie litery F. Internauci zaczynali od przyjrzenia się pierwszym dwóm lub trzem linijkom tekstu. Następnie schodzili nieco w dół, aby przebiec spojrzeniem mniej więcej do połowy kilka kolejnych wersów. Wreszcie przyglądali się pobieżnie dalszym częściom tekstu, zwłaszcza po lewej stronie.

Ze stron internetowych rutynowo zbiera się dane dotyczące zachowań internautów, a więc m.in. tego, jak szybko przeskakują ze strony na stronę. Na podstawie analiz obejmujących dane o zachowaniach ponad miliona użytkowników witryn na całym świecie stwierdzono, że w większości krajów ludzie spędzają średnio między 19 a 20 sekund, oglądając daną stronę, zanim przejdą do następnej. Badano też zachowania użytkowników dwóch popularnych witryn naukowych prowadzonych przez British Library i przez brytyjskie konsorcjum edukacyjne. Obie strony oferowały użytkownikom artykuły z czasopism, e-booki i inne źródła informacji pisanej. Naukowcy zaobserwowali u ludzi, którzy odwiedzali te dwie witryny, szczególny sposób przeglądania treści, który polegał na szybkim przechodzeniu od jednego źródła do drugiego, przy rzadkim wracaniu do źródeł już raz obejrzanych. Uczestnicy badania zazwyczaj czytali co najwyżej stronę lub dwie danego artykułu bądź wybranej książki, a następnie kierowali się gdzie indziej. Użytkownicy nie czytają zatem tekstów *online* w tradycyjnym rozumieniu tej czynności, lecz szczególnie uważnie przeglądają tytuły, przesuwając wzrok w poziomie, jedynie przebiegając wzrokiem strony zawierające spisy treści i streszczenia. Wydaje się, że korzystają z internetu, aby właśnie unikać czytania w tradycyjnym znaczeniu tego słowa. Zmiana podejścia do czytania i do wyszukiwania informacji wydaje się nieuchronną konsekwencją zależności od technologii internetu oraz zapowiada głębsze przemiany sposobu myślenia człowieka[49].

Pojawienie się mediów cyfrowych i powiększający się zbiór dokumentów elektronicznych wywiera głęboki wpływ na sposób czytania, a przechodzenie od klasycznego czytania

[47] A. Hankala, *Czytanie jako przedmiot badań we współczesnej psychologii. Procesy rozpoznawania*, „Psychologia Wychowawcza" 1986/3, s. 257–268.

[48] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 168.

[49] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 171.

do wyszukiwania wybiórczego zachodzi dość szybko. Stwierdzono, że ludzie spędzają coraz więcej czasu na lekturze dokumentów elektronicznych, a poproszeni o scharakteryzowanie tego, jak ewoluowała ich praktyka czytelnicza, przyznają, że spędzają więcej czasu, przeglądając i szukając, i czytając „w sposób nielinearny". Odkrycia te wskazują, że środowisko cyfrowe zachęca ludzi do zapoznawania się z większą liczbą różnych tematów, ale w sposób bardziej powierzchowny, a hiperlinki mogą przeszkadzać w głębszej refleksji nad zdaniem. Mamy zatem do czynienia z zupełnie innym modelem lektury, przy czym nie ma niczego nieprawidłowego w przeglądaniu i przeszukiwaniu tekstów, a nawet w wybiórczym przeglądaniu i wybiórczym przeszukiwaniu tekstów, gdyż tak „czyta" się gazety, a także przebiega się wzrokiem książki lub czasopisma, aby zorientować się w ich zawartości, a następnie zadecydować, czy warto je przeczytać dokładniej. Zdolność przebiegania wzrokiem tekstu jest równie ważna jak zdolność tzw. czytania analitycznego[50]. Problem jednak polega na tym, że ten pierwszy sposób czytania zaczyna dominować, a przebieganie wzrokiem tekstu, które niegdyś stanowiło środek do osiągnięcia celu oraz sposób wychwycenia informacji wymagających głębszej analizy, staje się celem samym w sobie i ulubionym sposobem zbierania różnego rodzaju informacji oraz ich interpretowania.

Korzystanie z komputera i internetu rozwija pewne zdolności poznawcze, m.in. dzięki temu, że związane z nimi czynności uruchamiają takie funkcje umysłu, jak koordynacja oko–ręka, szybkie reagowanie oraz przetwarzanie bodźców wzrokowych. Zaobserwowano u młodych ludzi uczestniczących w eksperymencie, po zaledwie dziesięciu dniach grania na komputerze w gry akcji, wzrost szybkości, z jaką potrafili przenosić uwagę z jednych obrazków i zadań na inne. Ponadto okazało się, że doświadczeni gracze byli w stanie zidentyfikować więcej przedmiotów w swoim polu widzenia niż nowicjusze, a zatem granie w gry wideo wyraźnie zmienia sposób przetwarzania bodźców wzrokowych[51]. Wydaje się również logiczne, że czynności przeglądania witryn i wyszukiwanie informacji w internecie powinny wzmacniać te funkcje mózgu, które wiążą się z określonego typu sposobami rozwiązywania problemów, zwłaszcza dotyczących dostrzegania powtarzalnych wzorców w ogromnej masie danych. Poprzez ciągłe ocenianie wartości linków, nagłówków, urywków tekstów oraz obrazów ludzie powinni coraz lepiej i szybciej radzić sobie z wybieraniem właściwych wskazówek informacyjnych, z analizowaniem ich ważnych cech oraz z ocenianiem, czy przyniosą praktyczne korzyści w kontekście zadania, które właśnie wykonują, lub celu, do którego dążą. Szybkość, z jaką osoby były w stanie ocenić prawdopodobną wartość strony internetowej, wzrastała w miarę ich oswajania się z siecią. Doświadczonym internautom wystarczyło zaledwie kilka sekund, aby trafnie ocenić, czy dana witryna zawiera wiarygodne informacje.

Z innych badań wynika, że korzystanie z internetu może prowadzić do pewnego podwyższenia wydajności pamięci roboczej, co pomaga w nabieraniu wprawy w operowaniu danymi. Tego rodzaju badania dowodzą, że mózg uczy się szybkiego koncentrowania uwagi, analizy informacji i decydowania o podejmowaniu lub niepodejmowaniu dalszych działań. W miarę więc spędzania coraz większej ilości czasu na przeszukiwaniu ogromnej liczby danych dostępnych w internecie wytwarza się sieć neuronowa przystosowana do szybkich zmian w zakresie koncentracji uwagi. Im częściej jednostka przegląda i przeszukuje oraz wykonuje wiele zadań naraz, tym łatwiej jej plastyczny mózg wykonuje te czynności. Znaczenia tego rodzaju umiejętności nie można lekceważyć, gdyż w miarę jak praca i życie towarzyskie w coraz większym stopniu koncentrują się wokół mediów elektronicznych, im szybciej człowiek posługuje się nimi oraz im zręczniej przenosi uwagę między

[50] A. Hankala, *Czytanie jako przedmiot badań*...

[51] S. Green, D. Bavelier, *Action video game modifies visual selective attention*, „Nature" 2003/423, s. 534–537.

zadaniami wykonywanymi *online*, tym bardziej staje się wartościowy jako pracownik czy znajomy. Jednakże ciągłe przenoszenie uwagi, gdy jest się *online*, może sprawić, że mózg stanie się bardziej elastyczny w zakresie wielozadaniowości, ale polepszanie się zdolności do wykonywania szeregu czynności może działać na niekorzyść kreatywności i zdolności do głębszej refleksji. Im częściej wykonuje się wiele zadań równocześnie, tym zazwyczaj mniej przemyślane jest postępowanie i tym częściej polega na się na rozwiązaniach stereotypowych. W miarę jak zdobywa się coraz większe doświadczenie w przenoszeniu uwagi, dochodzi do rozwoju umiejętności radzenia sobie z wieloma zadaniami, ale nigdy człowiek nie będzie tak efektywny, jak wówczas, gdy koncentruje się na jednej rzeczy.

P. Greenfield zwraca uwagę, że każde medium pomaga rozwijać jedne zdolności poznawcze kosztem innych, a fakt, iż współcześnie bardzo często korzysta się z internetu i innych technologii elektronicznych, doprowadził do powszechnego i wyspecjalizowanego rozwoju umiejętności wzrokowo-przestrzennych[52]. Na przykład ludzie potrafią obracać w wyobraźni różnymi przedmiotami lepiej, niż robili to kiedyś, jednak nowe zdolności w zakresie inteligencji wzrokowo-przestrzennej idą w parze z osłabieniem zdolności głębokiego przetwarzania bodźców. Dzięki internetowi ludzie stają się więc mądrzejsi, pod warunkiem że zdefiniuje się inteligencję według standardów obowiązujących w internecie. Biorąc pod uwagę plastyczny charakter mózgu, nawyki związane z korzystaniem z internetu nie przestają oddziaływać na pracę synaps, gdy jednostka nie jest już *online*. Można założyć, że obwody neuronalne odpowiedzialne za przeszukiwanie, przeglądanie i wykonywanie wielu zadań naraz rozbudowują się i wzmacniają, zaś te, które wykorzystuje się przy dłuższej koncentracji, słabną. Przeprowadzono badania z zastosowaniem baterii testów mierzących zdolności poznawcze wśród osób, które potrafią wykonywać bardzo wiele zadań naraz, korzystając z różnych mediów, oraz tych, które mają mniejsze możliwości w tym zakresie. Okazało się, że badani z pierwszej grupy znacznie szybciej rozpraszali się pod wpływem nieistotnych bodźców z otoczenia, mieli słabszą kontrolę nad pamięcią roboczą oraz napotykali większe trudności z dłuższą koncentracją na wykonywanym zadaniu[53].

[52] P.M. Greenfield, *Technology and informal education. What is taught, what is learned*, „Science" 2009/323, s. 69–71.

[53] N. Carr, *Płytki umysł...*, s. 177.

Rozdział II

Komputer. Sieci komputerowe. Internet

1. Komputer i jego oprogramowanie

1.1. Komputery

Komputery są nieodłączną częścią naszego życia codziennego. Ich znaczenie dla społeczeństwa jest trudne do przecenienia. Mają one bezpośredni wpływ na wiele aspektów naszego życia. Pomagają nam w zarządzaniu ogromnymi ilościami informacji. Dzięki nim można przechowywać, organizować i przetwarzać dane w sposób efektywny i wydajny. Początkowo projektowane w celu automatyzacji prac obliczeniowych, dziś stały się niezbędnym codziennym narzędziem pracy w wielu dziedzinach zawodowych i daleko wykraczają poza pierwotne obszary zastosowań.

Komputery wspomagają procesy biznesowe w organizacjach takie jak tworzenie i edycja dokumentów, zaawansowane analizy danych, generowanie raportów i sprawozdań, obsługa i utrzymanie relacji z klientami, zarządzanie projektami itd. Opanowały sferę handlu oraz świadczenie różnorodnych usług, takich jak sklepy internetowe, bankowość elektroniczna, podróże oraz rezerwacje pobytu w hotelach, zamawianie posiłków w restauracjach, ubezpieczenia medyczne. Usługi świadczone elektronicznie przez instytucje państwowe pozwalają na integrację w jednej aplikacji mobilnej lub na portalu internetowym wielu usług polegających między innymi na autoryzacji użytkowników w ogólnopaństwowych systemach informatycznych, złożenie wniosków oraz przeprowadzanie postępowań administracyjnych.

Komputery są niezbędne do efektywnego prowadzenia badań naukowych, zarówno w dziedzinach nauk przyrodniczych, jak i społecznych. Wspomagają one pozyskiwanie danych, realizują ich konwersję do postaci cyfrowej, zapewniają przechowywanie oraz efektywne przetwarzanie dużych zbiorów informacji. Symulacje komputerowe pozwalają na przeprowadzenie wszechstronnej analizy różnorodnych zjawisk z wykorzystaniem złożonych modeli komputerowych, często w warunkach, gdzie obserwacja bezpośrednia lub budowa prototypu urządzenia byłyby trudne lub niemożliwe.

Komputery są motorem innowacji technologicznych. Rozwój technologii komputerowej ma wpływ na wiele dziedzin, takich jak sztuczna inteligencja, robotyka, medycyna, transport i inne. Przykładowo, komputery wbudowane stały się nieodłączną częścią współczesnych środków transportu indywidualnego i zbiorowego. Przeszły długą ścieżkę od

urządzeń lokalnych kontroli i sterowania pojedynczymi układami pojazdów do zintegrowanych systemów informatycznych, zdolnych do autonomicznego poruszania się w złożonych warunkach drogowych. Stało się to możliwe z jednej strony dzięki postępującemu progresowi w zakresie miniaturyzacji układów scalonych, co pozwala ciągle zwiększać ich wydajność obliczeniową, a z drugiej strony ze względu na duże sukcesy, które odniosły nowoczesne technologie takie jak głębokie uczenie maszynowe czy też wizja komputerowa. Osiągnięcia w dziedzinie budowy procesorów graficznych GPU skutkowały powstaniem potężnych stacji graficznych do przetwarzania, analizy oraz renderingu obrazów oraz wideo 3D.

Nie można też pominąć aspektów, związanych z zastosowaniem komputerów do celów osobistych. Budowa rozległych sieci komputerowych umożliwiła zwykłym ludziom komunikację na odległość za pomocą poczty elektronicznej, komunikatorów internetowych, mediów społecznościowych oraz innych narzędzi. W szkołach oraz na uczelniach procesy edukacyjne powszechnie stosują platformy komputerowe do wspomagania procesów dydaktycznych. Dziedzina ta bardzo szybko zaczęła się rozwijać w ostatnich latach między innymi z powodu pandemii koronawirusa. Komputery są również popularnym narzędziem do rozrywki. Ludzie używają ich do gier wideo, oglądania filmów i seriali, słuchania muzyki, czytania e-booków i przeglądania stron WWW w sieci globalnej Internet.

Komputery odgrywają kluczową rolę również w dziedzinie kryminalistyki. Umożliwiają one analizę dowodów cyfrowych, takich jak dane z telefonów komórkowych, komputerów, tabletów, urządzeń przechowujących dane, nośników pamięci USB itp. Analitycy cyfrowi mogą odzyskiwać dane, analizować je i identyfikować dowody związane z przestępstwami. Śledzenie działań użytkownika w sieci globalnej Internet, na portalach publicznych oraz w mediach społecznościowych, wiadomościach poczty elektronicznej e-mail oraz komunikatorach sieciowych, może pomóc w identyfikacji podejrzanych oraz zbieraniu informacji na temat przestępstw, w tym terroryzmu i przestępczości internetowej. Komputery są powszechnie używane do zabezpieczania dowodów cyfrowych, tak aby były one ważne i nienaruszone w procesie śledczym. To obejmuje m.in. procesy związane z tworzeniem kopii zapasowych i analizą danych bez naruszania ich integralności. Komputery umożliwiają prowadzenie baz danych kryminalistycznych, które przechowują informacje na temat przestępstw, sprawców i ofiar, z możliwością szybkiego dostępu online do niezbędnych informacji. Zaawansowane możliwości komputerów w zakresie analizy nagrań wideo i dźwięku, w tym z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji, pozwalają na rozpoznawanie osób podejrzanych na zdjęciach oraz nagraniach dźwiękowych, rekonstrukcję wydarzeń oraz wyodrębnianie istotnych informacji. Komputery są stosowane również do łamania szyfrów i kodów używanych w działaniach przestępczych oraz w zabezpieczaniu komunikacji przed nieupoważnionym dostępem. W ostatnich latach coraz bardziej powszechnie stosowane są metody identyfikacji biometrycznej osób na podstawie odcisków palców, rozpoznawania twarzy i skanowania tęczówki oka itp. Większość współcześnie produkowanych komputerów mobilnych oraz telefonów komórkowych posiada wbudowane czytniki informacji biometrycznych, zaś oprogramowanie wspierające ich obsługę staje się częścią systemu operacyjnego.

1.2. Definicja komputera

Komputer (ang. *computer*) jest elektronicznym urządzeniem przeznaczonym do wprowadzania, przetwarzania oraz wyprowadzania danych przedstawionych w formie cyfrowej, z wykorzystaniem programu zapisanego w pamięci[1].

Historycznie komputery były budowane z wykorzystaniem różnych baz elementów, a ich rozwój przebiegał przez kilka kluczowych etapów[2].

Jednym z pierwszych rodzajów komputerów był komputer mechaniczny. Przykładem może tu być maszyna różnicowa Charlesa Babbage'a, która była mechanicznym urządzeniem do wykonywania obliczeń matematycznych. Wykorzystywała koła zębate i dźwignie do wykonywania operacji matematycznych. Kolejnym przykładem mechanicznych urządzeń liczących jest kalkulator różnicowy Gottfrieda Leibniza wynaleziony przez autora w latach 80. XVII w. i służący do wykonywania działań matematycznych. Komputery mechanicznie nie mogły realizować dowolnego algorytmu – tylko „zaprogramowane" z góry rodzaje działań. Dlatego nie były komputerami uniwersalnymi w dzisiejszym rozumieniu, tylko urządzeniami liczącymi.

W latach 30. i 40. XX w. rozpoczęto budowę elektromechanicznych komputerów, które wykorzystywały prąd elektryczny do sterowania elektromagnetycznymi przełącznikami. Przykładem jest komputer Harvard Mark I. Komputery elektromechaniczne potrzebowały zasilania o dużej mocy, miały bardzo niską wydajność obliczeniową oraz wysoką awaryjność. Przekaźniki często ulegały uszkodzeniom ze względu na szybkie zużycie się, poluzowanie kontaktów lub szkodliwe działanie zewnętrzne. Ciekawym przykładem jest ilustracja pierwszego udokumentowanego błędu wykonania programu (ang. *bug*) z powodu pluskwy, która utkwiła pomiędzy kontaktami przekaźnika, zmieniając niespodziewanie algorytm działania[3].

Tuż po ukończeniu II wojny światowej powstają komputery oparte na lampach próżniowych. Lampy próżniowe były stosowane jako elementy elektroniczne do wzmacniania i przekształcania sygnałów elektrycznych. Szybkość działania komputerów lampowych była znacznie wyższa od ich elektromechanicznych poprzedników. Potrzebowały jednak własnych stacji zasilających, zajmowały setki metrów kwadratowych powierzchni oraz potrzebowały efektywnego systemu chłodzenia. Pierwszym i jednym z najbardziej charakterystycznych przedstawicieli tej grupy komputerów był ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) w połowie lat 40. XX w.[4] Był to komputer ogólnego przeznaczenia zdolny do realizacji dowolnego zaprogramowanego algorytmu. Komputery lampowe były znacznie mniej wydajne i bardziej podatne na awarie w porównaniu do następnych generacji komputerów na bazie tranzystorów, lecz odegrały kluczową rolę w rozwoju technologii komputerowej.

W latach 50. XX w. wraz z pojawieniem się tranzystorów, powstają komputery wykorzystujące tę bazę elementową. Skutkowało to znaczącym zmniejszeniem rozmiarów oraz zapotrzebowania na energię elektryczną w porównaniu z lampami próżniowymi. Pierwszym komputerem zbudowanym na bazie tranzystorów był TRADIC (ang. *Transi-*

[1] Na podstawie definicji komputera w Encyklopedii PWN online, https://encyklopedia.pwn.pl/.

[2] P.E. Ceruzzi, *A History of Modern Computing*, MIT press, 2003.

[3] World's First Computer Bug, https://education.nationalgeographic.org/resource/worlds-first-computer-bug/ (dostęp: 8.11.2024 r.).

[4] S. McCartney, ENIAC: The Triumphs and Tragedies of the World's First Computer. Walker & Company, 1999.

storized Airborne Digital Computer) zbudowany przez Bell Laboratories w 1954 r. w USA[5]. Głównym celem komputera były zastosowania militarne, przede wszystkim na potrzeby lotnictwa. Komputery na bazie tranzystorów stały się podstawą rozwoju technologii komputerowej przez następną dekadę. Ich miniaturyzacja była kluczowym czynnikiem umożliwiającym powstanie współczesnych urządzeń elektronicznych. W drugiej połowie lat 60. XX w. zostały wyparte przez komputery na układach scalonych.

Współczesne komputery są urządzeniami elektronicznymi, zbudowanymi z wykorzystaniem układów scalonych. Postępy w mikroelektronice sprawiły, że obecnie w jednej obudowie procesora mieści się do 20 miliardów tranzystorów. Przyczynia się to do coraz większej wydajności obliczeniowej współczesnych komputerów przy jednoczesnej ich miniaturyzacji oraz zmniejszeniu zapotrzebowania na energię. Aktualnie wiodący producenci CPU stosują technologię produkcji procesorów 7 nm i 5 nm. Osiągnięcie kolejnych etapów w miniaturyzacji staje się coraz trudniejsze, a producenci muszą stawić czoła wyzwaniom technicznym, takim jak na odprowadzanie ciepła lub przenikanie sygnałów pomiędzy sąsiadującymi elementami. Można więc stwierdzić, że bez zmian w procesach technologicznych wytwarzania układów scalonych nie uda się dalej skutecznie podnosić wydajności komputerów tylko drogą zwiększenia liczby tranzystorów. Na szczęście miniaturyzacja nie jest jedyną metodą postępu w technologii produkcji układów scalonych. W ostatniej dekadzie obserwowany jest ciągły wzrost rdzeni procesorów – niezależnych jednostek obliczeniowych w jednym procesorze, na których mogą być równolegle wykonywane różne algorytmy. Pojawiają się również nowe koncepcje architektury rozwiązań sprzętowych oraz optymalizacji już istniejących.

W chwili obecnej trudno jest przewidzieć, czy w najbliższym czasie pojawią się alternatywne technologie produkcji komputerów, które będą miały znacznie większą wydajność niż komputery na bazie układów scalonych. Jedną z interesujących oraz dobrze rokujących ścieżek rozwoju są komputery kwantowe[6]. Wykorzystują one prawa fizyki kwantowej do przetwarzania informacji. W przeciwieństwie do tradycyjnych komputerów, które opierają się na bitach jako jednostkach informacji, komputery kwantowe używają kubitów (skrót od kwantowych bitów). Koncepcja komputera kwantowego opiera się na zjawiskach z zakresu mechaniki kwantowej, takich jak superpozycja i splątanie, które pozwalają na równoczesne przetwarzanie wielu informacji. Komputery kwantowe mogą wykorzystywać algorytmy dostosowane do ich możliwości, które pozwalają na rozwiązywanie pewnych problemów zdecydowanie szybciej niż klasyczne komputery, przykładowo algorytm do rozkładania na czynniki liczby na czynniki pierwsze lub algorytm do przeszukiwania baz danych. Bardzo wysoka potencjalna wydajność komputerów kwantowych pozwoli na rozwiązanie problemów obliczeniowych, które obecnie są poza zasięgiem tradycyjnych komputerów, z takich dziedzin jak kryptografia, chemia, biologia, fizyka, badania materiałowe itp. Mimo obiecujących możliwości komputerów kwantowych, istnieją ograniczenia i wyzwania związane z ich skalowalnością, stabilnością i kontrolą. Obecnie trwają prace nad rozwiązywaniem tych problemów, aby umożliwić pełne wykorzystanie potencjału komputerów kwantowych.

[5] L.C. Brown, *Flyable TRADIC: the first airborne transistorized digital computer*, „IEEE Annals of the History of Computing" 1999/21(4), s. 55–61.

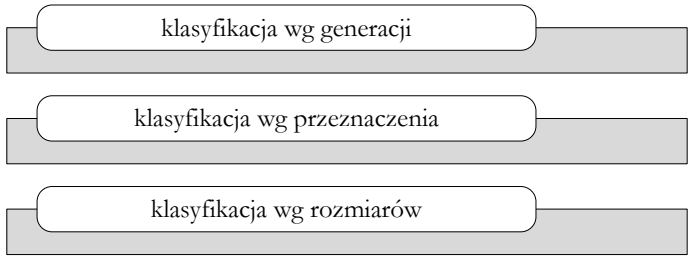
[6] T. Ladd, F. Jelezko, R. Laflamme, i in., *Quantum computers*, „Nature" 2010/464, s. 45–53.

1.3. Klasyfikacja komputerów

Historia komputerów liczy obecnie około 80 lat. Przez ten czas komputery przeszły ewolucję od dużych, zajmujących kilka pomieszczeń wąsko specjalizowanych systemów obliczeniowych na bazie elementów elektromechanicznych o wydajności kilkuset instrukcji na sekundę, do miniaturowych mieszczących się w kieszeni uniwersalnych konstrukcji posiadających intuicyjny interfejs komunikacji z użytkownikiem oraz połączonych w sieć globalną.

Klasyfikacja komputerów możliwa jest według różnych kryteriów (rys. 1).

Rysunek 1. Rodzaje klasyfikacji komputerów



Źródło: opracowanie własne

Klasyfikacja komputerów według generacji wykorzystuje wiele kryteriów, spośród których należy wymienić przede wszystkim: lata produkcji, wykorzystaną bazę elementów, rodzaj stosowanych instrukcji, zdolności obliczeniowe oraz inne parametry techniczne[7].

Do pierwszej generacji komputerów zaliczane są komputery lampowe, których budowa rozpoczęła się tuż po zakończeniu II wojny światowej i trwała przez dekadę. Programy do tej generacji komputerów były zapisywane w kodzie maszynowym, tj. formie, która może być bezpośrednio uruchomiona na komputerze bez dodatkowych zmian. Czas napisania takiego programu znacząco przekraczał czas jego wykonania. Obliczenia z kolei wymagały czasochłonnej weryfikacji pod kątem poprawności działania algorytmów. Komputery tej generacji potrzebowały własnego źródła zasilania o dużej mocy. Ich zastosowanie ograniczało się do rozwiązania problemów naukowo-technicznych o dużej złożoności obliczeniowej.

Komputery drugiej generacji były produkowane od połowy lat 50. XX w. Ich bazą elementową były już tranzystory, co pozwoliło znacząco zredukować wymiary oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną. Pojawiły się też magnetyczne nośniki danych wewnętrzne oraz zewnętrzne, które pozwalały na przechowanie oraz przetwarzanie danych liczonych w kilobajtach z wydajnością do kilkuset tysięcy operacji na sekundę. Powstały języki programowania wysokiego poziomu, które znacząco ułatwiły pracę programistów. Jednocześnie wymagały interpretacji kodu programu na język maszynowy. Dla komputerów tej generacji charakterystyczne jest wykorzystanie oprogramowania systemowego, obecnie znanego jako systemy operacyjne. Brakowało natomiast kompatybilności pomiędzy poszczególnymi modelami komputerów, nie były też one produkowane seryjnie.

Dopiero trzecia generacja komputerów, której pojawienie miało miejsce na początku lat 60. XX w., pozwoliła na rozpoczęcie produkcji seryjnej rozwiązań standaryzowanych.

[7] M. Campbell-Kelly i inni, *Computer: A History of the Information Machine*, Taylor & Francis, 2023.

Komputery sterowane były systemami operacyjnymi, których zadaniem była nie tylko realizacja obliczeń, lecz również implementacja interfejsów pomiędzy maszyną a człowiekiem. Zastosowanie układów scalonych pozwoliło na znaczące podniesienie wydajności komputerów, która liczona była już w milionach operacji na sekundę. Pozwoliło to na zastosowanie coraz bardziej złożonych języków programowania oraz umożliwiło równoległe wykonanie wielu procesów.

Czwarta generacja komputerów ściśle związana jest z zorientowaniem techniki obliczeniowej na przeciętnego użytkownika. Epokę komputerów personalnych na początku lat 80. XX w. zainicjował IBM, wypuszczając na rynek pierwszego „peceta" – model komputera IBM PC[8]. Zastosowanie układów scalonych o wysokim stopniu integracji elementów pozwoliło na miniaturyzację komputerów, wprowadzenie ekranów o wysokiej rozdzielczości z możliwością dotykowego wprowadzenia danych. Zmniejszenie zapotrzebowania na energię pozwoliło na stworzenie urządzeń, których czas autonomicznej pracy na baterii liczony jest w godzinach. Wysoka wydajność procesorów umożliwia wprowadzanie danych w formie mowy lub rysunku. Powszechna dostępność sieci bezprzewodowych pozwala na komunikowanie się w trybie online, tłumaczenie mowy i pisma w czasie rzeczywistym, prowadzenie telekonferencji oraz pracę zdalną.

Klasyfikacja komputerów według przeznaczenia przedstawiona została na rys. 2.

Rysunek 2. Klasyfikacja komputerów według przeznaczenia

Źródło: opracowanie własne

Do kategorii komputerów personalnych zaliczane są urządzenia, których użytkowanie w danym momencie możliwe jest tylko przez jednego użytkownika. Komputery personalne pozwalają na wykonanie pracy codziennej, jak np. praca z tekstami, obliczenia w arkuszach kalkulacyjnych, wyszukiwanie informacji w sieci globalnej Internet, wydruk dokumentów na drukarce, słuchanie muzyki lub oglądanie filmów. Charakteryzują się miniaturowymi wymiarami oraz wysoką mobilnością. Systemy operacyjne komputerów personalnych realizują przyjazny użytkownikowi graficzny interfejs komunikacji. Łączność bezprzewodowa Wi-Fi pozwala na korzystanie z sieci domowej oraz integrację z innymi urządzeniami typu telewizor, głośniki bezprzewodowe lub kamery sieciowe. Komputery personalne, do których zaliczane są również takie urządzenia jak laptopy, tablety, smartfony itp., stanowią obecnie najbardziej liczebną kategorię na świecie.

Komputery typu *mainframe* stanowią grupę seryjnie produkowanych jednostek centralnych o dużej mocy obliczeniowej oraz bardzo dużej pojemności pamięci masowej, których przeznaczeniem jest wykorzystanie w dużych ośrodkach przetwarzania danych w celu obsługi wielu użytkowników oraz świadczenia różnorodnych usług, najczęściej dostępnych za pośrednictwem sieci globalnej[9]. Łączenie jednostek *mainframe* w serwerowe grupy robocze pozwala na zwiększenie sumarycznej mocy obliczeniowej zespołu. Bilansowanie

[8] D. Bradley, *A personal history of the IBM PC*, „Computer" 2011/44(8), s. 19–25.

[9] M. Iansiti, *Science-based product development: an empirical study of the mainframe computer industry*, „Production and Operations Management" 1995/4(4), s. 335–359.

obciążenia jednostek pozwala na obsługę coraz większej liczby klientów korzystających z usług świadczonych przez ośrodki przetwarzania danych, zaś praktycznie nieograniczona objętość pamięci masowej – na przechowanie i przetwarzanie dużych zbiorów danych, co ma swoje zastosowanie w bazach oraz hurtowniach danych. Systemy mainframe są od założeń projektowane w taki sposób, aby wykluczyć przerwy w świadczeniu usług. W przypadku awarii jednej z jednostek obliczeniowych jej role są przejmowane przez inne jednostki w sposób, który jest niezauważalny dla użytkownika. Komputery mainframe działają pod sterowaniem dedykowanych systemów operacyjnych zorientowanych na świadczenie usług najczęściej drogą sieciową. Wymagają administrowania w celu monitorowania poprawności działania, optymalizacji wykorzystania zasobów oraz kontroli bezpieczeństwa. Najczęściej administrowanie takimi systemami odbywa się z tzw. terminali końcowych, które stanowią najczęściej zwykłe komputery personalne wyposażone w elementy interfejsu użytkownika typu monitor, klawiatura itd. Odbiorcami usług świadczonych przez komputery *mainframe* są duże instytucje rządowe, banki, korporacje działające w sektorach finansowym[10], telekomunikacyjnym oraz zdrowotnym gospodarki, firmy świadczące usługi hostingowe (wypożyczenie wirtualnej przestrzeni obliczeniowej oraz pamięci masowej), w tym usługi związane z chmurą obliczeniową.

Pod pojęciem superkomputera rozumie się grupę jednostek obliczeniowych, głównym celem połączenia których jest uzyskanie maksymalnej możliwej wydajności wykonania obliczeń. W odróżnieniu od komputerów typu *mainframe*, gdzie celem łączenia jednostek jest uzyskanie efektu skalowalności systemu, w superkomputerach nacisk przede wszystkim jest kładziony na osiągi obliczeniowe. Liczba obsługiwanych użytkowników gra tu nieco mniej istotną rolę. Superkomputery są wykorzystywane do rozwiązania zadań algorytmicznych o bardzo wysokiej złożoności obliczeniowej, których wykonanie na przeciętnych komputerach nie jest możliwe (w określonym i skończonym czasie). Do takich zadań należą między innymi analizy sekwencji DNA, modele molekularne, prognozowanie pogody na podstawie dużych zbiorów danych historycznych, analiza danych numerycznych, wyciąganie wniosków na podstawie danych niekompletnych lub niepewnych, symulacje złożonych systemów, zastosowania związane ze sztuczną inteligencją oraz sieciami neuronowymi itp. Superkomputery są niezbędne w dziedzinach takich jak inżynieria, astrofizyka, nauki biologiczne, meteorologia, medycyna, lotnictwo itp.[11] Superkomputery nie są produkowane seryjnie, chociaż same jednostki obliczeniowe jak najbardziej mogą być modułami standardowymi. Konfiguracja superkomputera najczęściej odbywa się z uwzględnieniem jego docelowego zastosowania oraz rodzaju rozwiązywanych zadań. Ze względu na szybki rozwój technologii wytwarzania podzespołów komputerowych takich jak procesor, pamięć operacyjna oraz masowa, a także procesory graficzne, superkomputery dość szybko się „starzeją" pod względem wydajności, ustępując pierwszeństwa nowo wyprodukowanym egzemplarzom.

Komputery wbudowane są kategorią komputerów, których zadaniem jest pełnienie określonej funkcji, na przykład: zarządzanie ruchem w sieci, rozpoznawanie osób na klatkach z filmu zarejestrowanego przez kamerę wideo, sterowanie silnikiem pralki, głowicą drukarki laserowej itp. Komputery wbudowane nie są urządzeniami uniwersalnymi, lecz zaprogramowanymi oraz zoptymalizowanymi pod kątem wykonania specjalizowanych algorytmów. Zazwyczaj stanowią one część większego systemu komputerowego. Konfigu-

[10] H. Nagaoka, Y. Ukai, T. Takemura, *Past and Present of Information Systems in Banks. Economic Analysis of Information System Investment in Banking Industry*, Springer 2005, s. 3–28.

[11] J. Végh, *Finally, how many efficiencies the supercomputers have? And, what do they measure?*, „*The Journal of Supercomputing*" 2020/76(12), s. 9430–9455.

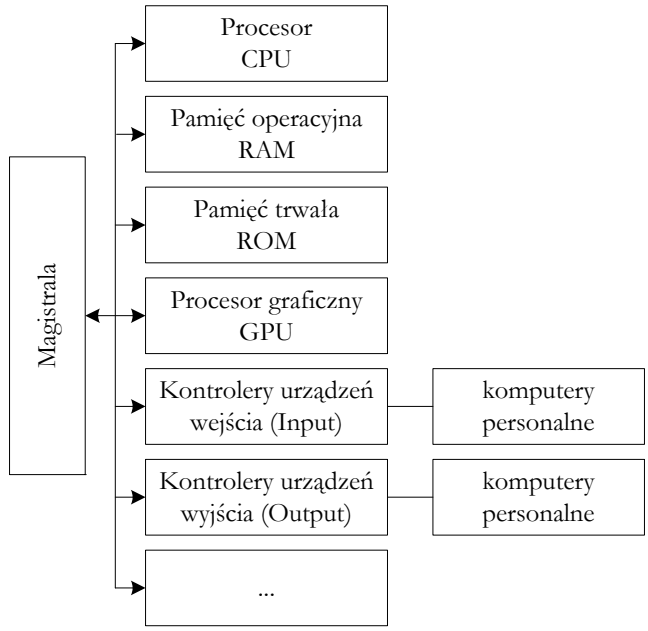
racja sprzętowa takich urządzeń jest dobierana w taki sposób, aby zapewnić wydajną i stabilną pracę urządzenia, którym steruje minikomputer. Często komputery wbudowane nie posiadają klasycznego interfejsu użytkownika w postaci myszy, klawiatury oraz monitora. Rolę ekranu mogą pełnić diody lub proste miniaturowe wyświetlacze. Wprowadzanie danych może być realizowane dotykiem lub przyciskami. Komputery wbudowane zazwyczaj są miniaturowe oraz tanie w produkcji. Znajdują zastosowanie w przemyśle, motoryzacji, elektronice użytkowej, urządzeniach medycznych itp. Są ściśle związane z koncepcją Internetu rzeczy (ang. IoT, *Internet of things*).

1.4. Podstawy architektury komputerów

Współczesne komputery są budowane z wykorzystaniem architektury modułowej (rys. 3). Jej koncepcja polega na zorganizowaniu współdziałania poszczególnych modułów, takich jak jednostka obliczeniowa, pamięć, urządzenia wejścia–wyjścia itp. za pośrednictwem tzw. magistrali.

Magistrala danych wykorzystywana jest do przesyłania informacji pomiędzy poszczególnymi modułami komputera. **Magistrala adresów** wskazuje na miejsce w pamięci operacyjnej, gdzie należy przesłać te dane. Za operacje wykonywane na danych odpowiedzialna jest **magistrala sterowania**. Obecnie seryjnie produkowane komputery posiadają 64-bitową architekturę. To oznacza, że każda z magistrali potrafi obsługiwać 2^{64} bitów danych lub adresów ich przechowania. W przybliżeniu równa się to 16 tysiącom petabajtów (1 petabajt = 1024 terabajty), co stanowi na dzień dzisiejszy wartość praktycznie nieosiągalną dla zwykłych zastosowań komputerów personalnych.

Rysunek 3. Ogólna architektura współczesnych komputerów



Źródło: opracowanie własne

Procesor (ang. CPU – *Central Processing Unit*) jest najważniejszym układem scalonym w komputerze. Do jego zadań należy:

1) przetwarzanie danych, w tym: wykonanie operacji arytmetycznych, trygonometrycznych, logarytmicznych na liczbach, operacji na danych logicznych (algebra Boole'a[12]), operacji na łańcuchach tekstowych, operacji na datach itp. W celu wykonania tych funkcji procesor jest wyposażony w jednostkę arytmetyczno-logiczną (ALU);
2) sterowanie wykonaniem programu: odczyt instrukcji z kodu programu, ich interpretacja, pobranie z pamięci danych niezbędnych do obliczeń, przesłanie do jednostki ALU w celu dokonania obliczeń, zwrócenie rezultatów obliczeń, pobranie następnej instrukcji z kodu.

Najważniejszą charakterystyką procesora jest jego częstotliwość taktowania (ang. *frequency*). Każda instrukcja wykonywana na procesorze zajmuje określoną liczbę taktów (cykli wykonania). Im bardziej złożona jest operacja realizowana przez instrukcję, tym więcej taktów może potrzebować do wykonania. Proste instrukcje mogą być wykonane przez jeden takt. Częstotliwość taktowania współczesnych procesorów stosowanych w komputerach personalnych przekracza 4 GHz. Im wyższa jest częstotliwość taktowania, tym większa jest liczba instrukcji wykonanych w tym samym czasie (np. 1s). Co za tym idzie, spośród dwóch procesorów posiadających identyczny zbiór instrukcji szybszy będzie ten o wyższej częstotliwości taktowania. W tym przypadku zależność wydajności od częstotliwości jest prawie liniowa. Natomiast w przypadku, gdy procesory mają różne zbiory instrukcji, opisana wyżej zależność może nie mieć miejsca, ponieważ procesory o bardziej zaawansowanym zbiorze poleceń mogą posiadać większą ogólną wydajność przy niższych częstotliwościach taktowania.

Rozmiar magistrali jest kolejną charakterystyką procesora. Im więcej bitów liczy magistrala, tym większą ilość danych można przekazać pomiędzy modułami komputera w ciągu jednego taktu. Co za tym idzie, większa będzie ogólna wydajność komputera. Jak już było wspomniane wyżej, współczesne komputery w większości są budowane w architekturze 64-bitowej.

Procesor może składać się z kilku niezależnych jednostek obliczeniowych – tzw. rdzeni (ang. *core*). Każdy rdzeń stanowi *de facto* samodzielny procesor zdolny do wykonania kodu programu równolegle z pozostałymi rdzeniami. W ten sposób osiąga się znaczący przyrost wydajności komputera bez konieczności podniesienia częstotliwości taktowania. Prace nad procesorami wielordzeniowymi były prowadzone od początku XXI w., i pod koniec jego pierwszej dekady zaowocowały powstaniem kilkurdzeniowych CPU. Obecnie liczba rdzeni procesorów stosowanych w komputerach personalnych może sięgać 16. W związku z ograniczeniami na podniesienie częstotliwości taktowania[13], które wynikają przede wszystkim z konieczności odprowadzenia ciepła, zwiększenie liczby rdzeni wydaje się jedyną drogą ku dalszemu zwiększeniu wydajności komputerów. Należy przy tym zauważyć, że równoległe wykonanie algorytmów na kilku rdzeniach wymaga synchronizacji pewnych procesów obliczeniowych, tymczasowego blokowania dostępu do wspólnych danych, kolejkowania wyników obliczeń, które są wykorzystywane w dalszych etapach, itp. Dlatego zwiększenie wydajności komputera przy „dołożeniu" kolejnego rdzenia na procesorze nie powoduje liniowego wzrostu wydajności i zależy od rodzaju rozwiązywanych zadań. Przykładowo, jeśli zadanie algorytmiczne można rozdzielić na dwie niezależne części, to procesor 2-rdzeniowy wykona je prawie dwa razy szybciej niż procesor jednordzeniowy. W przypadku

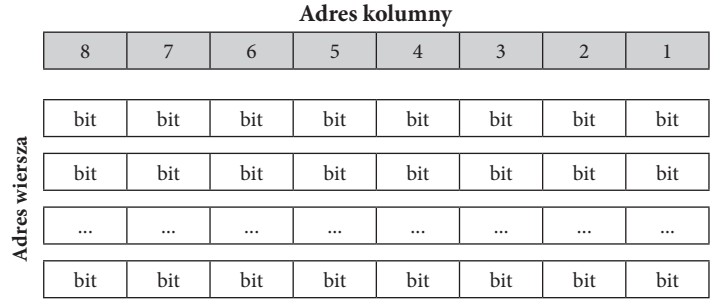
[12] Goodstein, Reuben Louis. Boolean Algebra. Courier Corporation, 2007.
[13] P.E. Ross, *Why cpu frequency stalled*, „IEEE Spectrum" 2008/45(4), s. 72–72.

natomiast algorytmów, których rozłożenie na równolegle wykonywane fragmenty nie jest możliwe, dołożenie kolejnych rdzeni nie przyniesie efektów.

Pamięć operacyjna (ang. RAM, *Random Access Memory*) jest jednym z najważniejszych rodzajów pamięci w komputerze. Przechowuje programy aktualnie uruchomione na komputerze oraz dane tymczasowe. RAM jest pamięcią typu ulotnego, co oznacza, że po odłączeniu zasilania jej zawartość znika. Dlatego w celu przechowania rezultatów działania programów stosuje się pamięć trwałą (zob. dalej).

Architektura pamięci operacyjnej może być przedstawiona w postaci macierzy, każdy wiersz której – tzw. komórka pamięci – posiada unikatowy numer nazywany adresem komórki (rys. 4). Komórka mieści liczbę bitów zgodnych z architekturą magistrali komputera. Obecnie są to najczęściej 64 bity. Mechanizmy dostępu do komórek RAM pozwalają na odczyt lub zapis dowolnej komórki pamięci operacyjnej w każdej chwili, niezależnie od jej ulokowania. Dlatego RAM często jest nazywana pamięcią o swobodnym dostępie. Taki rodzaj pamięci charakteryzuje się najwyższą wydajnością wykonania operacji zapisu lub odczytu.

Rysunek 4. Schemat organizacji pamięci RAM



Źródło: opracowanie własne

Szybkość działania pamięci RAM jest wprost proporcjonalna do częstotliwości jej taktowania. Obecnie częstotliwość taktowania pamięci operacyjnej w komputerach personalnych zbliżona jest do częstotliwości taktowania procesora. Pozwala to na bardzo szybką wymianę danych pomiędzy CPU a RAM, co przyczynia się do wzrostu wydajności całego komputera.

Pamięć RAM należy do kluczowych komponentów komputera. Od jej charakterystyk zależy szybkość jego działania, ale też liczba programów, które mogą działać równolegle. Co za tym idzie, w przypadku zastosowania komputera jako serwera świadczącego usługi, przekłada się to na liczbę użytkowników – konsumentów tych usług. Dlatego pojemność RAM powinna być dobierana z uwzględnieniem konkretnych zastosowań. Obecnie dla komputerów personalnych typową pojemnością RAM jest 16 GB. Nierzadko można spotkać też 32 GB, a nawet 64 GB, zwłaszcza w zastosowaniach związanych z obliczeniami matematycznymi, modelowaniem lub grafiką komputerową. Należy też pamiętać o systemie operacyjnym, którego działanie wymaga posiadania pewnego wolnego obszaru w RAM.

Brak wolnej przestrzeni w pamięci operacyjnej skutkuje drastycznym spadkiem wydajności całego komputera, ponieważ zaczyna on korzystać z przestrzeni na dysku twardym, dostęp do której jest znacznie wolniejszy. Nadmiar pamięci RAM nie wpływa w sposób

zauważalny na działanie komputera: po prostu nie jest ona wykorzystywana. Współczesne płyty główne komputerów personalnych wspierają do 128 GB RAM. Dla komputerów typu mainframe lub superkomputerów objętość RAM nie jest limitowana, ponieważ składają się one z wielu jednostek centralnych. Zwiększenie pamięci operacyjnej dla takich komputerów odbywa się poprzez dodanie kolejnej jednostki.

Pamięć stała (ang. ROM, *Read-Only Memory*) jest pamięcią o swobodnym dostępie, która działa w trybie „tylko do odczytu". W standardowym trybie działania pamięci ROM programy uruchamiane na komputerze nie mogą dokonywać zmian w jej zawartości. Zapis danych do ROM w zależności od technologii jej wykonania może być realizowany wyłącznie przez producenta w warunkach fabrycznych, lub – w uzasadnionych przypadkach takich jak np. aktualizacja w celu eliminacji błędów – przez zwykłego użytkownika, pod warunkiem posiadania odpowiedniego oprogramowania. Są też rodzaje ROM, których programowanie może odbyć się wyłącznie jednokrotnie.

Charakterystyki pamięci ROM takie jak częstotliwość taktowania lub liczba bitów w architekturze są zbliżone do odpowiednich cech pamięci RAM. Wyjątkiem jest objętość, która z reguły jest znacznie mniejsza i jest dobierana do konkretnych zastosowań. Jednym z najbardziej charakterystycznych zastosowań ROM jest oprogramowanie typu BIOS lub UEFI, którego zadaniem jest sprawdzenie konfiguracji komputera po włączeniu zasilania, nawiązanie współpracy z urządzeniami wejścia–wyjścia oraz inicjowanie ładowania systemu operacyjnego. Objętość pamięci ROM w tych zastosowaniach może wynosić obecnie do 4 GB. Kolejnym typowym przykładem zastosowania ROM jest oprogramowanie typu *firmware*, którego zadaniem jest zapewnienie niskopoziomowych algorytmów działania sprzętu komputerowego, przykładowo sterowanie głowicami dysku twardego HDD do odczytu lub zapisu danych trwałych.

Procesor graficzny (ang. GPU, *Graphics Processing Unit*) stanowi układ scalony, którego głównym przeznaczeniem jest dokonanie obliczeń geometrycznych na potrzeby przetwarzania obrazów trójwymiarowych oraz innych zadań z zakresu grafiki komputerowej. Procesor GPU składa się z wielu identycznych jednostek obliczeniowych, o wysokiej częstotliwości taktowania, których zbiór poleceń jest zorientowany na wydajne obliczenia matematyczne przeprowadzane w sposób równoległy. Przy liczbie rdzeni sięgającej we współczesnych kartach graficznych kilku tysięcy, pozwala to na rozdzielenie algorytmu przetwarzania scen grafiki 3D na fragmenty, z których każdy jest przetwarzany na osobnym układzie. Instrukcje GPU są ukierunkowane na renderowanie obrazów, generowanie tekstur, cieniowanie scen, nakładanie efektów specjalnych itp.

Pierwotnie procesory GPU były wykorzystywane głównie do tworzenia realistycznych scen w grach komputerowych. Zastosowanie procesora graficznego miało na celu przede wszystkim odciążenie procesora głównego CPU. Bardzo szybko jednak się okazało, że na procesorach GPU z powodzeniem można wykonywać równoległe obliczenia z innych dziedzin, niekoniecznie związanych z grafiką komputerową. Powstały biblioteki programowe, które umożliwiają rozłożenie obliczeń na poszczególne rdzenie GPU, wspomagając tym samym pracę programistów. Pewnej rewolucji w wykorzystaniu CPU dokonała korporacja NVidia, która udostępniła deweloperom oprogramowania platformę sprzętowo-programową CUDA[14]. Pozwala ona na wykorzystanie GPU w zastosowaniach związanych ze sztuczną inteligencją oraz uczeniem maszynowym. Należy tu wymienić przede wszystkim proces nauczania sztucznych sieci neuronowych, który jest zadaniem bardzo pracochłon-

[14] J. Liheng i inni, *Parallel data mining techniques on graphics processing unit with compute unified device architecture (CUDA)*, „The Journal of Supercomputing" 2013/64, s. 942–967.

nym z punktu widzenia informatycznego. Koncepcja sieci neuronowych znana jest od ponad pięćdziesięciu lat. Ale dopiero wyjście techniki obliczeniowej na nowy poziom, między innymi ze względu na pojawienie się wydajnych procesorów GPU, pozwoliło na praktyczną implementację tzw. głębokiego nauczania sieci neuronowych (ang. *Deep Learning*[15]). Praktycznym rezultatem są np. systemy automatycznego tłumaczenia tekstów (DeepL[16], Google Translator itp.), systemy nawigacji w pojazdach autonomicznych (ang. *self-driving*) oraz oczywiście bardzo popularny w ostatnim czasie model ChatGPT[17] (ang. *Generative Pre-trained Transformer*), który może prowadzić dialog z użytkownikiem, udzielając odpowiedzi na pytania z wielu dziedzin.

Urządzenia wejścia (ang. *Input Devices*) to urządzenia elektroniczne lub mechaniczne, które umożliwiają użytkownikom wprowadzanie danych do komputera. Są one urządzeniami zewnętrznymi względem jednostki centralnej komputera i wymagają zastosowania dedykowanych kontrolerów. Kontroler urządzenia wejścia jest układem scalonym, którego zadaniem jest przekazywanie do urządzenia komend z komputera (np. w celu konfiguracji urządzenia lub zainicjowania wymiany danych), odczyt danych z urządzenia, ich konwersja na format akceptowany przez komputer oraz przesyłanie spreparowanych danych za pośrednictwem magistrali danych do odbiorcy końcowego. Przykładowo, kontroler myszy odczytuje jej przesunięcie względem pozycji poprzedniej (w mm), następnie określa kierunek przemieszczenia się myszy, konwertuje te informacje na wartości w pikselach dla każdej z osi X oraz Y osobno, a następnie przekazuje do komputera. Skutkiem odczytu danych z kontrolera myszy jest przesunięcie kursora na monitorze.

Do urządzeń wejściowych stosowanych w komputerach personalnych zalicza się:

- klawiaturę – urządzenie do wprowadzania tekstów oraz poleceń,
- mysz – urządzenie wspomagające obsługę interfejsów graficznych GUI użytkownika w aplikacjach komputerowych poprzez wskazanie poszczególnych elementów na ekranie za pomocą kursora,
- kamerę wideo – urządzenie optoelektroniczne, którego zadaniem jest przechwytywanie obrazów i wideo z otoczenia oraz konwersja ich na zapis cyfrowy,
- mikrofon – urządzenie, które pozwala na nagrywanie dźwięku lub mowy oraz zapis wyników w formie plików,
- skaner – urządzenie pozwalające na przekształcanie dokumentów papierowych do postaci cyfrowej w formie pliku,
- ekran dotykowy – warstwa wyświetlacza, która reaguje na dotyk, pozwalając użytkownikom bezpośrednio wybierać opcje, przesuwać elementy na przestrzeni roboczej ekranu oraz wprowadzać dane,
- tablet graficzny – urządzenie, które łączy w sobie funkcjonalność ekranu dotykowego oraz komputera, pozwalając na rysowanie, malowanie oraz tworzenie grafiki rastrowej za pomocą specjalnego pióra lub długopisu,
- czytniki linii papilarnych – niewielki moduł przeznaczony do autentykacji użytkownika komputera na podstawie odczytu linii papilarnych z jego palców,

[15] P. Gavali, J. Saira Banu, *Deep convolutional neural network for image classification on CUDA platform*, [w:] *Deep learning and parallel computing environment for bioengineering systems*, red. K. Sangaiah, Academic Press, 2019, s. 99–122.

[16] DeepL translator, resource online: https://www.deepl.com/translator.

[17] J. Deng, L. Yijia, *The benefits and challenges of ChatGPT: An overview*, Frontiers in Computing and Intelligent Systems 2022/2(2), s. 81–83.

- skanery kodów kreskowych, których zadaniem jest odczyt informacji graficznej z przedmiotów oznakowanych kodami kreskowymi, dekodowanie informacji umieszczonych na etykiecie oraz przekazanie ich do komputera,
- skanery laserowe (tzw. lidary) oraz czujniki ultradźwiękowe, które znajdują zastosowanie w zadaniach budowy otoczenia w robotyce oraz pojazdach autonomicznych,
- kontrolery do gier stosowane w grach komputerowych w celu sterowania postacią lub wykonania innych interakcji z komputerem
- itp.

Urządzenia wyjścia (ang. *Output Devices*) to urządzenia elektroniczne lub mechaniczne, których przeznaczeniem jest przekazywanie danych z komputera do otoczenia zewnętrznego, w roli którego może występować inny system komputerowy, urządzenie lub człowiek, w postaci akceptowalnej przez odbiorcę. Urządzenia wyjścia również potrzebują kontrolera, którego zadaniem jest odczyt danych z magistrali oraz ich konwersja do formatu docelowego. Przykładowo, przy wysłaniu dokumentu na wydruk, oprogramowanie kontrolera drukarki sprawdza jej status, następnie dokonuje konwersji danych tekstowych do formy rastrowej (lub innej, w zależności od drukarki) oraz przekazuje te dane do układu scalonego na drukarce sterującego elementami mechanicznymi oraz głowicą drukującą.

Do urządzeń wyjściowych stosowanych w komputerach personalnych należą najczęściej:

- monitor – urządzenie do obrazowania danych w komputerze w formie graficznej (rastrowej), która składa się z macierzy pikseli – najmniejszych adresowanych elementów obrazu; każdy piksel ma swoją pozycję na monitorze oraz kolor, który zazwyczaj jest reprezentowany przez 3 składowe komponenty RGB (ang. *Red, Green, Blue*),
- projektor multimedialny – urządzenie do wyświetlania obrazów na dużym ekranie, działa na zasadach zbliżonych do monitora, lecz różni się sposobem emisji światła,
- różnego rodzaju wyświetlacze dedykowane oraz wskaźniki, których zadaniem jest najczęściej informowanie użytkownika o stanie urządzenia,
- drukarka – urządzenie do utrwalenia danych cyfrowych w formie papierowej lub innej (np. drukarki 3D),
- ploter – urządzenie, które służy do wyprowadzania na papier (lub inny nośnik trwały) danych cyfrowych w postaci grafiki wektorowej; są też plotery, które posiadają funkcjonalność modyfikacji nośnika (podkładu), np. plotery tnące powszechnie stosowane w produkcji ubrań według indywidualnych zamówień,
- głośniki – urządzenia emitujące dźwięk na podstawie danych cyfrowych otrzymanych z komputera i przekształconych do postaci analogowej za pomocą przekształtnika DAC (ang. *Digital-Analog Converter*).

2. Oprogramowanie komputerowe

2.1. Algorytmy, programy i dane

Algorytm można określić jako listę kroków (czynności), których wykonanie prowadzi do rozwiązania sformułowanego zadania algorytmicznego. Pod zadaniem algorytmicznym rozumie się problem lub wyzwanie, rozwiązanie którego może być zapisane w postaci sformalizowanej. Zadania algorytmiczne są często opisane w formie logicznych lub matematycznych instrukcji. Przykładami prostych zadań algorytmicznych mogą być: wyszukiwa-

nie wzorców w tekście, sortowanie tablicy słów, wyszukiwanie najkrótszej drogi przejazdu, kodowanie informacji poufnych, obróbka obrazów graficznych oraz dźwięków itp.

Wykonawcą algorytmu może być człowiek lub komputer. Niezależnie od tego, zadanie algorytmiczne powinno spełniać wymóg wykonalności w kontekście wybranego wykonawcy oraz warunków wykonania: maksymalny czas rozwiązania, wymagane zasoby, jakość uzyskanego wyniku itp. Na przykład, proste zadanie algorytmiczne „pobierz gotówkę z bankomatu" zorientowane jest na człowieka, ale jego wykonalność zależy między innymi od wieku wykonawcy.

Kolejną cechą algorytmu jest skończoność listy czynności, które stanowią zapis algorytmu. Algorytm może mieć tylko jeden punkt rozpoczynający jego wykonanie oraz dowolną liczbę punktów zakończenia. Należy podkreślić, że faktyczna liczba czynności wykonanych w procesie działania algorytmu nie zależy wprost od liczby instrukcji, lecz przede wszystkim od rodzaju tych instrukcji oraz ich wzajemnego oddziaływania. Przykładowo, algorytm obliczenia silni liczby naturalnej może być zapisany kilkoma instrukcjami, ale liczba iteracji zależy przede wszystkim od argumentu – liczby.

Algorytm musi posiadać argumenty (parametry, za pomocą których przekazywane są dane wejściowe) oraz wynik – rezultat wykonania (rys. 5). W procesie przetwarzania algorytm może korzystać z danych pomocniczych wewnętrznych.

Rysunek 5. Argumenty oraz wynik działania algorytmu

Źródło: opracowanie własne

Istnieją trzy podstawowe formy zapisu algorytmów.

Lista kroków jest tekstową formą zapisu algorytmu zorientowaną na wykonawcę – człowieka. Najczęściej stanowi ona numerowaną listę punktów, z których każdy zawiera opis instrukcji do wykonania. Przykładowo, wspomniany wyżej algorytm obliczenia silni liczby naturalnej może być zapisany w postaci listy kroków jako:

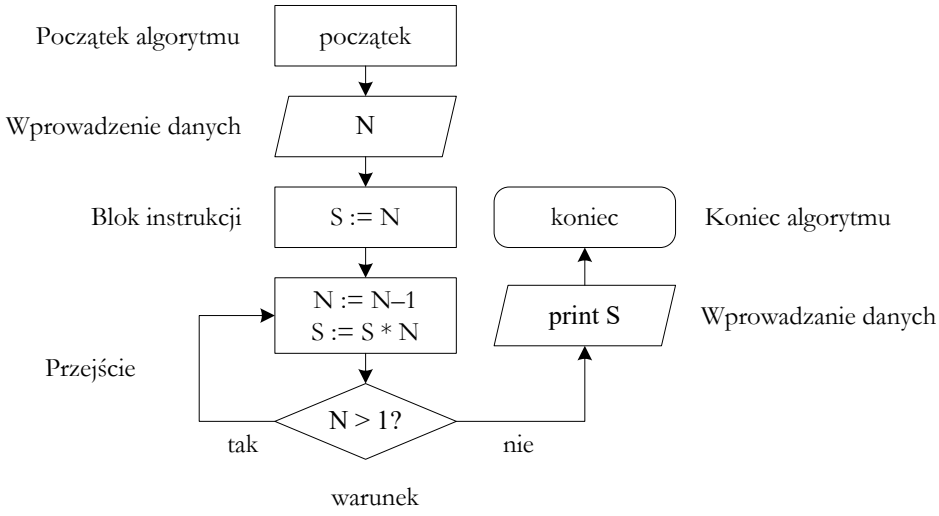
1) przypisz liczbie naturalnej N wartość początkową (liczba, której silnia musi być policzona),
2) zapamiętaj jako S wartość bieżącą liczby N,
3) zmniejsz liczbę N o 1,
4) pomnóż liczbę S przez liczbę N i zapisz nową wartość do liczby S,
5) jeśli wartość liczby N jest większa od 1, to przejdź do pkt 3,
6) wartość liczby S jest wynikiem działania algorytmu.

Zaletą tekstowej formy zapisu algorytmów jest jej zrozumiałość nawet dla niezbyt znających się na programowaniu osób, co czyni tę formę dość popularną w zastosowaniach związanych z zapisami przede wszystkim tzw. algorytmów powszechnych: instrukcji montażu mebli, przepisów kulinarnych, instrukcji obsługi lub naprawy sprzętu itp. Wraz ze zwiększeniem liczby czynności zapis algorytmu szybko traci jednak na czytelności. Niejednoznaczność interpretacji poszczególnych czynności przez różnych wykonawców może powodować rozbieżności w rezultatach wykonania. Dlatego ta forma zapisu algorytmów jest zorientowana przede wszystkim na człowieka.

Kolejną formą zapisu algorytmów są **schematy blokowe**. Jest to reprezentacja graficzna, na którą składają się instrukcje w postaci kształtów geometrycznych oraz powiązania pomiędzy nimi wskazujące na kolejność wykonania poszczególnych czynności. Przykład algorytmu obliczenia silnie zapisanego w formie schematu blokowego stanowi rys. 6.

Schematy blokowe są popularną formą zapisu algorytmów. Ich główną zaletą jest łatwa i czytelna prezentacja struktury algorytmu, co pozwala na szybkie jego przejrzenie oraz zrozumienie. W odróżnieniu od listy kroków, w tym przypadku wystarczy pobieżne spojrzenie na schemat, aby stwierdzić, że algorytm zawiera obliczenia cykliczne. Przy zwiększeniu liczby elementów oraz powiązań między nimi schemat blokowy zaczyna tracić na czytelności. Przy wykroczeniu poza ekran (lub kartkę papieru), śledzenie poszczególnych powiązań staje się niewygodne. Dlatego ta forma zapisu algorytmu jest stosowana przede wszystkim tam, gdzie trzeba pokazać ogólny schemat działania, a następnie przejść do kolejnych schematów obrazujących kolejny poziom szczegółowości. Brak standaryzacji zapisu instrukcji powoduje, że schematy blokowe nie mogą być jednoznacznie przełożone na kod działający na komputerze. A dokładnie – możliwe to jest wyłącznie w przypadku, gdy tworzenie schematu blokowego odbywa się za pomocą specjalizowanych narzędzi, które jednoznacznie interpretują każdy blok graficzny i są w stanie wygenerować kod programu na jego podstawie.

Rysunek 6. Przykład zapisu algorytmu w formie schematu blokowego



Źródło: opracowanie własne

Kod źródłowy stanowi formalny zapis algorytmu w postaci zorientowanej na wykonanie maszynowe. Algorytm w tym przypadku jest definiowany za pomocą instrukcji należących do ograniczonego zbioru – języka programowania[18]. Język programowania jest sztucznym językiem, który podobnie jak języki naturalne, ma swój alfabet, gramatykę oraz semantykę. Alfabet określa zbiór dopuszczalnych znaków, które mogą wystąpić w programie. Na początku epoki komputeryzacji alfabet pierwszych języków programowania był

[18] D.A. Watt, S. Wong, *Programming Languages*, Concepts and Paradigms Prentice Hall (1990).

ograniczony do liter alfabetu łacińskiego, cyfr oraz kilkunastu znaków specjalnych należących do tzw. tablicy ASCII (ang. *American Standard Code for Information Interchange*). Po wprowadzeniu kodowania Unicode[19] zbiór znaków alfabetu został znacząco rozszerzony między innymi o znaki diakrytyczne dla różnych języków. Zasady budowy słów – pojedynczych elementów instrukcji języka programowania – określają reguły gramatyki języka programowania. Stosując te reguły, można wygenerować dowolną liczbę poprawnych gramatycznie konstrukcji języka, i odwrotnie – sprawdzić, czy dana konstrukcja jest poprawna. Przykładowo, reguły gramatyczne większości współczesnych języków programowania nie pozwalają, aby nazwa zmiennej zaczynała się od cyfry. Znaczenie poprawnie skonstruowanych zdań w języku programowania określa się regułami semantycznymi. Przykładowo, w różnych językach programowania konstrukcja A = B może oznaczać odmienne operacje: porównania obiektów lub kopiowanie wartości jednego z nich do drugiego.

Instrukcje zapisane w języku programowania powinny być jednoznacznie interpretowane przez komputer. Języki programowania wcześniejszych generacji – tzw. języki niskiego poziomu – miały instrukcje zbliżone do postaci maszynowej, a nawet zapisane w formie binarnej. Programowanie w takich językach wymagało dużego wysiłku ze strony programistów. Kod programu był mało czytelny dla człowieka, jego testowanie również było czasochłonne. Wraz z rozwojem języków programowania pojawiły się języki wysokiego poziomu, których instrukcje zorientowane były przede wszystkim na programistę. Pojedyncza instrukcja w języku wysokiego poziomu może odpowiadać wielu instrukcjom w kodzie maszynowym, co prowadzi do skrócenia kodu programu. Języki programowania wysokiego poziomu wymagają tzw. translacji kodu programu na język maszynowy, która dokonywana jest za pomocą specjalnego oprogramowania – translatora – w sposób automatyczny[20]. Translacja może się odbywać jednorazowo dla całego programu (tzw. kompilacja) lub dla pojedynczych jego konstrukcji (tzw. interpretacja).

Przykład kodu źródłowego realizującego funkcję obliczenia silni przedstawia rys. 7.

Rysunek 7. Przykład zapisu algorytmu w postaci kodu źródłowego w języku Java

```
public static void main(String[] args) throws IOException
{
    BufferedReader br = new BufferedReader(
        new InputStreamReader(System.in));
    int N = Integer.parseInt(br.readLine());
    int S = N;
    do {
        N = N - 1;
        S = S * N;
    }while( N > 1 );
    System.out.println(S);
}
```

Źródło: opracowanie własne

Dane w komputerze są reprezentowane w postaci binarnej (syn. dwójkowej, zerojedynkowej). Oznacza to zastosowanie do zapisu dowolnych rodzajów danych jedynie wartości

[19] M. Needleman, *The unicode standard*, „Serials Review" 2000/26(2), s. 51–54.

[20] R. Harper, *Programming languages: Theory and practice*, https://fpl.cs.depaul.edu/jriely/547/extras/online.pdf, 2002 (dostęp: 8.11.2024 r.).

zapisanych z wykorzystaniem dwójkowego systemu liczbowego. Najmniejsza jednostka w takim systemie może przybierać wartość 0 lub 1 i nazywana jest bitem (ang. *binary digit*). Osiem bitów ułożonych w określonej kolejności tworzą bajt (rys. 8). Każda pozycja w bajcie ma swoją wagę wyrażoną kolejną potęgą liczby 2. Bajt może pomieścić 2^8=256 różnych wartości.

Rysunek 8. Bit a bajt

wagi	2^7 (128)	2^6 (32)	2^5 (32)	2^4) (16)	2^3 (8)	2^2 (4)	2^1 (2)	2^0 (1)
	0	1	1	0	1	0	0	1

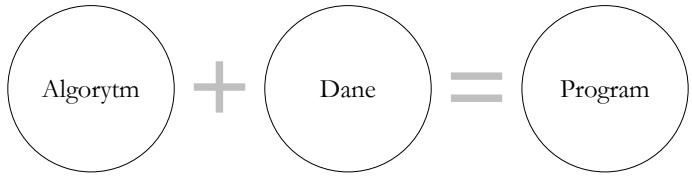
Źródło: opracowanie własne

W praktyce stosowane są wielokrotności bajta: kilobajt (KB), megabajt (MB), gigabajt (GB), terabajt (TB) itd. Należy pamiętać, że jednostki te nie należą do układu SI, ponieważ stosują inny mnożnik: 1024 zamiast 1000. Związane to jest z binarną reprezentacją danych: $1024=2^{10}$.

Reprezentacja różnych typów danych w komputerze sprowadza się do zapisu binarnego. Inaczej mówiąc, wszystko w komputerze jest liczbą. Liczby naturalne nie wymagają dodatkowej interpretacji, ponieważ mogą być zapisane w kodzie binarnym bez zmian. Liczby całkowite muszą przechowywać znak, co prowadzi do konieczności stosowania nieco innej formy zapisu – na przykład tzw. kodu uzupełniającego. Liczby rzeczywiste mogą być zapisane w postaci uniwersalnej podzielonej na mantysę – liczbę normalizowaną z zakresu [0;1] oraz cechy – mnożnika w postaci 2^n (tzw. zapis zmiennoprzecinkowy). Pojedynczy znak alfabetu może być reprezentowany przez liczbę całkowitą oznaczającą jego pozycję w tablicy znaków. Data może być zapisana w postaci dużej liczby całkowitej, której wartością jest np. liczba dni od „roku zero" (w różnych systemach mogą to być różne wartości, np. 1900-01-01). Reprezentacja tekstów jest konkatenacją (złączeniem) poszczególnych znaków. Obrazy są zapisywane jako tablice pikseli, z których każdy jest liczbą oznaczającą kolor. Dźwięk może być zapisany za pomocą liczb charakteryzujących jego częstotliwość oraz amplitudę. Podsumowując, każdy złożony typ danych może być sprowadzony do formy binarnej.

Program komputerowy stanowi połączenie kodu źródłowego realizującego algorytm, z danymi wejściowymi, tymczasowymi oraz wyjściowymi (rys. 9). Algorytm jest uniwersalnym rozwiązaniem zadania. Program komputerowy jest ściśle związany z wybranym językiem programowania.

Rysunek 9. Definicja programu komputerowego wg profesora Niklausa Wirtha



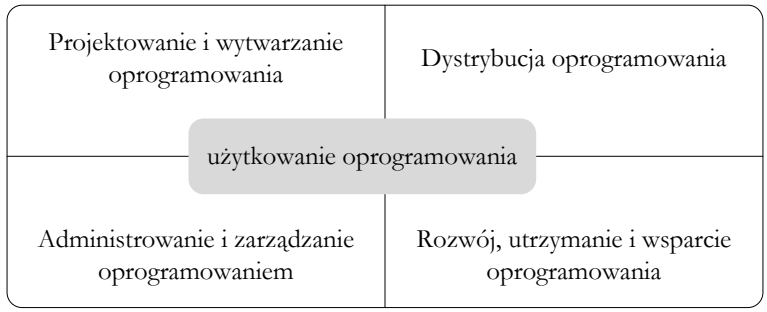
Źródło: N. Wirth, *Algorithms, Data Structures*, Prentice-Hall, Inc., 1985.

2.2. Definicja oprogramowania

Oprogramowanie (ang. *software*) jest niematerialną częścią komputera, która współdziała ze sprzętem i zapewnia jego poprawne funkcjonowanie w celu rozwiązania określonych zadań algorytmicznych, poprzez wykonanie uporządkowanych zbiorów instrukcji sformułowanych w określonym języku programowania. Oprogramowanie jest rezultatem realizacji algorytmów w formie maszynowej.

Najważniejsze zagadnienia związane z oprogramowaniem przedstawia rys. 10.

Rysunek 10. Zagadnienia związane z oprogramowaniem



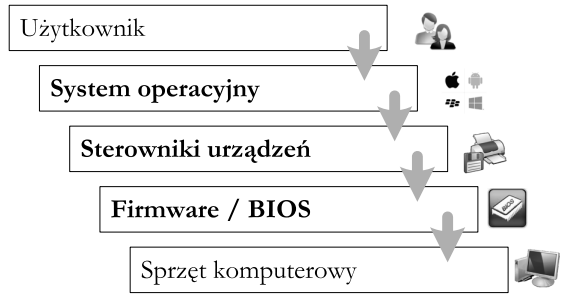
Źródło: opracowanie własne

Oprogramowanie jest jednym z najbardziej złożonych dzieł człowieka. Złożoność ta wynika zarówno z natury procesu tworzenia oprogramowania, jak i z charakterystyki samego oprogramowania. Na wczesnych etapach projektu sformułowanie precyzyjnych wymagań do oprogramowania może być skompilowane. Dodatkowo, wymagania te mogą ulegać zmianom zarówno w procesie projektowania, jak i implementacji, testowania oraz użytkowania produktu. Dlatego też proces wytwarzania oprogramowania powinien uwzględniać zmiany w wymaganiach technicznych, harmonogramach prac oraz budżecie. Wiąże się to z koniecznością efektywnego zarządzania zasobami ludzkimi, czasem i zadaniami w projekcie. Niezbędne jest również utrzymanie kompromisu pomiędzy jakością produktu, kosztami a czasem realizacji projektu.

Złożoność stosowanych algorytmów, konieczność opracowywania skomplikowanych struktur danych również przekłada się na złożoność procesu wytwarzania oprogramowania. Integracja różnorodnych technologii, platform sprzętowych oraz systemów operacyjnych wymaga wysokiej kwalifikacji inżynierów programistów oraz architektów oprogramowania. Zapewnienie wysokiej jakości oprogramowania wymaga systematycznych procesów testowania oraz kontroli. Mimo to nie zawsze można zapewnić w sposób gwarantowany, że powstały produkt jest zgodny ze wszystkimi pierwotnymi założeniami oraz spełnia wszystkie wymogi.

Oprogramowanie systemowe stanowi rodzaj oprogramowania, którego celem jest umożliwienie funkcjonowania komputera poprzez zarządzanie jego zasobami, zapewnienie współpracy z urządzeniami wejścia–wyjścia oraz realizację podstawowych funkcji niezbędnych do działania innych programów. Oprogramowanie systemowe stanowi fundament do uruchomienia aplikacji użytkownika. W zależności od poziomu, na którym działa, wyróżnia się następujące rodzaje oprogramowania systemowego: system operacyjny, sterowniki urządzeń oraz *firmware* (rys. 11).

Rysunek 11. Warstwy oprogramowania systemowego



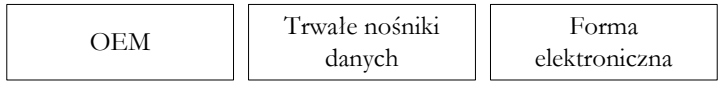
Źródło: opracowanie własne

Oprogramowanie użytkowe, w przeciwieństwie do oprogramowania systemowego, to rodzaj oprogramowania, którego celem jest dostarczanie użytkownikom narzędzi oraz aplikacji do wykonywania różnorodnych zadań zorientowanych na konkretne potrzeby użytkownika.

2.3. Metody dystrybucji oprogramowania

Metody dystrybucji odegrały istotną rolę w rozwoju oraz rozpowszechnieniu oprogramowania. Obecnie wyróżnia się trzy podstawowe metody dystrybucji (rys. 12).

Rysunek 12. Metody dystrybucji oprogramowania



Źródło: opracowanie własne

Historycznie pierwszą metodą powszechnej dystrybucji oprogramowania było wykorzystanie trwałych nośników danych do przekazania kopii programu na inny komputer. Do tej kategorii można odnieść już niestosowane obecnie karty perforowane, taśmy magnetyczne lub dyskietki. Obecnie kategoria ta jest reprezentowana przede wszystkim przez takie nośniki danych, jak płyta CD/DVD/BlueRay. Rzadziej można spotkać dystrybucję oprogramowania na nośnikach typu pendrive lub dysk twardy. Główną zaletą tej metody rozpowszechniania oprogramowania jest zapewnienie użytkownikowi końcowemu pewności, że w przypadku odinstalowania nabytego oprogramowania, przypadkowego jego skasowania bądź awarii całego komputera odtworzenie oprogramowania z nośnika twardego będzie możliwe w każdej chwili. Niestety, w czasach obecnych aktualizacje oprogramowania następują bardzo często, więc nośnik z programem szybko się starzeje. Poza tym, jest to dość kosztowna forma dystrybucji, ponieważ wiąże się z koniecznością wyprodukowania nośnika danych, jego opakowania oraz ewentualnie instrukcji użytkownika, składowania przygotowanych do sprzedaży egzemplarzy, współpracy z sieciami dystrybucyjnymi itp. Koszt wersji końcowej dla użytkownika powinien uwzględniać koszty licencji, produk-

cji oraz wynagrodzenie pośredników. Im dłuższa ta ścieżka, tym mniej atrakcyjna będzie cena końcowa produktu.

Dlatego we współczesnym świecie informatycznym najbardziej popularną metodą dystrybucji oprogramowania stała się forma elektroniczna. Polega ona na nabyciu licencji cyfrowej oraz pobraniu plików instalacyjnych programu za pośrednictwem sieci globalnej Internet. Raz zainstalowany program może dalej aktualizować się automatycznie, dostarczając użytkownikowi najnowszą wersję. Minimalizacja liczby pośredników pomiędzy producentem oprogramowania a nabywcą korzystnie wpływa na cenę końcową produktu i, co za tym idzie, zwiększa jego popularność. Forma elektronicznej dystrybucji oprogramowania pojawiła się w drugiej połowie lat 90. XX w.[21] Szeroką popularność zdobyła natomiast dopiero pod koniec pierwszej dekady XXI w., kiedy powstały ogólnoświatowe sklepy oprogramowania takie jak Google Play, Microsoft Store lub Apple App Store. Charakterystyczną cechą tej formy dystrybucji jest silna zależność użytkownika od producenta oprogramowania, który może wymuszać aktualizacje na klientach bez możliwości cofnięcia się do poprzedniej wersji lub uzależniać nabycie kolejnych wersji programu za dodatkową opłatą (np. w przypadku zmiany systemu operacyjnego, licencja cyfrowa może stracić ważność). Niemniej jednak, w dzisiejszych czasach elektroniczna forma dystrybucji praktycznie wyparła z rynku inne metody dystrybucji, poza jedną specyficzną, o której będzie mowa dalej.

Metoda dystrybucji oprogramowania w postaci OEM (ang. *Original Equipment Manufacturer*) zakłada nabycie oprogramowania wraz ze sprzętem. Klasycznym przykładem może być zakup nowego laptopa z preinstalowanym systemem Windows. Korzyści z tej metody czerpią zarówno producenci oprogramowania oraz sprzętu, jak i użytkownicy końcowi. Producent sprzętu szybciej sprzeda towar gotowy do bezpośredniego użytku niż „goły" sprzęt, który trzeba konfigurować. Producent oprogramowania uzyskuje nabywcę hurtowego wielu licencji na oprogramowanie. Użytkownik końcowy otrzymuje po zakupie sprzęt gotowy do pracy. Cena licencji OEM jest znacznie niższa niż cena tegoż oprogramowania sprzedawanego jako osobny wyrób, tzw. „in box". Wiąże się to jednak z dość istotnym ograniczeniem: licencji OEM nie można przenosić na inny sprzęt. Uszkodzenie komputera w tym przypadku jest równoznaczne z utratą oprogramowania.

2.4. Licencje na oprogramowanie

Prawo autorskie na oprogramowanie jest jedną z form prawa autorskiego, która chroni oryginalne dzieła programistyczne przed nielegalnym ich rozpowszechnianiem, powielaniem oraz użytkowaniem bez zgody właściciela praw autorskich – programisty, który to dzieło stworzył. Prawo autorskie chroni takie elementy oprogramowania jak: kod źródłowy, interfejs graficzny użytkownika oraz jego charakterystyczne elementy (np. ikony, sposób ich rozmieszczenia) oraz inne oryginalne elementy.

Oprogramowanie jest chronione przez prawo autorskie z urzędu i nie wymaga osobnej rejestracji dzieła. Autor może przekazać pewne prawa na oprogramowanie osobom trzecim, określając warunki korzystania z niego. Umowa pomiędzy autorem a użytkownikiem oprogramowania nazywa się licencją. Za pomocą licencji właściciel praw autorskich de-

[21] S.D. Rubin, *Trusted distribution of software over the Internet*, Proceedings of the Symposium on Network and Distributed System Security. IEEE, 1995.

cyduje, jakie prawa udzielić innym osobom i na jakich warunkach, co użytkownik może i czego nie może robić z oprogramowaniem.

Istnieje wiele różnych rodzajów licencji na oprogramowanie[22].

Licencja oprogramowania „zamkniętego" (ang. *Proprietary License*) ogranicza prawa użytkowników do użytkowania programu w postaci *as is*, czyli jak jest na czas nabycia licencji, bez możliwości wglądu i modyfikacji kodu źródłowego. Większość komercyjnego oprogramowania korzysta z tego rodzaju licencji. W przeciwieństwie do oprogramowania zamkniętego, licencja na oprogramowanie otwarte (ang. *Open Source License*) pozwala na dostęp, modyfikację oraz redystrybucję kodu źródłowego programu. Typowym przykładem tego rodzaju licencji są popularne licencje GNU, GPL lub Apache.

Licencja może ograniczać funkcjonalność i/lub czas użytkowania oprogramowania. Jest to tzw. licencja typu *shareware*. Zazwyczaj jest ona stosowana w sytuacjach, kiedy autor nieodpłatnie udostępnia wersję demonstracyjną oprogramowania, którego kluczowa funkcjonalność jest ograniczona. Na przykład, program do wystawiania faktur pozwala na wprowadzenie pełnych danych, ale nie może wydrukować dokumentu. Jeśli licencja ogranicza wyłącznie czas nieodpłatnego wykorzystania oprogramowania, mówi się o rodzaju licencji *trialware*. Nie należy jej mylić z licencją oprogramowania zamkniętego, ważną przez określony interwał czasowy: w tym przypadku po upływie ważności licencji oprogramowanie nie traci swoich walorów funkcjonalnych, ale nabywca nie może np. wykorzystywać go do wyrobienia innych produktów i dalszej ich odsprzedaży. W przypadku *trialware* po upływie okresu licencji oprogramowanie staje się bezużyteczne i nabywca powinien je odinstalować lub zakupić pełną wersję.

Licencja akademicka może przysługiwać instytucjom związanym z edukacją. Z reguły jest ona znacznie tańsza od licencji komercyjnej, lecz nie pozwala na wykorzystanie oprogramowania do celów zarobkowych.

Licencja może ograniczyć liczbę instalacji programu, zarówno ogólną (rzadziej), jak i liczbę równolegle działających instancji programu. Przykładowo, licencja akademicka Microsoft Office 365 pozwala na zainstalowanie pakietu oprogramowania biurowego na 5 stanowiskach równolegle, przy czym zmiana stanowiska na inne nie może odbywać się częściej niż raz na 3 miesiące.

2.5. Systemy operacyjne

System operacyjny (ang. OS, *Operating System*) stanowi rodzaj oprogramowania systemowego zapewniającego użytkownikowi interfejs komunikacji z komputerem oraz możliwość działania programów użytkowych.

Systemy operacyjne charakteryzują się dużą złożonością kodu źródłowego. Przykładowo, rozwój systemów operacyjnych z rodziny Linux jest zasługą wspólnego wysiłku tysięcy programistów z całego świata, a liczba linijek w kodzie źródłowym tzw. jądra systemu (części wspólnej dla wielu dystrybucji) sięga kilku milionów. Wyzwaniem dla systemów operacyjnych jest realizacja algorytmów zorientowanych na współpracę z różnorodnymi rodzajami sprzętu komputerowego pochodzącego od różnych producentów: płyt głównych, procesorów, kart graficznych itp. W szczególności, system operacyjny powinien zarówno zapewniać kompatybilność z kilkoma generacjami sprzętu już obecnego na rynku na mo-

[22] M. Di Penta i in., *An exploratory study of the evolution of software licensing*, Proceedings of the 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering, vol. 1, 2010.

ment ukazania się nowszej wersji oprogramowania, jak i być otwartym na urządzenia, które dopiero się pojawią.

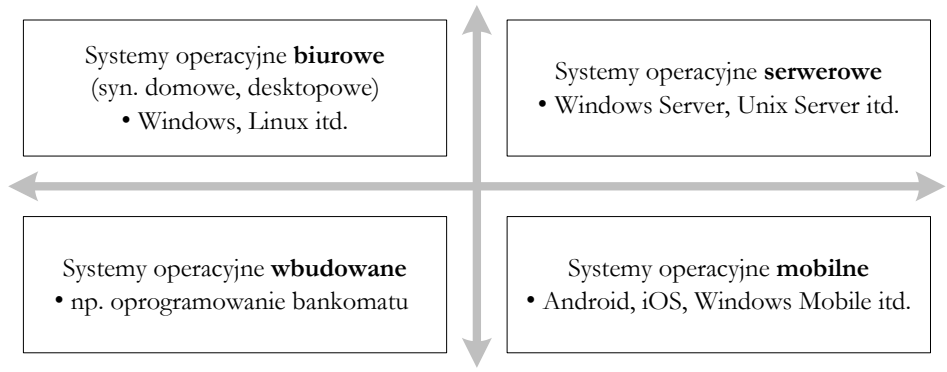
Kolejnym bardzo istotnym z punktu widzenia zapewnienia wydajnego działania komputera zadaniem jest możliwość obsługi wielu zadań równolegle. System operacyjny powinien zapewnić przydzielenie programowi czasu wykonania na procesorze, który jest jednostką współdzieloną dla wielu zadań działających jednocześnie, zgodnie z rodzajem oraz priorytetem zadania. Przykładowo, programy realizujące interfejs użytkownika nie powinny odczuć dodatkowego obciążenia systemu wynikającego z przygotowania dokumentu do wydruku, ładowania strony w przeglądarce internetowej lub zapisu dużego pliku na dysk.

Współczesne systemy operacyjne umożliwiają obsługę wielu użytkowników, dla każdego z których należy zapewnić możliwość bezpiecznego logowania, indywidualne foldery robocze oraz ustawienia programów, nadać uprawnienia do poszczególnych zasobów itp. Systemy operacyjne serwerowe umożliwiają równoległą pracę wielu użytkowników. Odrębnym tematem bardzo popularnym w ostatnich latach jest wirtualizacja – technologia tworzenia odizolowanych od siebie oraz zasobów fizycznych komputera warstw, z których każda może być aplikacją, fragmentem sieci komputerowej, jądrem systemu operacyjnego lub nawet wirtualnym komputerem[23]. Głównym celem wirtualizacji jest optymalizacja wykorzystania zasobów komputera oraz izolacja poszczególnych warstw oprogramowania i sprzętu.

Należy wspomnieć również o zagadnieniach związanych z lokalizacją oraz globalizacją systemów operacyjnych. Pod lokalizacją rozumie się proces dostosowania oprogramowania do konkretnego obszaru geograficznego, z uwzględnieniem języka, lokalnej kultury oraz innych uwarunkowań. Przykładowo, lokalizacja może polegać na przetłumaczeniu na język polski elementów menu użytkownika, komunikatów, dokumentacji itp. oraz zmianie formatowania dat i liczb zgodnie z przyjętymi w kraju standardami. Przez globalizację natomiast rozumie się przygotowanie oprogramowania w taki sposób, aby ułatwić jego lokalizację bez konieczności naniesienia zmian w kodzie źródłowym. Współczesne systemy operacyjne wspierają większość interfejsów językowych na świecie.

W zależności od przeznaczenia, systemy operacyjne dzielą się na biurowe, serwerowe, wbudowane oraz mobilne (rys. 13).

Rysunek 13. Rodzaje systemów operacyjnych według przeznaczenia



Źródło: opracowanie własne

[23] S. Nanda, T. Chiueh, , *A survey on virtualization technologies*, Department of Computer Science SUNY at Stony Brook, Stony Brook, NY 2005.

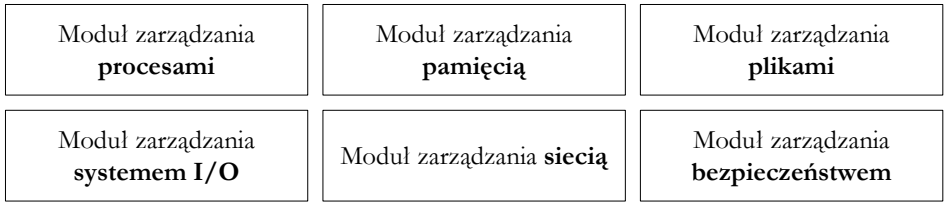
Systemy operacyjne biurowe stanowią najbardziej liczebną grupę. Są one niezbędnym wyposażeniem każdego komputera personalnego. Systemy operacyjne serwerowe przeznaczone są do profesjonalnych zastosowań, takich jak świadczenie usług wielu użytkownikom, wykonanie złożonych obliczeń, przechowanie dużych zbiorów danych oraz zagadnienia związane z szeroko pojętym bezpieczeństwem. Systemy operacyjne wbudowane działają na urządzeniach o mniejszej mocy obliczeniowej niż przeciętne komputery. Ich zadaniem jest wykonanie określonej funkcji: sterowanie ruchem w sieci, obsługa interfejsu użytkownika, zarządzanie zadaniami drukowania itp. Ze względu na ograniczone możliwości sprzętu, systemy mobilne muszą być dostosowane do jego charakterystyk i mogą nie posiadać np. interfejsu użytkownika, nie obsługiwać urządzeń wejścia–wyjścia itp.

Do najważniejszych zadań systemów operacyjnych należą:

- zapewnienie użytkownikowi interfejsu komunikacji z komputerem,
- zarządzanie zasobami komputera, w tym: procesorem, pamięcią operacyjną, pamięcią trwałą oraz urządzeniami wejścia–wyjścia,
- organizowanie odczytu i zapisu danych, zarządzanie systemem plików,
- zarządzanie procesami systemowymi oraz uruchamianie programów użytkowych,
- zapewnienie bezpieczeństwa dostępu do zasobów komputera,
- nadzorowanie wymiany danych pomiędzy urządzeniami zewnętrznymi i jednostką centralną,
- obsługa błędów oraz diagnostyka działania komputera.

W celu efektywnej realizacji wymienionych wyżej zadań współczesne systemy operacyjne są budowane w sposób modułowy (rys. 14).

Rysunek 14. Podstawowe moduły systemu operacyjnego



Źródło: opracowanie własne

Moduł zarządzania procesami odpowiada za uruchomienie, nadzorowanie oraz zamknięcie procesów. Pod procesem rozumie się dowolny program lub część programu, która działa według własnego algorytmu oraz ma przydzielone: czas wykonania na procesorze, obszar w pamięci RAM oraz zasoby zewnętrzne (np. pliki). Proces może być systemowym, który uruchamia się poza interfejsem użytkownika na koncie z uprawnieniami systemu, lub użytkowym – uruchamianym na skutek interakcji użytkownika z interfejsem systemu operacyjnego. W przypadku, gdy proces nie odpowiada lub jego zachowane może stanowić zagrożenie dla stabilnej pracy OS, moduł procesów może podjąć decyzję o wymuszeniu jego zamknięcia. Interfejs graficzny modułu zarządzania procesami nazywa się menedżerem zadań i pozwala użytkownikowi samodzielnie sprawdzić stan procesów oraz aplikacji w systemie. Jest to narzędzie szczególnie przydatne w sytuacji, kiedy komputer zwalnia tempo pracy z nieznanych przyczyn lub kiedy jeden z procesów zaczyna alokować coraz więcej czasu procesora lub pamięci operacyjnej. Najczęściej świadczy to o błędzie w pro-

gramie, lecz nie należy wykluczać groźniejszej sytuacji, kiedy proces został zainfekowany przez oprogramowanie szkodliwe.

Moduł zarządzania pamięcią przydziela procesowi obszar w pamięci RAM, w którym proces może umieszczać swoje dane tymczasowe. Przy tym obszar ten powinien być w miarę możliwości ciągłym, ponieważ zapis i odczyt danych w tym przypadku przebiegają najsprawniej. W praktyce wcześniej czy później dochodzi do znaczącej fragmentacji obszaru pamięci RAM, co obniża wydajność komputera. Do zadań modułu zarządzania pamięcią należy między innymi okresowa defragmentacja pamięci operacyjnej. Po ukończeniu działania, proces powinien zwolnić przydzielony mu obszar pamięci RAM. W praktyce nie zawsze do tego dochodzi: na skutek np. zapętlenia się lub błędów w programie proces przestaje reagować na bodźce zewnętrzne i jedynym możliwym w tym przypadku działaniem jest jego zamknięcie przez moduł zarządzania procesami. Przy tym obszar pamięci RAM przypisany do procesu może pozostać zaznaczony jako zajęty, co powoduje obniżenie wolnej przestrzeni w pamięci operacyjnej. Dlatego kolejnym zadaniem modułu zarządzania procesami jest monitorowanie zajętych obszarów pamięci pod względem ich przypisania do działających procesów. Jeśli w pewnym momencie okaże się, że obszar pamięci nie ma „właściciela", należy go zwrócić do puli wolnych segmentów pamięci.

Moduł zarządzania plikami zapewnia obsługę przechowania danych na nośnikach trwałych w postaci plików. Plikiem nazywa się trwała struktura danych przechowywana na nośniku. Pliki mogą przechowywać kod wykonywalny programu lub dane. Struktury stosowane do przechowywania danych zależą od tzw. systemu plików.

Obecnie istnieje wiele systemów plików, z których za najbardziej rozpowszechnione należy uznać: NTFS (ang. *New Technology File System*) opracowany oraz rozwijany przez korporację Microsoft i stosowany we wszystkich systemach tego producenta, FAT32 (ang. *File Allocation Table*) popularny przede wszystkich w urządzeniach przenośnych oraz części systemów operacyjnych starszego pokolenia[24], EXT4 (ang. *Fourth Extended File System*) stosowany przede wszystkim w systemach operacyjnych bazujących na jądrze Linux, lub APFS (ang. *Apple File System*) stworzony i rozwijany przez korporację Apple dla platformy komputerów z rodziny Mac.

Do najważniejszych zadań modułu zarządzania plikami należą:

- zarządzanie nośnikami danych: wyszukiwanie, rozpoznawanie oraz obsługa dysków twardych, stacji CD/DVD/BD-ROM, oraz innych nośników,
- tworzenie, edytowanie oraz usuwanie folderów i plików,
- przydzielanie uprawnień dostępu do plików, rozwiązywanie problemów wspólnego dostępu,
- zapewnienie bezpieczeństwa systemu plików poprzez ciągłe monitorowanie kluczowych obszarów nośnika, tablic alokacji plików, uprawnień itp.

Moduł zarządzania podsystemem I/O zapewnia przydzielanie adresów urządzeniom wejścia–wyjścia, rozwiązanie ewentualnych konfliktów sprzętowych, wykrywanie oraz instalację sterowników urządzeń, obsługę komunikacji rdzenia systemu operacyjnego z urządzeniami.

Moduł zarządzania siecią realizuje obsługę sieciowych urządzeń sprzętowych, zapewnia realizację protokołów komunikacji sieciowej takich jak np. TCP/IP, umożliwia zarządzanie grupami roboczymi użytkowników, domenami oraz uprawnieniami do zasobów sieciowych, monitoruje i ogranicza w razie potrzeby ruch sieciowy.

[24] L.K. Rusbarsky, *A forensic comparison of NTFS and FAT32 file systems*, Marshall University 2012, https://www.marshall.edu/forensics/files/RusbarskyKelsey_Research-Paper-Summer-2012.pdf (dostęp: 8.11.2024 r.).

Moduł zarządzania bezpieczeństwem jest nieodłączną częścią współczesnych OS. Do jego zadań należy utrzymanie kont użytkowników lokalnych i sieciowych, umożliwienie logowania się do systemu operacyjnego, szyfrowanie prywatnych folderów użytkownika lub całego nośnika z danymi, zapewnienie ochrony przed działaniem oraz rozpowszechnianiem się oprogramowania szkodliwego, blokada dostępu do komputera z poziomu sieci realizowana przez tzw. zaporę sieciową (ang. *firewall*), umożliwienie wykonania kopii zapasowej systemu operacyjnego oraz danych użytkownika z możliwością przywrócenia w razie potrzeby.

2.6. Sterowniki urządzeń

Sterownik urządzenia (ang. *device driver*) stanowi rodzaj oprogramowania systemowego, którego zadaniem jest realizacja dostępu do funkcji urządzenia sprzętowego. Jest to bardzo obszerna kategoria urządzeń, które są produkowane w różnych standardach przez wielu producentów. Przykładowo, do kategorii „karta graficzna" należą zarówno podstawowe urządzenia zintegrowane z płytą główną komputera, jak i bardzo wydajne procesory graficzne składające się z kilku tysięcy rdzeni. Każde z tych urządzeń powinno realizować takie podstawowe funkcje jak wyświetlanie tekstu oraz rysowanie elementów graficznych. Z punktu widzenia systemu operacyjnego funkcje te muszą posiadać identyczne parametry i sposób wywołania (przykładowo, narysowanie koła wymaga wskazania współrzędnych, promienia oraz koloru). Na poziomie sprzętowym jednak każdy z producentów może realizować to zupełnie inaczej. Zadaniem sterownika urządzenia jest dostosowanie uniwersalnych metod wołania realizowanych funkcji do specyfiki sprzętowej realizacji konkretnego urządzenia. Co za tym idzie, każde urządzenie sprzętowe w innym systemie operacyjnym powinno posiadać indywidualny sterownik. I odwrotnie, system operacyjny powinien obsługiwać różne rodzaje sterowników. Sterownik jest ładowany przy starcie systemu operacyjnego lub przy podłączeniu urządzenia. Brak sterownika może prowadzić do niewłaściwego funkcjonowania sprzętu.

Ponieważ jednym z zadań sterownika jest zapewnienie maksymalnej wydajności funkcjonowania urządzenia sprzętowego, często oprogramowanie tego typu jest programowane w językach niskiego poziomu typu Asemblera lub języku wysokiego programowania C/C++ pozwalającego na dostęp do metod obsługi sprzętu na niskim poziomie. Opracowanie sterownika może odbywać się po stronie producenta sprzętu lub producenta systemu operacyjnego. W sytuacji, kiedy producent sprzętu wypuszcza na rynek nowe urządzenie lub aktualizację już istniejącego, system operacyjny może nie rozpoznać sprzętu lub zaproponować niewłaściwy lub nieoptymalny sterownik. Dlatego w opisanej sytuacji opracowanie nowego sterownika leży po stronie producenta sprzętu. Następnie przez pewien czas producent sprzętu wspiera proces eksploatacji urządzenia poprzez aktualizację sterownika, która ma na celu optymalizację jego pracy lub dostosowanie się do zmian w systemie operacyjnym. W pewnym momencie producent systemu operacyjnego wypuszcza własny sterownik do sprzętu. Z reguły sterownik ten nie ma wszystkich możliwości oryginalnego sterownika producenta, lecz jest z punktu widzenia producenta OS bardziej „zaufanym" komponentem systemu. Przez pewien czas obydwa rodzaje sterowników mogą istnieć niezależnie. Nadchodzi jednak moment, gdy producent sprzętu zaprzestaje wsparcia przestarzałego z jego punktu widzenia sprzętu. W tej sytuacji jedynym wyjściem dla użytkownika komputera jest korzystanie ze sterownika dostarczanego

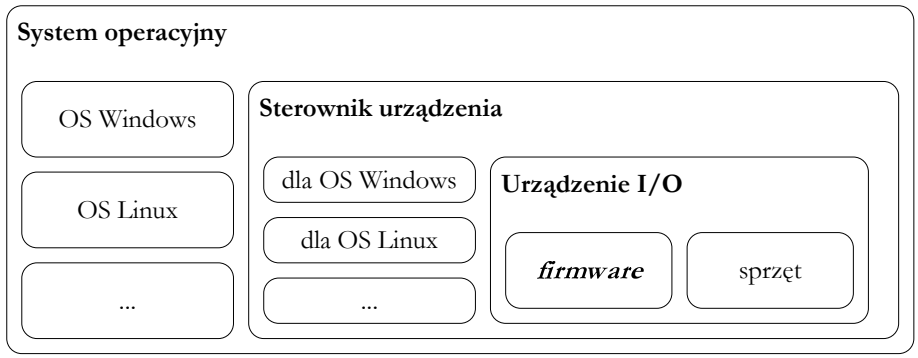
wraz z systemem operacyjnym. Należy się liczyć z tym, że w następnej wersji systemu operacyjnego urządzenie może nie otrzymać wsparcia wcale.

2.7. *Firmware*

Firmware jest rodzajem oprogramowania systemowego, którego celem jest zapewnienie funkcjonowania urządzenia na poziomie sprzętowym. Przykładem może być np. *firmware* dysku twardego HDD, do funkcji którego należą między innymi pozycjonowanie głowicy magnetycznej, sterowanie obrotami silnika, generowanie sygnału zapisującego dane, przekształcenie danych odczytanych z talerzy w formie analogowej na postać cyfrową. Wyróżnikiem *firmware* jest realizacja algorytmów, które nie zależą od systemu operacyjnego. Firmware jest częścią integralną urządzenia. Kod algorytmów jest zapisywany najczęściej do pamięci stałej ROM (ang. *Read Only Memory*) na etapie produkcji urządzenia.

W uzasadnionych przypadkach producenci sprzętu mogą udostępniać aktualizacje *firmware*. Do takich sytuacji w szczególności należą: nieprawidłowe lub nieoptymalne działanie urządzenia, wykrycie luk bezpieczeństwa, błędów w algorytmach skracających znacząco życie produktu, konieczność dodania nowych funkcjonalności, zmniejszenie zużycia energii itp. Aktualizacja *firmware* polega na uruchomieniu programu przygotowanego przez producenta sprzętu na komputerze, na którym działa aktualizowane urządzenie. W procesie aktualizacji następuje przepisanie zawartości pamięci stałej ROM układu scalonego. Przerwanie tego procesu ze względu np. na brak zasilania lub inne błędy skutkować może całkowitym uszkodzeniem sprzętu. Dlatego podczas aktualizacji *firmware* należy zminimalizować liczbę uruchomionych programów. Często w tym celu producenci udostępniają całe środowisko uruchomieniowe, niezależne od systemu operacyjnego zainstalowanego w komputerze. Pozwala to zminimalizować ryzyko niewłaściwego zaprogramowania pamięci ROM urządzenia. Relacje pomiędzy sterownikiem urządzania a jego *firmware* ilustruje rys. 15.

Rysunek 15. Sterownik a *firmware* urządzenia



Źródło: opracowanie własne

BIOS (ang. *Basic Input-Output System*) jest rodzajem *firmware* zintegrowanego z płytą główną komputera. BIOS jest odpowiedzialny za wykrywanie oraz inicjalizację urządzeń sprzętowych podczas uruchamiania komputera (ang. POST, *Power On Self Test*) i jest jed-

nym z pierwszych programów, które są uruchamiane, zanim dojdzie do ładowania systemu komputerowego. Pierwszym zadaniem BIOS po włączeniu komputera jest sprawdzenie obecności oraz poprawności konfiguracji podstawowych komponentów sprzętowych, takich jak CPU, RAM, karta graficzna itp. Nieobecność lub niewłaściwe działanie kluczowych komponentów sprzętowych uniemożliwia działanie komputera, o czym użytkownik jest informowany osobnym komunikatem. W przypadku gdy BIOS nie wykryje monitora lub karty graficznej, do ostrzegania użytkownika są stosowane sygnały dźwiękowe z miniaturowego głośnika zamontowanego na płycie głównej. Gdy błędy wykryte przez BIOS nie są krytyczne i uruchomienie systemu operacyjnego może być kontynuowane, użytkownik zostaje poinformowany w formie ostrzeżenia z możliwością zignorowania problemu lub przejścia do ustawień w celu próby wyeliminowania przyczyny błędu. Na przykład, programowe ustawienie zbyt wysokiej częstotliwości procesora może powodować problemy związane ze stabilną jego pracą. Przekroczenie dopuszczalnej temperatury zgłoszone przez czujnik na płycie głównej lub brak obrotów wentylatora może grozić przegrzaniem się podzespołów komputera, co ostatecznie prowadzi do trwałego ich uszkodzenia.

Po ukończeniu testowania sprzętu program BIOS przechodzi do wykrywania nośnika danych zawierającego pliki uruchomieniowe systemu operacyjnego. Ponieważ w systemie mogą być obecne różne nośniki danych, BIOS umożliwia użytkownikowi określenie pożądanej kolejności prób uruchomienia systemu operacyjnego. Przykładowo, jako pierwsze urządzenie można wskazać dysk przenośny USB, jako następne – stację dysków DVD-ROM, i dalej – dysk twardy SSD z zainstalowanym systemem operacyjnym. Taka konfiguracja pozwoli na szybkie uruchomienie alternatywnej wersji OS – wystarczy, że w gnieździe USB lub stacji DVD-ROM znajdzie się odpowiedni nośnik. Należy przy tym uwzględnić kwestie bezpieczeństwa: możliwość ładowania systemu np. z pendrive może być wykorzystana przez osoby nieupoważnione w celu dostania się do danych znajdujących się na dysku twardym komputera i obejścia zabezpieczeń OS.

BIOS obsługuje również podstawowe urządzenia wejścia–wyjścia, takie jak klawiatura, mysz, porty USB lub inne złącza systemowe. Może również zarządzać pewnymi aspektami zasilania, takimi jak tryby uśpienia i wybudzania, a także ustawieniami związanymi z oszczędzaniem energii. Współczesne komputery używają nowoczesnej wersji tradycyjnego BIOS, która nazywa się UEFI (ang. *Unified Extensible Firmware Interface*). UEFI często oferuje bardziej rozbudowane funkcje niż klasyczny BIOS, posiada też bardziej przyjazny użytkownikowi interfejs graficzny.

Możliwość aktualizacji *firmware* (w tym BIOS) ma też swoje słabe strony i może być wykorzystana do celowego uszkodzenia sprzętu. Wirus o nazwie Czarnobyl (znany również jako CIH[25]) w kwietniu 1998 r. wywoływał szereg szkodliwych działań, z których najbardziej znanym i destrukcyjnym było nadpisanie BIOS-u płyty głównej, co prowadziło do nieodwracalnego uszkodzenia komputera. Pojawienie się CIH zwróciło uwagę na potrzebę zabezpieczania systemów przed zagrożeniami związanymi z złośliwym oprogramowaniem.

[25] M. Christodorescu, J. Somesh, *Static analysis of executables to detect malicious patterns*, 12th USENIX Security Symposium (USENIX Security), 2003, https://www.cs.cornell.edu/courses/cs711/2005fa/papers/cj-usenix03.pdf (dostęp: 8.11.2024 r.).

2.8. Oprogramowanie użytkowe

Zadaniem oprogramowania użytkowego jest realizacja algorytmów na potrzeby użytkowników związane z ich działalnością zawodową lub osobistą. Istnieje wiele dość luźno zdefiniowanych kategorii oprogramowania użytkowego. Dalej zostaną wymienione najbardziej popularne z nich.

Aplikacje biurowe umożliwiają tworzenie, edytowanie i prezentację dokumentów tekstowych, arkuszy kalkulacyjnych, grafiki menedżerskiej itp. Do tej grupy zaliczają się między innymi pakiety Microsoft Office z programami Microsoft Word, Excel oraz PowerPoint, jak również alternatywna wersja pakietu biurowego LibreOffice dostępnego nieodpłatnie oraz rozwijanego na zasadach kodu otwartego. W ostatnich latach w związku z rozwojem technologii sieciowych obserwuje się migrację pakietów oprogramowania biurowego w kierunku chmury – aplikacji działających w przeglądarce WWW i niewymagających instalacji na komputerze użytkownika.

Aplikacje sieciowe pozwalające na korzystanie z usług dostępnych w sieci globalnej Internet stanowią dziś obowiązkowe wyposażenie komputera personalnego. Aplikacje typu przeglądarka WWW, takie jak np. Google Chrome, Microsoft Edge lub Mozilla Browser, pozwalają na surfowanie po stronach WWW, często odgrywają też rolę przeglądarek dokumentów w trybie do odczytu, a nawet realizują podstawową funkcjonalność poczty elektronicznej. Bardziej zaawansowaną funkcjonalność obsługi poczty elektronicznej oferują aplikacje dedykowane, takie jak na przykład Microsoft Outlook czy Mozilla Thunderbird. Należy też podkreślić rolę komunikatorów sieciowych, które realizują funkcjonalność rozmów w trybie online. W odróżnieniu od scentralizowanej architektury komunikacji w aplikacjach typu przeglądarka lub klient pocztowy, komunikatory korzystają z architektury peer-to-peer, która zakłada, że każdy z komputerów podłączony do sieci może jednocześnie być klientem pewnych usług i ich dostawcą – serwerem. Architektura zdecentralizowana komunikacji jest mniej podatna na awarie pojedynczego serwera, lecz jest też trudniejsza z punktu widzenia kontroli oraz zarządzania, w tym bezpieczeństwem całego systemu.

Kolejną dość liczebną grupę oprogramowania użytkowego stanowią **aplikacje do przetwarzania obrazów** grafiki komputerowej zapisanej zarówno w postaci rastrowej (np. Adobe Photoshop, GIMP), jak i wektorowej (np. Corel Draw, Power Point, Microsoft Visio).

Aplikacje do zarządzania projektami stanowią nieodłączny element wyposażenia przestrzeni roboczej każdego współczesnego menedżera. W tej grupie oprogramowania użytkowego można wymienić takie produkty jak Microsoft Project, Jira, GanttPro, Asana, Discord lub Trello. W zależności od możliwości oraz ceny produktu, dzisiejszy rynek aplikacji do zarządzania projektami jest w stanie zaoferować odpowiednie narzędzie do zarządzania każdego rodzaju projektem.

Oprogramowanie inżynieryjne CAD/CAM pozwala na wspomaganie komputerowe procesów projektowania oraz wytwarzania produktów. Za pomocą CAD – projektowania wspomaganego komputerowo (ang. *Computer Aided Design*) inżynierowie mogą tworzyć i udostępniać precyzyjne rysunki techniczne, wirtualne modele przedmiotów lub konstrukcji w dwóch lub trzech wymiarach. Wytwarzanie wspomagane komputerowo CAM (ang. *Computer Aided Manufacture*) jest zorientowane na sterowanie maszynami i procesami produkcyjnymi na podstawie projektów stworzonych w programach CAD.

Odrębną kategorię oprogramowania użytkowego stanowią **narzędzia programistyczne**. Przez ostatnie kilkadziesiąt lat przeszły one ewolucję od prostych edytorów tekstowych kodu źródłowego do potężnych środowisk IDE (ang. *Integrated Development Environ-*

ment), które łączą zaawansowane edytory kodu źródłowego z mechanizmami analizy poprawności, jakości oraz wydajności kodu, umożliwiają jego uruchomienie bez konieczności opuszczenia edytora, śledzenie wykonania kodu krok po kroku w celu wyłapywania błędów, automatyczne generowanie dokumentacji do programu oraz przygotowanie wersji dystrybucyjnej. Współczesne systemy baz danych zawierają nie tylko sam „silnik" bazy danych (ang. *Database Engine*), ale również zaawansowane narzędzia do analizy, wizualizacji i raportowania danych.

Komputery są również współczesnymi centrami rozrywki domowej. Wykorzystywane w tym celu **oprogramowanie multimedialne** odtwarza filmy w jakości 4K Ultra HD z płyt BlueRay lub ze strumieni danych sieciowych, służy do odtwarzania, nagrywania oraz udostępniania utworów muzycznych. Słowniki oraz tłumacze elektroniczne doskonale radzą sobie obecnie z tłumaczeniem tekstów powszechnych lub specjalistycznych na różne języki.

Oprogramowanie edukacyjne wspomaga proces nauki i szkolenia. Należy też wspomnieć o jednej z najbardziej popularnych kategorii oprogramowania użytkowego – grach komputerowych. Współczesne gry stanowią złożone oprogramowanie o wysokiej jakości grafice komputerowej, profesjonalnej ścieżce dźwiękowej, skomplikowanej fabule oraz z możliwością gry zespołowej przez sieć.

Wymienione wyżej rodzaje oprogramowania użytkowego nie obejmują wszystkich kategorii. Cała branża związana z produkcją oraz dystrybucją współczesnego oprogramowania rozwija się bardzo dynamicznie. Sukcesy, które w ostatnich latach odniosły rozwiązania wykorzystujące algorytmy sztucznej inteligencji, w szczególności wykorzystujące głębokie sieci neuronowe, niewątpliwie będą kształtować kierunki rozwoju oprogramowania już w najbliższym czasie.

3. Sieci komputerowe. Internet

W ostatnich latach zastosowania informatyki również do celów kryminalistyki coraz silniej wspomagane są wykorzystaniem do pracy komputerów i innych urządzeń komputerowych pracujących w środowiskach rozproszonych tworzonych sieciami komputerowymi. Celem jest uzyskanie przy obniżonych nakładach znacznie większych możliwości determinowanych poszerzonymi zastosowaniami narzędzi informatycznych. Pociągnęło to za sobą odejście od scentralizowanych konfiguracji (*time sharing systems*) wykorzystujących wyodrębnione komputery o dużej mocy obliczeniowej, które „dzieliły" swą moc na zadaną liczbę terminali wyposażonych wyłącznie w monitor i klawiaturę (*dumb terminals*). Pozwala to na powszechne wykorzystywanie w sieciach mini-, mikro-komputerów, inteligentnych telefonów i innych urządzeń o relatywnie mniejszej mocy obliczeniowej dla uzyskania przeróżnych aplikacji komputerowych poszerzających aplikacyjny zakres ich wykorzystania. W sieciach komputerowych zapewniają to serwery sieciowe stanowiące komputery o dowolnie dużych mocach obliczeniowych i różnorodnych aplikacjach dostępnych dla każdego urządzenia komputerowego z akcesem sieciowym.

W rozwiązaniach systemowych sieci komputerowych przekazywane są przypisane do określonych aplikacji dane w formatach cyfrowych wymieniane między użytkownikami sieci zazwyczaj w trybie dialogowym jako pliki, pliki zintegrowane integrujące tekst, głos, obraz, obraz wideo, zbiory graficzne, komunikatów czy innych form aplikacyjnych danych.

Wykorzystywaną techniką przekazywania takich informacji jest przełączanie pakietów i kanałów w trybie jednostronnego lub dwustronnego przekazywania informacji określ-

lone trybami pracy simpleks, pół-dupleks i dupleks. Simpleks oznacza tryb pracy typu pytanie–odpowiedź, podczas gdy dupleks zapewnia równoległą w czasie pracę komunikujących się stron, w którym w tym samym czasie dane są przesyłane w obydwie strony. Mechanizmy wymiany danych między użytkownikami sieci komputerowych są aranżowane przy wykorzystaniu asynchronicznej i synchronicznej transmisji danych. Pierwsza z nich charakteryzuje się wykorzystywaniem bitu startu i stopu, druga synchronizacją opartą na blokach danych.

Niebagatelną rolę w tworzeniu sieci odgrywają mechanizmy przenoszenia danych i informacji odnoszone do odległości geograficznych. Na początku były to odległości ograniczone do instytucji posiadających lokalne sieci komputerowe, podczas gdy aktualne rozwiązania sieci komputerowych mają już zasięg globalny poprzez sieć Internet. W tak rozumianym rozproszonym przesyłaniu i przetwarzaniu danych początkowo wykorzystywano kablową infrastrukturę telekomunikacji, która obecnie przeobraziła się w sieć usług komputerowych zintegrowanych z sieciami bezprzewodowymi najpierw tylko telefonii komórkowej, a obecnie również i innych bezprzewodowych transmisji danych służących komputerowym celom.

3.1. Klasyfikacja sieci komputerowych

Przez sieć komputerową rozumie się zbiór wzajemnie połączonych komputerów autonomicznych i innych urządzeń informatycznych zdolnych do wzajemnej wymiany między sobą informacji zadanej w cyfrowych formatach danych.

Wymagania, jakie zapewniają wymianę informacji między komputerami czy innymi urządzeniami informatycznymi, to:

- zapewnienie fizycznego, przewodowego lub bezprzewodowego, połączenia urządzeń wymieniających między sobą informacje,
- użycie odpowiedniego oprogramowania komunikacyjnego zwanego **protokołem komunikacyjnym** stanowiącego zbiór zasad i procedur transmisji danych między elementami sieci.

Standardowe środowisko sieci komputerowych tworzą:

- komputery: serwery będące komputerami o większej mocy obliczeniowej, które zawierają programy aplikacyjne, komputery i urządzenia użytkowników, zazwyczaj wyposażone są one w komputery o mniejszej mocy obliczeniowej niż serwery,
- tor transmisji danych – przewodowy lub bezprzewodowy,
- urządzenia współpracy intersieciowej, węzły (*hubs*) i urządzenia peryferyjne.

Podstawowa klasyfikacja sieci komputerowych oparta jest na **geograficznym dystansie**, na jaki przenoszone są informacje, tworzą ją sieci rozległe i lokalne.

Lokalną sieć komputerową LAN (*Local Area Network*) stanowi grupa użytkowników zwykle ograniczona do obszaru określonej instytucji, w której długości torów transmisji danych są do kilku kilometrów. Komputerowe sieci lokalne typowo wykorzystują transmisję danych w trybie bezpołączeniowym o przepływnościach 10 Mb/s – 1 Gb/s i zróżnicowane są między sobą sposobami akcesu sieciowego wykorzystywanych komputerów – stacji roboczych.

Rozległa sieć komputerowa WAN (*Wide Area Network*) obok sieci lokalnych jest drugim podstawowym standardem sieciowym. Sieć ta jest siecią o zasięgu globalnym i aktualnie należy do najszybciej rozwijanych struktur sieciowych. Bazuje ona na istniejącej i intensywnie modernizowanej infrastrukturze telekomunikacyjnej, a jej rozwój determi-

nują intensywnie rozwijane technologie internetowe. Aktualnie komercyjnie współistnieje szereg ciągle ulepszanych standardów tych sieci.

Wcześniej wyróżniana była jeszcze **szkieletowa sieć komputerowa**, zwana niekiedy korporacyjną (*Backbone Network*), która stanowiła nadrzędną w stosunku do sieci lokalnej sieć łączącą określoną ilość sieci lokalnych zwykle należących do jednego, dużego przedsiębiorstwa w promieniu wielu kilometrów. Przepływności są tu nie mniejsze niż 100 Mb/s, a typowym standardem pracy jest tu standard FDDI (*Fiber Data Distributed Interface*) oparty na wykorzystaniu do transmisji włókien światłowodowych. W ostatnim okresie obserwowane jest coraz rzadsze stosowanie tego typu sieci z uwagi na wprowadzane nowe technologie pozwalające bezpośrednio łączyć lokalne sieci komputerowe z sieciami rozległymi.

Drugim, zanikającym już, typem sieci z uwagi na wprowadzane nowe technologie pozwalające bezpośrednio łączyć lokalne sieci komputerowe z sieciami rozległymi **była metropolitalna sieć komputerowa** MAN (*Metropolitan Area Network*). Sieć ta adresowana była do miejskich metropolii i miała podobne cechy do tych, które charakteryzują sieci szkieletowe. Charakteryzowała się integracją kanałów głosu i danych na bazie formatów cyfrowych i przepływnościami danych powyżej 100 Mb/s. Wykorzystywany tu najczęściej był standard DQDB (*Dual Queue Data Base*).

W wyszczególnionych powyżej typach sieci, a zwłaszcza we współpracujących z nimi urządzeniach intersieciowych, wyróżnić można dwa podstawowe typy transmisji danych:

- transmisję szeregową,
- transmisję równoległą.

Pierwsza z nich polega na szeregowej w czasie sekwencji przenoszenia danych, podczas gdy druga polega na równoczesnej w czasie transmisji danych tworzących określoną informację.

Wspólnym wyznacznikiem rozwoju sieci jest wyraźnie zaznaczony trend rozwoju systemów rozproszonych określany terminem *global computing* oznaczającym tworzenie w każdym zastosowaniu komputerowych struktur zdolnych do wymiany informacji o nieograniczonym, światowym zasięgu[26]. Funkcje te spełnia sieć Internet.

3.2. Internet

Internet (ang. *Inter-network*) definiuje się jako informatyczną ogólnoświatową sieć komputerową, łączącą lokalne sieci, korzystające z pakietowego protokołu komunikacyjnego TCP/IP, mającą jednolite zasady adresowania i nazywania węzłów (komputerów włączonych do sieci) oraz protokoły udostępniania informacji. Internet stanowi ogólnoświatowy system połączeń między komputerami, określany również jako sieć sieci[27].

W sensie informatycznym Internet to przestrzeń adresów IP (*Internet Protocol*) przydzielonych dowolnym komputerom, kartom sieciowym, modemom, zwanych hostami, które uczestniczą w wymianie danych lub udostępniają usługi sieciowe (*web service*), które polegają na powtarzalnym wykonywaniu przez ten system określonych funkcji po otrzymaniu danych o uporządkowanej i określonej strukturze[28]. Zazwyczaj w jednym hoście współistnieje wiele usług jednocześnie i w tym sensie host odgrywa rolę serwera, czyli

[26] L. Grochowski, *Rozproszone systemy informatyczne*, Warszawa 2003.
[27] Encyklopedia PWN Web (dostęp: 28.09.2021 r.).
[28] WWW.W3, Web Services Glossary.

komputera wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie, pojemne pamięci i szybkie procesory. Serwer przekazuje dane i zwykle jest komputerem świadczącym usługi udostępniania zdefiniowanych zasobów innym komputerom. Innymi słowy, świadczy usługi na rzecz odpowiednich programów zazwyczaj uruchomionych na innych komputerach, które są podłączone do sieci komputerowej. Przykładem udostępnianych zasobów mogą być pliki, bazy danych, łącza internetowe lub urządzenia peryferyjne, jak drukarki i skanery. Akces sieciowy hostów i serwerów zapewniają urządzenia sieciowe, takie jak karty sieciowe, modemy i koncentratory, które do komunikacji danych wykorzystują infrastrukturę transmisji danych opartą na protokole internetowym TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol / Internet Protocol)*. Stanowi on ściśle zdefiniowany standard wymiany informacji między komputerami i innymi urządzeniami mającymi sieciowy akces do sieci Internetu. Pierwsza część protokółu TCP odpowiada za komunikację w sieci Internet pakietów danych, na jakie jest dzielona przesyłana informacja, podczas gdy druga część protokołu IP zapewnia sieciowy zapis adresu, do którego docierają pakiety danych przesyłanej informacji. Protokół TCP/IP jest podstawowym protokołem wzajemnej komunikacji i wymiany danych w Internecie dla zapewnienia wszystkim urządzeniom i komputerom połączonym z Internetem prawidłowej interpretacji wzajemnej komunikacji między nimi.

Kluczową sprawą przesyłania informacji w Internecie są jednoznaczność adresów IP użytkowników sieci, zapewniają ją liczbowe identyfikatory przyporządkowane interfejsowi każdego sieciowego użytkownika Internetu. W protokole IP przyporządkowanie to może być nie tylko do każdego indywidualnego interfejsu sieciowego, ale i grupy interfejsów bądź określonej całej sieci komputerowej. Oznacza to, że kilka urządzeń może dzielić jeden publiczny adres IP. Przy określonej konfiguracji sieciowej również adres IP może się zmieniać, np. przy każdym wejściu użytkownika do sieci Internet.

Protokół TCP/IP charakteryzuje: niezawodność, kontrola błędów transmisji gwarantująca dobrą przepustowość danych i niezależność od urządzenia. Pozwala to protokołowi TCP/IP być podstawowym protokołem komunikacji danych w sieci Internet. Składają się na to jego otwartość i niezależność od specyfikacji sprzętowo-programowej komunikujących się ze sobą systemów komputerowych i integracja wielu różnych rodzajów sieci komputerowych, a także kompatybilność z innymi protokołami komunikacyjnymi adresowanymi do pracy ze złożonymi aplikacjami określonymi regułami wyższych warstw modelu OSI (*Open System Interconnections*)[29].

Podstawowymi wersjami protokołu IP są jego dwie wersje IP v4 i IP v6. Najpopularniejszą w dotychczasowych zastosowaniach jest wersja IP v4. Adres ten tworzą 4 oktety – bajty odpowiadające 32 bitom dzielonym w zapisie na 4 grupy – oktety, każdy zawierający 8 bitów. Przykładowy taki adres w notacji 0 1 ma zapis 11010100 01010101 01100000 11010100 i w notacji dziesiętnej odpowiada adresowi zapisanemu jako 212.85.96.183.

Każdy adres IP zawiera informację o tym, do jakiej komputerowej sieci podłączony jest komputer komunikujący się z siecią Internet. W adresie IP wyróżnione są dwie części adresu. Pierwsza część identyfikuje komunikującą się z Internetem sieć komputerową, podczas gdy druga część adresu określa konkretny komputer w tej sieci. Adresy IP stanowią pokazane wyżej cztery różne liczby oddzielone kropkami, wartości tych cyfr zawarte są w zakresie od 0 do 255, co pozwala na ponad 4 miliardy możliwych kombinacji liczb tworzących adres. Niestety jest to poniżej liczby wszystkich urządzeń, które na całym świecie łączą się

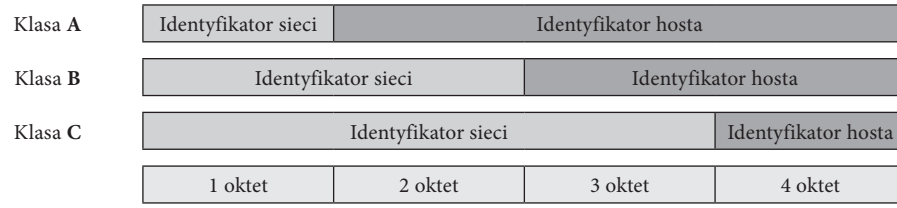
[29] V. Fuller i in., *Classless Inter-Domain Routing (CIDR): An Address Assignment and Aggregation*, Strategy, Request for Comments 1519, IETF, wrzesień 1993; Y. Rekhter i in., *Address Allocation for Private Internets, BCP 5*, Request for Comments 1918, IETF, luty 1996.

z Internetem. Dlatego dla zwiększenia liczby unikalnych adresów opartych na protokole IP v4 wykorzystuje się techniki zwane maskowaniem adresów IP. Polegają one na wykorzystywaniu i wprowadzeniu adresów publicznych dla wyodrębnionych sieci i prywatnych dla użytkowników tych sieci.

Inną drogą zwiększenia niepowtarzalnych adresów urządzeń w sieci Internet jest wykorzystanie nowej wersji protokołu zwanego protokołem IP v6, który do tworzenia niepowtarzalnych adresów wykorzystuje 128 bitów, które zapewniają znacznie większą liczbę niepowtarzalnych kombinacji liczb tworzących adresy. W protokole IP v6 adresy tworzone są przez kombinacje 128 bitów podzielonych na osiem 16-bitowych fragmentów, co pozwala uzyskać liczbę unikalnych adresów 1028 razy większą, niż wynosi liczba unikalnych adresów tworzonych zgodnie z regułami protokółu IP v4. Zaspakaja to wszystkie obecne i przyszłe potrzeby unikalnego adresowania użytkowników Internetu. Okupione to jest niestety koniecznością rozbudowy systemowej i dlatego ciągle dotąd praktycznie wyłącznie wykorzystywany jest jeszcze protokół IP v4.

W praktyce dostęp do Internetu uzyskuje się poprzez operatorów Internetu – informatycznych firm oferujących udostępnienie Internetu zarówno użytkownikom prywatnym, jak i firmom, najczęściej za pośrednictwem różnego rodzaju łącz przewodowych i bezprzewodowych, jak linie telefoniczne, łącza dzierżawione, łącza telewizji kablowej, czy technik WiFi.

Rysunek 16. Zasady adresowania oparte na protokole IP v4



Źródło: opracowanie własne

Wszystkie adresy dzielą się na 5 klas A, B, C, D, E. Wyróżnikiem klasy adresu są pierwsze liczby adresu w identyfikatorze sieci odpowiednio **0** w klasie **A**, **10** w klasie **B**, **110** w klasie **C, 1110** w klasie **D** i **11110** w klasie **E**. Adres zawiera adres komputerowej sieci określonej instytucji i komputera lub urządzenia sieciowego w tej sieci. W zależności od klasy sieci różna jest liczba bitów służących do wyróżnienia sieci i komputera lub urządzenia sieciowego w tej sieci.

W klasie A w pierwszym oktecie pierwszy bit adresu ma wartość **0**, definiuje on klasę sieci, 7 bitów definiuje adresy sieci tej klasy, a 24 bity definiują adresy urządzeń sieciowych tej kasy sieci. Odpowiada to 2^7 różnym adresom lokalnych sieci z akcesem do Internetu i 2^{24} różnym adresom komputerów (urządzeń sieciowych) w każdej lokalnej sieci. W notacji dziesiętnej to adresy z zakresu **1.0.0.0** – **126.0.0.0** z pierwszym bitem: **0** i maską / 8.

Odpowiednio **w klasie B** pierwsze dwa bity adresu mają wartość **1 0** i możliwe jest utworzenie 2^{14} różnych adresów lokalnych sieci z akcesem do Internetu z 2^{16} różnymi adresami komputerów (urządzeń sieciowych) w każdej lokalnej sieci. W notacji dziesiętnej to adresy z zakresu **128.0.0.0** – **191.0.0.0** z pierwszymi bitami: **1 0** i maską / 16).

Podobnie **w klasie C** pierwsze trzy bity adresu mają wartość **1 1 0** i możliwe jest utworzenie 2^{23} różnych adresów lokalnych sieci z akcesem do Internetu z 2^8 różnymi adresami komputerów (urządzeń sieciowych) w każdej lokalnej sieci. W notacji dziesiętnej to adresy z zakresu **192.0.0.0** – **223.0.0.0** z pierwszym bitem: **1 1 0** i maską / 24.

Adresy **klas D, E** nie są używane w sieciach ogólnego przeznaczenia. Adres **klasy D** wyróżniają pierwsze cztery bity adresu **1 1 1 0**, ta klasa adresów służy specjalnej adresacji *multicast* tworzenia adresów grupowych w notacji dziesiętnej z zakresu **224.0.0.0 – 239.255.255.255**. Liczba adresów użytkowników jest tu niezdefiniowana. Z kolei **klasę E** wyróżnia pięć pierwszych bitów adresu **1 1 1 1 0**, w notacji dziesiętnej klasa ta obejmuje adresy z zakresu **240.0.0.0 – 255.255.255.255** i służy przyszłościowym zastosowaniom. Aktualnie jest niewykorzystywana. Adresy klas D i E są określane jako ***multicast*** i ***broadcast*** i zapewniają skierowanie informacji z jednego komputera do większej liczby hostów: *one – to – many.*

Dla zwiększenia puli adresów IP v4 wprowadza się również adresy publiczne i prywatne. W adresacji tej przez adres publiczny IP rozumie się adres IP przydzielany przez dostawcę Internetu, który służy w Internecie do identyfikacji określonych sieci komputerowych „na zewnątrz", podczas gdy prywatny adres IP służy do identyfikacji urządzeń wewnątrz sieci posiadających adres publiczny. Adres publiczny gwarantuje dostęp do Internetu z każdej sieci z adresem publicznym, podczas gdy adres prywatny zapewnia dostęp do Internetu tylko z określonej sieci, w której został on utworzony. Wprowadzenie takiego podziału adresów pozwala na zwiększenie liczby adresów poprzez adresy prywatne, które korzystają ze wspólnego dostępu do Internetu gwarantowanego przez adresy publiczne. Realizacja użycia adresów publicznych i prywatnych wiąże się z dodatkowym wyposażeniem sieci w techniki zwane **maskowaniem sieci**. Takie maski umożliwiają wyodrębnienie w adresie IP części będącej adresem podsieci i części, która jest adresem określonego indywidualnego urządzenia tej podsieci.

Model adresowania przez maski adresów wprowadzono w odpowiedzi na sztywny podział adresów na klasy A, B i C, który jest niewystarczający dla rosnącego zapotrzebowania na większą liczbę nowych, indywidualnych, adresów IP. Do budowy masek wykorzystuje się fakt, że pola adresu IP, którym w masce odpowiada bit równy 1, należą do adresu podsieci, a pozostałe bity należą do adresu urządzenia w tej podsieci. Dlatego iloczyn logiczny (funkcja AND) bitów maski i adresu IP zapewnia adresową identyfikację adresu IP całej podsieci, w której znajduje się określone urządzenie. Maska adresu ma tę samą liczbę bitów co adres IP i składa się z ciągu bitów o wartości 1, po których następuje ciąg zer, adres takiej maski tworzą cztery liczby 8-bitowe znane nie tylko urządzeniom znajdującym się w określonej podsieci, ale i wszystkim urządzeniom intersieciowym, jak np. routery czy telefony komórkowe, tzw. smartphpony z operacyjnymi systemami klasy Android.

3.3. DNS (*Domain Name System*). Zasady tworzenia domen adresowych

DNS to usługa, której głównym zadaniem jest konwersja adresów IP serwerów, komputerów lub innych urządzeń w sieci Internet zapisanych w notacji dziesiętnej (np. 77.55.142.42) na adres IP zapisany znakami literowymi, które są łatwiejsze do zapamiętania niż szeregi liczb zapisanych w notacji dziesiętnej czy 0 1. DNS to system nazw domen stanowiący hierarchiczny rozproszony system internetowych nazw sieciowych przyporządkowany określonym instytucjom. DNS stanowi złożony system komputerowy oraz prawny. Zapewnia rejestrację nazw domen internetowych i ich powiązanie z adresami IP z jednej strony. Z drugiej strony realizuje bieżącą obsługę komputerów, odnajdując adresy

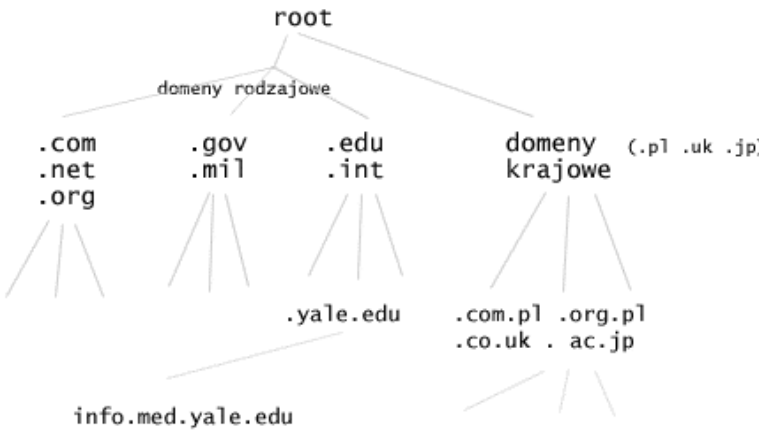
IP odpowiadające poszczególnym nazwom. Jest nieodzowny do działania prawie wszystkich usług sieci Internet.

Kontrolę nad systemem DNS sprawują dwie organizacje IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) oraz ICANN (*The Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*). Opowiadają one za utrzymanie porządku w sieci Internet, ale ani nie rejestrują one domen, ani ich nie sprzedają. Robią to wyspecjalizowane firmy operatorów.

Domeny określają sposoby tworzenia nazw adresów w konwencji literowej, wykorzystując hierarchię. Nazwy domen uszeregowane są w strukturę drzewa nazw zawierających charakterystyczne poziomy opisane poniżej. Wykorzystywane są tu poziomy domen najwyższego poziomu oraz dwa poziomy drugiego, trzeciego i niższych poziomów, są one opisane poniżej.

- **Domeny najwyższego poziomu** dzielą się na:
  - domeny ogólne (.com, .org, .net, .edu, .gov, .mil, .int),
  - domeny krajowe / regionalne.
- **Domeny drugiego poziomu** znajdują się wewnątrz domen najwyższego rzędu i tworzą je nazwy poszczególnych państw lub adresy domen wyspecyfikowanych instytucji, np. Oxford University w zapisie http://www.ox.ac.uk//.
- **Domeny trzeciego poziomu** znajdują się w domenach drugiego poziomu i są najbardziej szczegółowe, np. http://www.uci.agh.edu.pl/ oznacza Uczelniane Centrum Informatyki na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Rysunek 17. Hierarchie nazw domen



Źródło: opracowanie własne

Domeny najwyższego poziomu są ogólnymi domenami otwartymi, mają charakter domen ogólnoświatowych dostępnych dla firm, organizacji i osób prywatnych niezależnie od położenia geograficznego, tworzą je zapisy, jak:

- .com (*commercial*) oznaczające firmowe domeny komercyjne,
- .net (*network providers*) oznaczające firmy operatorów – dostawców usług internetowych,
- .org (*organizations*) oznaczające niekomercyjne organizacje, stowarzyszenia oraz instytucje charytatywne – na przykład: http://www.w3c.org/ – światowe konsorcjum koordynacji usług internetowych.

Do poziomu tego przypisywane są również **domeny ogólne specjalnego zastosowania,** jak:

- .edu (*education*) – domenę taką mogą zarejestrować placówki edukacyjne – uniwersytety itp. np.: University of Oxford: http://www.oxford.edu, Yale University – http://www.yale.edu/,
- .int (*international*) – międzynarodowe organizacje założone z inicjatyw rządowych – http://www.iana.org/int.html,

przy czym wyróżnia się tu:

– domeny ogólne ograniczonego zastosowania obowiązujące tylko na terytorium USA:

- .gov (*government*) – agendy i instytucje rządowe oraz administracyjne w USA – rejestracja: http://www.nic.gov/,
- .mil (*military*) – instytucje militarne (armia, wojsko, policja) w USA – rejestracja: http://www.nic.mil/

oraz

– **domeny krajowe** – przypisywane poszczególnym krajom, terytoriom lub regionom geograficznym; używane są do tego celu sufiksy stanowiące dwuliterowe skróty nazw. Obecnie jest zarejestrowanych prawie 250 takich domen. Przykładowo: Polska – .pl, Wielka Brytania – .uk, Japonia – .jp.

Domeny drugiego poziomu to zazwyczaj **krajowe domeny drugiego poziomu:**

- firm i organizacji działających jedynie na terenie danego państwa lub przedstawicielstwa międzynarodowych korporacji w danym kraju, np.: http://www.novell.pl/, http://www.sony.co.jp, mogą mieć różne zapisy.

Przykładowo – zamiast .edu dla placówek edukacyjnych używane jest rozszerzenie .ac (*academic*), dla firm komercyjnych .co, zamiast .com itd,

- rozszerzeń identyfikacji adresu, mogą być one hybrydami nazw, które w wyszukiwaniu adresów często wymagają posługiwania się wyszukiwarką adresów. Np. http://www.webmagic.com/whois/index.html obsługuje 158 rozszerzeń w ponad 50 domenach najwyższego poziomu.

Przykłady polskich typowych domen funkcjonalnych:

- .pl – domeny ogólnopolskie, np. http://www.prezydent.pl/, http://www.onet.pl/,
- .com.pl – domeny komercyjne dla wszystkich firm w Polsce, np.: http://www.kailastudio.com.pl/,
- .gov.pl – polskie instytucje rządowe i administracyjne, np.: http://www.sejm.gov.pl/, http://www.senat.gov.pl/,
- .edu.pl – placówki edukacyjne i naukowe, np.: http://www.agh.edu.pl/, http://www.icm.edu.pl/,
- .info.pl – sieciowe serwisy informacyjne – http://www.info.pl/,
- .org.pl – niekomercyjne organizacje, stowarzyszenia oraz instytucje charytatywne,
- .priv.pl – osoby fizyczne,
- .shop.pl, sklep.pl – sklepy internetowe,
- .travel.pl, turystyka.pl – firmy związane z turystyką.

Hierarchia uzależnień narzuconych konwencją drzew domenowych pozwala na określoną elastyczność wprowadzania nazw domenowych w konwersji adresów IP z konwencji zapisów liczbowych na łatwiejsze do zapamiętania skróty literowe. Dlatego dla prostych przypadków IP adres np. 91.198.174.192 odpowiada tylko adresowi pl.wikipedia.org, ale w bardziej złożonych przypadkach, np. wyszukiwania danych w zasobach Internetu, adresy

IP wiąże się z innymi protokołami i kształt adresu zlokalizowania danych może przyjmować rozbudowany kształt lokalizowania adresu, ale niestety złożony w zapisie, na przykład:

http://hans:geheim@www.example.org:80/demo/example.cgi?land=de&stadt=aa

			host (adres		*ścieżka dostępu*	*ścieżka wyszukiwania*
			serwera)			*zasobu*
		hasło		*port*		
	login					
protokół						

W Polsce główną instytucją obsługi domen jest NASK (Naukowa Akademicka Sieć Komputerowa)[30].

3.4. Adresy urządzeń komputerowych MAC (*Medium Access Control*)

Niezależnie od opisanych wyżej adresów IP w adresowaniu komputerów i innych urządzeń sieciowych istnieją adresy tych urządzeń określane jako adresy MAC. Podczas gdy adresowanie IP jest adresowaniem zewnętrznej identyfikacji urządzeń komputerów w sieci Internetu, adresy MAC są wewnętrznymi adresami urządzeń sieciowych, zwane są też adresami fizycznymi. Adres MAC stanowi bowiem unikalny identyfikator, który jest przydzielany sieciowemu sprzętowi, np. karcie sieciowej określonego urządzenia. Identyfikator taki nadawany jest każdemu urządzeniu przez producenta podczas produkcji. Adres MAC stanowi oryginalny ciąg znaków identyfikujący urządzenie sieciowe, służy wyłącznie do komunikacji między urządzeniami sieciowymi znajdującymi się wewnątrz określonej sieci lokalnej, poprzez te adresy nie można się komunikować w Internecie.

Na adres MAC składa się z 6 bajtów (48 bitów). Pierwsze 3 bajty (24 bity) takiego adresu odpowiadają za identyfikację producenta karty sieciowej każdego urządzenia, podczas gdy pozostałe 3 bajty odpowiadają za identyfikację konkretnej karty sieciowej i są unikatowym identyfikatorem określonego egzemplarza karty. Adres ten zapisywany jest zwykle w notacji heksadecymalnej (szesnastkowej), np. 00:0A:E6:3E:FD:E1 lub 00:1B:44:11:3A:B7.

Kolejność zapisanych w adresie MAC bitów jest zgodna z kolejnością ich transmisji.

Adres MAC określonego urządzenia jest niezmienny, unikalny i automatycznie przydzielany jest urządzeniom i komputerom sieciowym przez dołożenie do transmisji danych dodatkowego protokołu komunikacyjnego DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). Protokół taki wspomaga wtedy podstawowy protokół komunikacji Internetu TCP/IP, który odpowiada za współdziałanie serwerów sieci lokalnej oraz innych aspektów konfiguracji sieci[31].

---

[30] Zob. dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2555 z 14.12.2022 r. w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii, zmieniająca rozporządzenie (UE) nr 910/2014 i dyrektywę (UE) 2018/1972 oraz uchylająca dyrektywę (UE) 2016/1148 (dyrektywa NIS 2) (Dz.Urz. UE L 333, s. 80); P. Albirz, L. Cricket L, *DNS i BIND*, Warszawa 1999, s. 9.

[31] DHCP Messages, DHCPDiscover, DHCPOffer, DHCPRequest, DHCPAcknowledgment, DHCPNak, DHCPDecline, DHCPRelease, DHCPInform, www.omnisecu.com (dostęp: 17.11.2019 r.); Debian Reference (version 1) Część 10 – Konfiguracja sieci (dostęp: 12.05.2014 r.) [zarchiwizowane z tego adresu (22.12.2013 r.)].

3.5. Standard kompatybilności systemowej OSI (*Open Systems Interconnection*)

Cyfrowymi formatami przenoszonych informacji posługuje się olbrzymia liczba różnorodnych komputerów, sieci i urządzeń komputerowych. Wymaga to narzucenia warunków współpracy systemowej tych urządzeń[32]. Celom tym służy przyjęty przez międzynarodową społeczność standard OSI stanowiący model wymaganych struktur połączeń w przesyłaniu różnego rodzaju informacji poprzez dowolne sieci komputerowe. Model ten ustala reguły i sposoby postępowania komunikujących się urządzeń dla nawiązania łączności i wymiany informacji. Celowi temu w modelu OSI służy podział systemów sieciowych na 7 warstw i ustalenie reguł ich współpracy. Te reguły objęte są również polskimi normami. Model OSI specyfikuje w sieciowym systemie drogę danych od aplikacji z jednej stacji roboczej do danych aplikacji przesyłanych w sieci do innej stacji roboczej. W przyjętym w modelu **mechanizm wysyłania danych** informacji równoważny jest temu, że dane informacji przypisane do określonej warstwy modelu OSI przechodzą **z wyższych warstw do niższych,** a każde takie przejście danych z warstwy do warstwy zmienia format danych. Dane przechodząc z warstw wyższych na niższe, zostają „obudowane" danymi wyspecyfikowanych protokołów komunikacyjnych przypisanych każdej warstwie, odpowiada to tzw. procesowi kapsułkowania (enkapsulacji) danych przy wysyłaniu danych informacji.

Z kolei w modelu OSI **odbiór danych informacji** odpowiada procesowi odwrotnemu, dane docierając do docelowego urządzenia sieciowego przypisanego do określonej warstwy, przechodzą **z warstw niższych na wyższe**, dane ulegają „rozpakowywaniu" z kapsuły, „pozostawiając" w każdej warstwie protokoły komunikacyjne przypisane tej warstwie. W ten sposób urządzenie sieciowe odbiera tylko dane niezbędne do realizacji określonej aplikacji. Model OSI składa się z siedmiu warstw, które klasyfikują programy aplikacji i protokoły komunikacyjne. Są to:

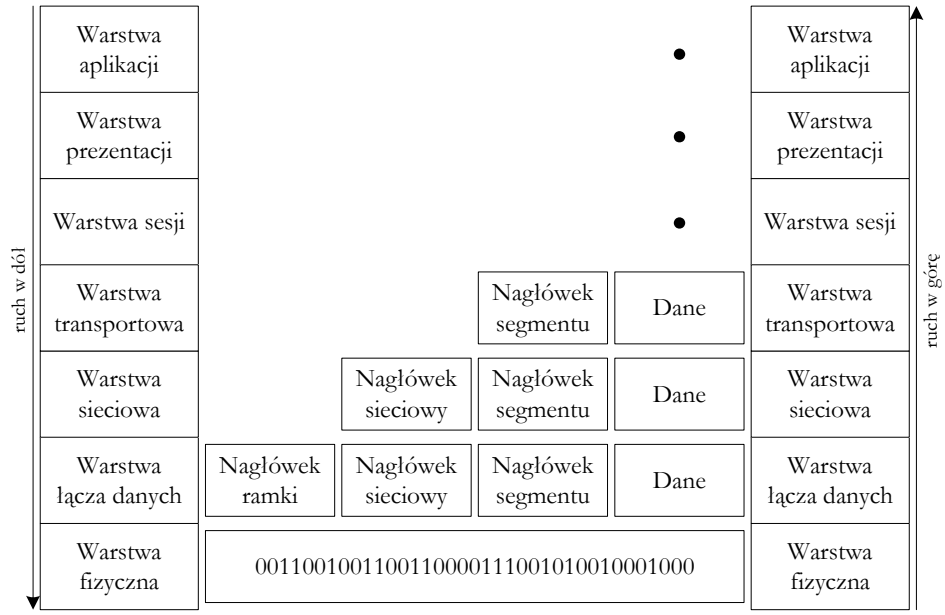
- **warstwa aplikacji**, umożliwiającej komunikację z użytkownikiem (strony WWW, poczta elektroniczna),
- **warstwa prezentacji**, zajmującej się konwersją danych i definiowaniem formatu (dzięki temu dane pochodzące z urządzenia źródłowego mogą być interpretowane przez odpowiednie aplikacje na urządzeniu docelowym),
- **warstwa sesji**, zarządzającej przebiegiem komunikacji,
- **warstwa transportowa**, odpowiedzialna za integralność (czyli spójność) transmisji danych,
- **warstwa sieci**, zajmującej się określaniem trasy przepływu danych,
- **warstwa łącza danych**, opisująca metody wymiany ramek pomiędzy urządzeniami podłączonymi do tego samego medium (np. do przełącznika),
- **warstwa fizyczna**, sterująca przepływem bitów poprzez media sieciowe.

W modelu OSI „współpraca" międzywarstwowa wykorzystuje tzw. mechanizm kapsułkowania danych. Polega on na tym, że pakiety danych podczas komunikacji sieciowej adresowane są do różnych urządzeń o różnym przeznaczeniu. Zapisane to jest w protokołach komunikacyjnych, które umieszczane są w nagłówkach pakietów. Za każdym takim nagłówkiem kryje się określona funkcjonalność przyporządkowana określonej warstwie. Pakiety danych są albo nadawane, albo odbierane przez określone urządzenia, w modelu

[32] Zespół Szkół Leśnych w Biłgoraju, Sieci komputerowe – podstawowe pojęcia, https://www.zslbilgoraj.pl/wp-content/uploads/2021/02/Adresacja-IP.pdf (dostęp: 8.11.2024 r.).

OSI odpowiada to „oddaniu" lub „nadaniu" pakietom danych określonych nagłówków odpowiadających określonym warstwom przy przechodzeniu z warstw wyższych do niższych lub na odwrót. Demonstruje to poniższy schemat.

Rysunek 18. Idea modelu OSI. Kapsułkowanie danych



Źródło: opracowanie własne

Rysunek demonstruje mechanizmy kapsułkowania danych i pokazuje nazwy wszystkich 7 warstw modelu OSI. Przechodzenie danych z warstw wyższych do niższych to proces wysyłania danych informacji i na odwrót, proces odbioru przesłanych danych to ich przechodzenie z warstw niższych na wyższe. By informacje przesłać, należy do każdego pakietu danych dodać dodatkowe bity w formie nagłówka przypisanego każdej warstwie, które reprezentują reguły transmisji, czyli protokoły komunikacyjne. Model transmisji pakietów danych przyjmuje, że przesyłany pakiet danych zawiera dane aplikacji i nagłówek danych przypisany do określonej warstwy. Przesyłanie do odbiorcy takiego pakietu równoważne jest z przechodzeniem takiego pakietu z warstw wyższych do niższych, co przedstawione jest strzałką w dół z lewej strony rysunku. Każde przejście w dół takiego pakietu danych odpowiada dodaniu kolejnego nagłówka do pakietu i nazywane jest procesem kapsułkowania danych. Liczbę dodanych nagłówków określa liczba przejść danych w dół z warstwy określonej aplikacją do najniższej warstwy fizycznej opisującej medium transmisji, np. kabel. W ten sposób w warstwie transportu pakiet danych stanowią właściwe dane oraz nagłówek segmentu, natomiast w warstwie sieciowej oprócz właściwych danych i nagłówka segmentu dodawany jest nagłówek sieciowy, który zawiera adresy logiczne: źródłowy i docelowy. Adresy te pozwalają wyznaczyć drogę w sieci komputerowej tych pakietów między dwiema komunikującymi się stacjami. W warstwie łącza do danych pakietu z poprzedniej warstwy dodawany jest nagłówek ramki danych, który określa sposób przekazania danych przez interfejs sieciowy do kabla lub innego transmisyjnego medium.

Dane jako ciąg bitów po dotarciu do stacji docelowej są ponownie przekształcane, z przyporządkowaniem danych do wyższych warstw, warstwa po warstwie. Sposób przekazania pakietu danych wyższym warstwom określają kolejne nagłówki pakietów danych. Po dotarciu pakietu danych do każdej wyższej warstwy nagłówek poprzedzającej warstwy ulega zanikowi. Im większa liczba nagłówków pakietu transmitowanych danych, tym bardziej złożona jest aplikacja, co oznacza, że prostsze aplikacje wymagają mniejszej liczby nagłówków do realizacji transmisji danych i nie każdy przypadek wymaga odnoszenia go do wszystkich referencyjnych 7 warstw modelu OSI[33].

Dla ilustracji wykorzystania modelu OSI poniżej podane są przykłady przypisania najczęściej używanych protokołów do każdej z 7 warstw modelu OSI.

Warstwa aplikacji – DNS, FTP, HTTP, NFS
Warstwa prezentacji – SSL, XDR
Warstwa sesji – NetBIOS
Warstwa transportowa – TCP, UDP
Warstwa sieciowa – IPv4, Ipv6, Router, AppleTalk
Warstwa łącza danych – ATM, SDLC, IEEE 802.3, Frame Relay, PPP, X.25,
Przełącznik sieciowy
Warstwa fizyczna – RS-232, RS- 449, SONET, IEEE 802.11, IEEE 802.11 USB Bluetooth,
koncetrator sieciowy

Do **warstw wyższych** zalicza się trzy warstwy górne: warstwę aplikacji, prezentacji i sesji. Odpowiadają one za zapewnienie współpracy z oprogramowaniem zadań zlecanych przez określonych użytkowników systemu sieciowego systemu komputerowego. Warstwy te komunikują się z warstwami niższymi zarówno przy wysyłaniu, jak i odbiorze przesyłanych danych, co w modelu OSI symbolicznie odpowiada przemieszczaniu się po warstwach odpowiednio w dół i w górę.

Warstwa 7: aplikacji jest najwyższą warstwą i specyfikuje interfejs, który wykorzystują aplikacje do przesyłania danych do sieci poprzez wszystkie kolejne warstwy modelu OSI. Dla sieci komputerowych aplikacje te stanowią zwykle procesy uruchamiane na odległych urządzeniach sieciowych. Zwykle procesy te to oprogramowanie sieciowego użytkownika lokalnej sieci komputerowej z akcesem do Internetu, która pracuje w architekturze klient-serwer zapewniającej sieciowe usługi równocześnie wielu klientom. Zapewnia to przyporządkowanie warstwie aplikacji zarówno serwera, jak i klienta. Komunikacja danych nie odbywa się bezpośrednio między tymi programami: klient musi bowiem najpierw przesłać określone żądanie do serwera, co odpowiada przekazaniu komunikatu w dół do niższych warstw modelu. Warstwy te opisują fizyczne przesyłanie poleceń do odpowiednich komputerów, po czym przetworzone informacje zgodnie z modelem wędrują w górę do wyższych warstw i ostatecznie są odbierane przez serwer. Formalizm modelu OSI stanowi więc tu swoisty opis wędrówki danych między poziomami modelu w procesie wymiany informacji w otwartych systemach sieciowych, gdzie odległość komunikujących się urządzeń nie gra żadnej roli.

Warstwa 6: prezentacji odpowiada za opis przetworzenia danych aplikacji do standardów zgodnych ze specyfikacją modelu OSI, tak by niższe warstwy modelu zawsze specyfikowały dane w tym samym formacie. Odnosi się to zarówno do danych wysyłanych i opisanych przemieszczaniem się na niższe warstwy, jak i danych odbieranych opisanych

[33] A.S. Tanenbaum, *Sieci komputerowe*, tłum. P. Szeremiota na podstawie *Sieci komputerowe* w tłum. A. Grażyńskiego i A. Jarczyka, Gliwice 2012.

przemieszczaniem się na wyższą warstwę. Przykładem wykorzystania tej warstwy jest praca systemów z graficznymi formatami danych JPG, GIF.

Warstwa 5: sesji odpowiada za synchronizację danych komunikujących się ze sobą aplikacji. Zgodnie ze standardami modelu OSI warstwa ta odpowiada za synchronizację między warstwami sieciowych nadawców i odbiorców. Warstwa ta specyfikuje, która aplikacja łączy się z którą, zapewnia właściwy kierunek przepływu danych i reguluje wznowienia pracy po przerwaniu komunikacji danych. Warstwa ta odgrywa rolę nadzoru komputerowych połączeń sieciowych.

Warstwy niższe tworzy warstwa transportowa, sieciowa, łącza danych oraz fizyczna. Zgodnie ze specyfikacją modelu OSI w otwartych sieciach komputerowych warstwy te standaryzują odnajdywanie dróg pod wpisane do pakietów danych adresy oraz określają bitowe długości pakietów danych. Warstwy te są odpowiedzialne za bezbłędność przesyłanych danych przy ignorowaniu aplikacyjnego sensu przesyłanych danych. Standaryzacja tych warstw obejmuje wyłącznie standaryzacje pakietów danych i ich składowych ramek danych.

Warstwa 4: transportowa – w modelu OSI warstwa ta odpowiada za segmentacje przesyłanych danych oraz tworzenie ich bloków zwanych strumieniami danych. W obszarze tym warstwa transportu standaryzuje całościowo transmisje danych w połączeniu między komunikującymi się w sieci urządzeniami komputerowymi. Standaryzacji podlega tu podział bloków danych na części, które są kolejno indeksowane i wysyłane do docelowych urządzeń. Do celów tych wykorzystywane są przede wszystkim dwa protokoły komunikacyjne TCP (*Transmission Control Protocol*) oraz UDP (*User Datagram Protocol*). Przy czym przez datagram rozumie się tu pakiet danych wynikły z podziału pliku przesyłanej informacji na mniejsze fragmenty danych, które w sieci od nadawcy do odbiorcy docierać mogą różnymi drogami.

Datagramy tego samego pliku informacyjnego różnić się mogą liczbą bitów i w sieci docierać mogą od nadawcy do odbiorcy w różnym czasie i różnymi trasami. Przesłana informacja u odbiorcy jest odtwarzana po przesłaniu wszystkich datagramów i złożeniu ich we właściwej kolejności.

Różnica pracy obu protokołów, TCP i UDP, polega na tym, że pierwszy protokół, TCP, zapewnia potwierdzenie odbioru każdego pakietu danych, podczas gdy protokół UDP nie czyni tego. W wyniku tej właściwości protokół UDP jest szybszy niż protokół TCP, ale nie zapewnia on kontroli błędów transmisji danych. Oba te protokoły zapewniają kontrolę integralności pakietów danych i pakiety danych zawierające błędy są odrzucane.

Warstwa 3: sieciowa – modelu OSI ma za zadanie rozpoznanie dróg łączących urządzenia i komputery sieciowe. Dotyczy trasowania, czyli wyznaczenia tras połączeń sieciowych dla pakietów danych przenoszących informację. Komunikacja pakietów danych odbywa się między sieciowymi węzłami poprzez urządzenia węzłowe zwane routerami, które decydują o wyznaczeniu indywidualnych dróg komunikacji dla poszczególnych pakietów danych. Dla uniknięcia błędów pakiety z dysfunkcjami są odrzucane.

Podstawowym zadaniem przypisanym tej warstwie jest zapewnienie sprawnej łączności między odległymi punktami sieci. Dlatego routery stanowią podstawę budowy rozległych sieci informatycznych, zwłaszcza Internetu, ponieważ odnajdują najlepszą drogę komunikacji danych w przekazaniu informacji, zarówno przy jej wysyłaniu, jak i odbiorze. Warstwa ta standaryzuje procesy kapsułkowania danych wewnątrz pakietów, jak i procesy adresowania, en-kapsulacji, routingu i de-kapsulacji danych, tak żeby były one zrozumiałe dla standardów wyższych i niższych warstw modelu. W realizacji tych celów czołową

rolę odgrywają adresy nadawcy i odbiorcy znajdujące się w nagłówku pakietu danych oraz protokoły komunikacji danych przypisane tej warstwie. Są nimi IPv4, IPv6, NOVELL IPX, APPLE TALK... i inne.

Kluczową rolą tej warstwy jest standaryzacja odnoszona do routingu danych w pośredniczących węzłach sieciowych. Zapewnia ona pakietom danych wybór najlepszej trasy – ścieżki komunikacji od sieciowego węzła do węzła na drodze komunikujących się użytkowników sieciowych, np. Internetu. Przy czym najlepsza trasa nie oznacza tu bynajmniej najkrótszej drogi komunikacji, gdyż nie gwarantuje najkrótszego czasu transmisji danych. Stoi za tym topologia sieci komputerowej – połączenia różnych elementów sieci komputerowej, takich jak węzły, linki itd. Topologię tę można odnosić zarówno do struktury fizycznej, jak i logicznej sieci. Pierwsza z nich to sposób fizycznej realizacji sieci komputerowej, jej układu przewodów, medium transmisyjnych, węzłów sieciowych. Natomiast topologia logiczna to sposób wzajemnego komunikowania się urządzeń sieciowych za pomocą urządzeń topologii fizycznej[34].

Warstwa 2: łącza danych – odpowiada za standaryzację komunikacji sieciowej segmentów danych warstwy transportowej między węzłem źródłowym i docelowym. Warstwa łącza danych specyfikuje transfer pojedynczym łączem ścieżki datagramów warstwy sieci od węzła źródłowego do węzła docelowego. Istotną cechą warstwy łącza danych jest to, że datagramy mogą być przetwarzane przez odmienne protokoły używane przez różne łącza ścieżki. Warstwa ta również specyfikuje nadzór jakości przekazywanych informacji do niższej warstwy przez obniżanie liczby pojawiających się błędów podczas przekazu.

Reguły tej warstwy określają pakowanie danych w ramki i ich transfer do najniższej warstwy fizycznej po rozpoznawaniu i korekcji błędów transmisji wynikających z gubienia pakietów lub uszkodzenia ramek.

Warstwa 1: fizyczna jest fundamentem modelu OSI, standaryzuje ona sieciowe składniki niezbędne do obsługi elektrycznego, optycznego, bezprzewodowego wysyłania i odbierania 0 1 sygnałów informacji. Warstwa ta dotyczy czterech obszarów funkcjonalnych: mechanicznego, elektrycznego, funkcjonalnego, proceduralnego.

Warstwa fizyczna specyfikuje przesył i odbiór sygnałów protokołów komunikacji danych oraz wykorzystywanych aplikacji.

Przy wysyłaniu informacji ustala reguły:

- zamiany danych znajdujące się w ramkach na strumienie binarne,
- metod dostępu do nośnika, jakich żąda warstwa łącza danych,
- strumieniowego przesyłu ramek danych w szeregowej transmisji bit po bicie.

Przy odbiorze określonej informacji ustala reguły:

- prawidłowego odbioru danych zaadresowanych do sieciowych urządzeń i komputerów,
- przesyłania binarnych strumieni do warstwy łącza danych w celu złożenia ich w ramki danych.

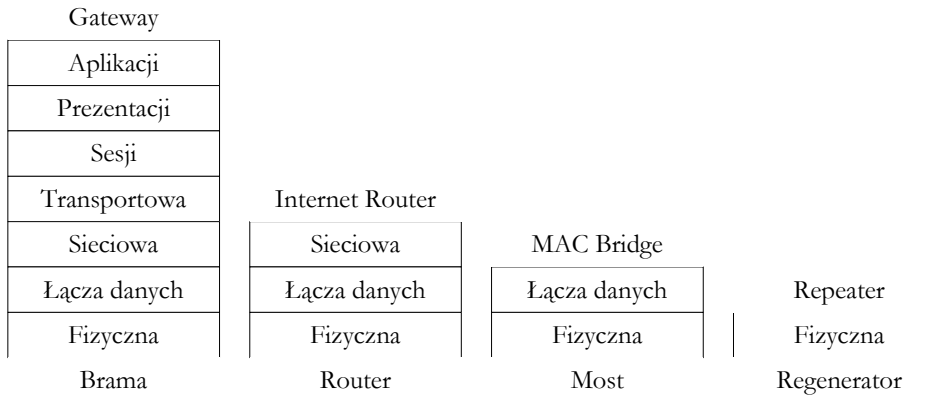
Warstwa fizyczna nie specyfikuje integralności danych nadawanych lub odbieranych. Służy wyłącznie ustalaniu reguł dla danych w formatach binarnych 0 1.

Praktyczne wykorzystanie referencyjnego modelu OSI demonstruje rysunek pokazujący, jakie warstwy modelu są wykorzystywane do określenia pracy podstawowych urządzeniach intersieciowych. Najbardziej zaawansowanym takim uradzeniem jest **brama** (*gateway*) dostosowana do przenoszenia najbardziej złożonych aplikacji wymagająca do pracy

[34] Noite.pl: Topologia i struktura sieci komputerowych: Network Basic. AL0-002. T. 2: z Network Basic. NOITE S.C.

7-warstwowej specyfikacji. Do mniej zaawansowanych aplikacji specyfikacje modelu OSI obejmują mniejszą liczbę warstw. Na rysunku są one sklasyfikowane w zależności od złożoności i obejmują routery, mosty i regeneratory

Rysunek 19. Specyfikacja model OSI w odniesieniu do urządzeń intersieciowych



Źródło: opracowanie własne

3.6. Urządzenia intersieciowe

Urządzenia intersieciowe służą do zapewnienia wzajemnej współpracy różnego typu sieci i innych końcowych urządzeń komputerowych. Urządzenia intersieciowe odpowiadają za komunikację danych o różnym stopniu skomplikowania determinowanym złożonością usługi aplikacyjnej i geograficznego dystansu komunikacji danych od sieci o globalnym zasięgu Internetu po różnego rodzaju sieci, lokalne sieci komputerowe i grupy różnych komputerowych urządzeń końcowych. Skutkuje to różnym stopniem złożoności urządzeń intersieciowych. Ich klasyczny podział to:

- bramy (*gateways*),
- routery,
- mosty,
- regeneratory, przełączniki, koncentratory i różnego typu węzły zwane *hubs*.

Podstawą takiego podziału urządzeń intersieciowych są ich funkcje definiowane koniecznością jednoczesnego wykorzystania większej lub mniejszej liczby protokołów komunikacyjnych odnoszonych do referencyjnych warstw modelu OSI.

Regeneratory należą do najprostszych urządzeń sieciowych. Ich standardy pracy opisuje poziom pierwszej fizycznej warstwy modelu OSI. Dotyczą one spełniania wymogów jakości **0 1** transmisji danych w wykorzystywanym przewodowym lub bezprzewodowym medium komunikacji. Niezależnie od rodzaju medium po przebyciu określonej drogi w medium **0 1** sygnały ulegają zniekształceniom: obniża się ich moc związana z tłumieniem, sygnały zrównują się z poziomem szumów, a także następuje rozmycie sygnałów w czasie. W wyniku tego w każdym medium transmisyjnym po przebyciu sygnałów określonej drogi, różnej dla różnych mediów, powstaje problem nie tylko rozróżnienia **0** od **1,** lecz także samej obecności sygnałów po przejściu określonej drogi w medium transmisyjnym. Dlatego zachodzi potrzeba odtworzenia na osi czasu właściwej sekwencji **0** i **1** z pier-

wotną amplitudą. Maksymalny dystans transmisji danych reprezentowanych przez sygnały **0 1,** tak by zachowały właściwą jakość, określa się jako interrepeaterową odległość. Parametr ten jest zależny i od wykorzystywanego medium, i od szybkości transmisji danych określanej liczbą przesyłanych bitów w jednostce czasu, np. Mb/s. Kable elektryczne mają najkrótsze dystanse interreapterowe, znacznie lepsze parametry mają włókna optyczne, ich interreapeaterowe dystanse sięgają nawet kilometrów, przy przepustowościach danych rzędu setek megabitów na sekundę. Dla bezprzewodowych mediów transmisyjnych interreapeatorowe dystanse są niższe niż dla włókien optycznych i na ogół kabli elektrycznych, niemniej jednak są one wykorzystywane z uwagi na wygodę wynikającą z braku konieczności kładzenia okablowania.

Bardziej zaawansowanymi urządzeniami intersieciowymi są przełączniki, mosty i routery, które pozwalają na różne połączenie jednego lub więcej komputerów z innymi komputerami, urządzeniami sieciowymi lub innymi sieciami. Podczas gdy przełączniki raczej coraz rzadziej są stosowane jako zbyt prymitywne, routery stanowią jedno z najważniejszych urządzeń intersieciowych. Mosty natomiast są stosowane dla zapewnienia połączeń różnych sieci komputerowych z jednakowymi protokołami sieciowymi. Rolą ich jest obniżenie natężenia ruchu danych w sieci i uzyskanie szybszych czasów reakcji sieci na egzekucji komend i rozkazów poprzez zwiększenie liczby sieciowych węzłów zwiększających elastyczność połączeń i fizyczny zasięg sieci. Aplikacje mostów standaryzują odniesienia do drugiej warstwy modelu OSI pozwalające na łączenie sieciowych urządzeń spełniających warunki kompatybilności w zakresie adresów MAC. Mosty mogą być bądź samodzielnymi międzysieciowymi urządzeniami, bądź urządzeniami instalowanymi na serwerach.

Liczba wykorzystywanych mostów w wyizolowanej sieci nie powinna być zbyt duża, żeby uniknąć nieefektywnych dróg połączeń.

Mosty powielają ramki i dane, a ich funkcją jest kopiowanie pakietów ramek danych do innego segmentu sieci lokalnej przy zachowaniu adresów:

- uczenia się topologii sieci przez tworzenie tablic adresów z trasami i przepływem pakietów danych,
- wykrywania niepożądanych pętli połączeń w sieci wykorzystującej wiele mostów.

Router jest urządzeniem sieciowym, którego standaryzacja jest odnoszona do trzech najniższych warstw modelu OSI. Typowym zastosowaniem routerów jest tworzenie komunikacyjnych węzłów łączenia heterogenicznych sieci komputerowych, takich jak:

- sieci lokalne z sieciami rozległymi,
- sieci lokalne na różnych platformach programowych, które wykorzystują różne protokoły komunikacyjne, maski itp.

Celem routingu jest znajdywanie w sieci dróg komunikacji pakietów danych w sytuacjach, w których istnieje więcej niż jedna trasa wzajemnych połączeń dwu punktów sieciowych. Router sprawdza, czy sam może przesłać określony pakiet danych pod zapisany adres, czy też dokonać tego może inny router znajdujący się na drodze pakietu do zamieszczonego w nim docelowego adresu. Wybór trasy komunikacji przesyłanych pakietów odbywa się przy wykorzystaniu tablicy routera, która zawiera informację o sąsiednich routerach bądź sąsiednich sieciach lokalnych. Dokonywane to jest przy użyciu tablicy routera, która zawiera informację o sąsiednich routerach bądź lokalnych sieciach. W zależności od konkretnych potrzeb routery mogą obsługiwać jeden wybrany protokół sieciowy, np. TCP / IP, albo kilka protokołów, np. TCP/IP + SPX/IPX itp.

Dodatkową funkcją routingu jest segmentacja sieci z przydzieleniem wyodrębnionym segmentom numerów identyfikacyjnych z adresu zamieszczonego w każdym pakiecie danych.

Działania routerów określają ich algorytmy pracy, które wyznaczają ścieżkę połączeń sieciowych w zależności od liczby routerów na drodze pakietu danych do celu, aktualnego obciążenia sieci ruchem danych i informacji wymienianej między sąsiadującymi routerami. Wyznaczona ścieżka komunikacji dla każdego pakietu danych zapisana jest w protokołach routingu.

Wyróżniane są dwa typy algorytmów routingu: algorytmy routingu statycznego i algorytmy routingu dynamicznego. Wykorzystują się w nich rekonfigurację ścieżek przepływu danych, kompresję danych dla zwiększenia przepustowości określonych tras, o ile zachodzi tego potrzeba, i pracę z wieloma protokołami.

Podstawową filozofię pracy routerów określa zwrot **zapamiętaj i wyślij** (*store and forward*).

Brama (*gateway*) jako urządzenie intersieciowe stanowi komputer lub inne urządzenie działające jako translator między sieciami lub systemami komputerowymi. Jest to najbardziej zaawansowane urządzenie intersieciowe charakteryzujące się standaryzacją obejmującą wszystkie siedem warstw modelu OSI. Urządzenia te mają zindywidualizowane rozwiązania dostosowane do aktualnych potrzeb, które obejmują nie tylko różne protokoły komunikacyjne siedmiu warstw modelu OSI, lecz także różne formaty struktur danych, języków programowania i architektur połączeń.

W odniesieniu do urządzeń intersieciowych trzeba dodać, że występują również urządzenia zwane **hub** i **koncentrator**. Przez **hub** rozumiany jest zwykle system komputerowy będący bardziej lub mniej rozbudowanym węzłem międzysieciowym. Z kolei przez **koncentrator** rozumie się bierne urządzenie łączące grupy komputerów, terminali, urządzeń komunikacyjnych itp. Urządzenie to także jest używane przemiennie z pojęciem pasywny **hub,** nie ma tu pełnej jednoznaczności.

3.7. Usługi internetowe

Internet, jak już wspomniano wcześniej, jest ogólnoświatową siecią sieci komputerowych biorącą nazwę od angielskiego określenia **inter-network**. W sensie informatycznym Internet jest determinowany przestrzenią adresów IP przydzielanych komputerom zwanych hostami i komputerowym serwerom za pomocą urządzeń sieciowych, jakimi są karty sieciowe, modemy, koncentratory. W sieci Internet komputery użytkowników wzajemnie komunikują się ze sobą, wykorzystując protokół komunikacyjny TCP/IP i infrastrukturę telekomunikacyjną zapewniającą transmisję danych praktyczne nieograniczonej liczbie lokalnych sieci i pojedynczych komputerów z całego świata. W ramach Internetu możliwe jest tworzenie struktur sieci zwanych Intranetem, które stanowią bezpieczne prywatne sieci firmowe umożliwiające pracownikom dostęp do informacji korporacyjnych i zasobów wewnętrznych, do których nie ma dostępu z zewnątrz tak wydzielonych sieci.

Usługi internetowe wiążą się z dostawcami usług internetowych, którzy prócz doprowadzenia łącza internetowego do określonego użytkownika, oferować mogą również podstawowe usługi. Usługami takimi jest **poczta elektroniczna** realizowana za pomocą własnego portalu lub innego serwera, **dostęp do stron internetowych**, **serwer plików,** np. **serwer WWW** (*web server*) – program obsługujący żądania protokołu HTTP w ramach

sieci *World Wide Web* (WWW). Jest nim publicznie dostępny hipertekstowy, multimedialny system informacyjny, który pozwala **przeglądarkom internetowym** na połączenie użytkownika z czytnikiem stron WWW stanowiących zbiór logicznie uporządkowanych elementów połączonych wzajemnie przez nawigację oraz linki.

Oprócz wyżej wymienionych usług, stanowiących niejako wizytówkę Internetu, w Internecie istnieje dostęp do wielu innych usług dyktowanych potrzebami użytkowników. Są nimi np. **dyskusje internetowe**: grupa dyskusyjna, lista dyskusyjna, forum dyskusyjne, **komunikatory** internetowe, np. Messenger, Skype, **„rozmowy" tekstowe w czasie rzeczywistym**, **telefonia internetowa** – VoIP, **radio, telewizja i faks internetowy**, **telekonferencje**, **bankowość elektroniczna, sklepy internetowe, aukcje internetowe, gry online, biblioteki cyfrowe** i inne usługi wynikające z potrzeb użytkowników i możliwości Internetu.

Charakterystyczną cechą usług Internetu jest praca w rozproszonej strukturze sieciowej i powiązanie usług z komunikacją danych opisanych protokołami komunikacyjnymi odnoszonymi do warstw modelu OSI, w którym protokół przynależny do warstwy niższej zapewnia funkcjonalność wymaganą dla protokołu najbliższej warstwy wyższej, dodając jednocześnie własne dane pomocnicze i kontrolne. Podstawowym protokołem komunikacji danych w Internecie jest zespół protokołów sieciowych TCP/IP i dlatego np. w usłudze WWW wykorzystującej protokół HTTP jest przypisany warstwie wyższej, dla której niższą warstwą jest nośna warstwa protokołu IP. Protokół HTTP jest protokołem warstwy aplikacji, którego dane są tworzone przez użytkowe oprogramowanie aplikacji. Przy takiej aranżacji sieciowa usługa dostarczająca określonej funkcjonalności jest składnikiem oprogramowania, który jest niezależny od platformy sprzętowej oraz implementacji. Zgodnie z zaleceniami komitetu koordynacji Internetu W3C, dane dla tego typu aplikacji są zazwyczaj przekazywane za pomocą protokołu HTTP z wykorzystaniem języka XML.

3.7.1. Protokół HTTP

Protokół HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) jest podstawowym komunikacyjnym protokołem Internetu do komunikacji pomiędzy użytkownikami Internetu i serwerami. Służy on do przeglądania stron internetowych, pobierania najrozmaitszych plików, przesyłania danych formularzy i innych operacji sieciowych. Jego nieszyfrowana wersja oznaczana jest jako HTTP, podczas gdy szyfrowana bezpieczna wersja tego protokołu ma symbol HTTPS.

Podstawowym zadaniem protokołu HTTP jest realizacja ujednoliconej komunikacji danych definiowanych przez URI (*Uniform Resource Identifier*) i URL (*Uniform Resource Locator*) oraz lokalizacja zasobów Internetu UNR (*Uniform Resource Name*): nazwa zasobów URN oraz adres zasobu URL są identyfikowane przez łańcuch znaków stanowiących URI. W ten sposób każdy użytkownik Internetu, który chce odwiedzić jakąś stronę WWW, łączy się z serwerem internetowym i żąda plików, które są dostępne z wybranego adresu WWW. Dla zwiększenia bezpieczeństwa i uniknięcia ryzyka przechwycenia wrażliwych informacji w tych czynnościach przechodzi się coraz częściej na wersje protokołu HTTPS.

Inną własnością protokołu HTTP jest jego bezstanowość, rozumiana jako własność serwerów dedykowanych tym operacjom i polegająca na tym, że brak jest informacji systemowych o jakichkolwiek wcześniejszych zapytaniach pomiędzy określonym serwerem a użytkownikiem.

Protokół HTTP jest typowym protokołem warstwy aplikacji w modelu OSI, jest on zaimplementowany wraz z innymi protokołami w przeglądarkach internetowych, komunikatorach oraz innych urządzeniach komputerowych wykorzystujących komunikację sie-

ciową. Rolą protokołu HTTP jest przesyłanie danych pomiędzy serwerami WWW a klientami, jest protokołem typu żądanie-odpowiedź, dlatego protokół ten jest wykorzystywany wraz z innymi protokołami, najczęściej wraz z podstawowym protokołem komunikacji danych TCP/IP (*Transmission Control Protocol, Internet Protocol*). Pozwala to na integrację wielu różnych rodzajów sieci komputerowych i jednoczesny dostęp do zasobów Internetu dużej liczby użytkowników. Podobnym celom komunikacji danych oprócz protokołu TCP służy protokół UDP (*User Datagram Protocol*), który w odróżnieniu od TCP/IP nie dzieli i nie składa razem pakietów danych, dlatego używany jest wyłącznie w transmisji plików z dużą zawartością bitów danych. Ponadto protokół UDP jest protokołem bezpołączeniowym, co nie wymaga spójności danych i wcześniejszego nawiązania połączenia komunikujących się z sobą urządzeń. Niemniej jednak protokół UDP zapewnia szybsze działanie.

3.7.2. Zasoby informacji w Internecie

W Internecie tworzenie zasobów informacji oparte jest na wykorzystaniu **hipertekstu** oraz **hiperłącz** zwanych **linkami lub hiperlinkami,** rzadziej odsyłaczami lub węzłami. Idea hipertekstu polega na organizacji informacji tekstowej w postaci niezależnych fragmentów, które stanowią zamkniętą całość niezależną od wzajemnych uzależnień od innych fragmentów hipertekstu. Fragmenty hipertekstu noszą nazwę leksji, a ich charakterystyczną cechą jest nie tylko brak zdefiniowanej struktury wzajemnych powiązań leksji, lecz także zdefiniowanej kolejności czytania leksji. Wybór kolejności czytania fragmentów hipertekstu zwanych leksjami zależy wyłącznie od wyboru określonego linku przez użytkownika.

Dokumenty hipertekstowe są niesekwencyjne, mają modularną budowę i pozwalają użytkownikom być odczytywane w sposób odbiegający od powszechnie wykorzystywanych konwencji. Informacja zawarta w hipertekście przypomina zwykły tekst ze specjalnymi zaznaczeniami wybranych słów, podkreśleniami różnym od reszty znaków kolorem. Zaznaczenia te stanowią linki, czyli odnośniki do innych fragmentów tekstu, ponieważ zaznaczone słowa nie są słowami przypadkowymi, są słowami kontekstowo powiązanymi z tworzeniem hiperłącza. W zaznaczonym słowie może to być na przykład wyjaśnienie określonego terminu, jego ilustracja graficzna czy tekst stanowiący rozszerzenie sygnalizowanego problemu. Co więcej, dokument, do którego prowadzi hiperłącze, znajdować się może bądź na lokalnym twardym dysku tego samego komputera, bądź też dokument taki znajdować się może na jakimś innym sieciowym komputerze ulokowanym w dużej odległości od komputera użytkownika uruchamiającego hiperłącze. Odnośnik hipertekstowy łączyć może także dwa miejsca tego samego dokumentu.

Posługiwanie się hipertekstem polega na wykorzystaniu myszki w polu słowa stanowiącego hiperłącze, automatycznie uruchamiany jest wtedy proces otwierania dokumentu, do którego prowadzi wybrane hiperłącze. Hipertekstowe dokumenty mogą być multimedialne i prócz zwykłego tekstu zawierać mogą elementy graficzne takie jak zdjęcia, rysunki i animacje, dźwięki oraz filmy lub tzw. aplety Javy stanowiące niewielkie programy napisane w języku programowania Java. Determinuje to totalną otwartość hipertekstu w rozproszonym sieciowym środowisku pozbawionym przestrzennych granic, gdyż składowe dokumenty hipertekstu mogą być przechowywane na niezliczonej liczbie komputerów znajdujących się w różnych częściach świata.

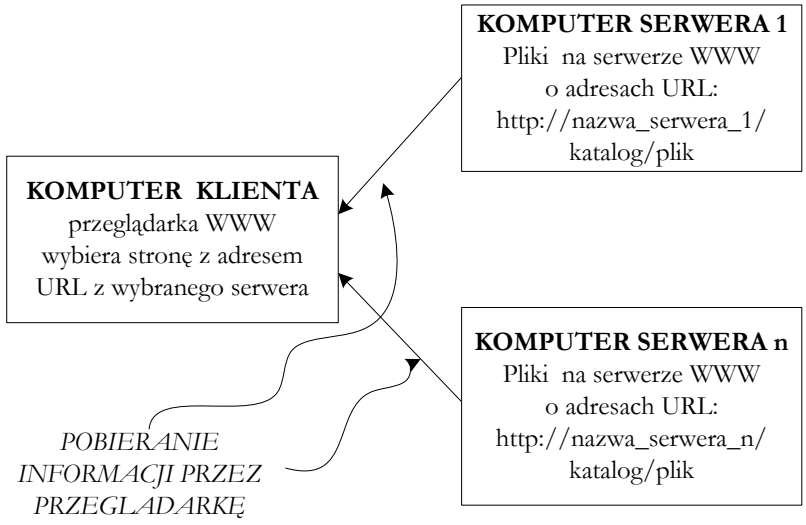
Trzeba także dodać, że hipertekst nie ma żadnych ograniczeń czasowych. Na określony hipertekst składać się może praca pokoleń ludzi, często niezdających sobie z tego sprawy.

Hipertekst umożliwia bowiem dostęp do opracowań i dzieł powstałych w czasach, w których nie istniały jeszcze komputery. Pozwala to hipertekstowym dokumentom na rozrastanie się o teksty zupełnie nowych dzieł dzięki łatwości przekładania materiałów drukowanych na hipertekstowe.

Otwartość hipertekstu to także możliwość partycypacji w jego tworzeniu i dostępu do tego typu informacji użytkownikom niezależnie od wieku, miejsca zamieszkania, narodowości, płci, wykształcenia i statusu społecznego. Taka otwartość skutkuje nieustanną, ewolucyjną zmiennością zasobów informacji w Internecie, przy czym często starsze dokumenty zastępowane są nowszymi zmodyfikowanymi i aktualizowanymi dokumentami.

Struktura hipertekstu przypomina wielką pajęczynę będącą połączeniem ze sobą wielu innych mniejszych pajęczyn, których liczba może być nieprzeliczalnie duża i ciągle może się zwiększać. Wynika to z otwartości struktury hipertekstowej zmieniającej ogólnie przyjęty porządek przygotowywanych tekstów. W hipertekście nie ma początku ani końca, każdy dokument może się stać stroną pierwszą, każdy ostatnią. Struktura hipertekstu nie ma także spisu treści ani indeksu dokumentów. Określają one bowiem kolejność poszczególnych części składowych jakiejś zamkniętej całości, a hipertekst nie stanowi całości w klasycznym rozumieniu i nie ustanawia żadnej kolejności dokumentów. Poza tym niemożliwe jest policzenie wszystkich składowych dokumentów określonego hipertekstu, zwłaszcza że ich liczba może się ciągle zwiększać. W ten sposób zbiory informacji na określone tematy rozrastają się, co okupione jest brakiem kontroli nad całością tworzonych hipertekstowych zasobów informacyjnych.

Rysunek 20. Podstawowy schemat czytania informacji przez przeglądarkę za pomocą protokołu HTTP w rozproszonej globalnej sieci WWW



Źródło: opracowanie własne

Tworzenie i łączenie dokumentów hipertekstowych możliwe jest dzięki technice cyfrowej i wymaga specjalnych narzędzi do realizacji tych celów. Są nimi język znakowy HTML i jego ulepszone wersje XML oraz XHTML, a także języki skryptowe, takie jak PHP czy JavaScript. Pozwalają one na tworzenie milionów stron WWW i uczynienie sieci

komputerowej Internetu źródłem informacji o niespotykanym wcześniej zakresie. Podstawowym źródłem informacyjnym Internetu jest interaktywna sieć o zasięgu globalnym, zwana siecią WWW (*World Wide Web*), wykorzystująca zasoby informacyjne w formie hipertekstów. Charakterystyczną cechą sieci WWW jest jej rozproszona struktura dostosowana do wieloplatformowych współdziałających z sobą systemów sieciowych.

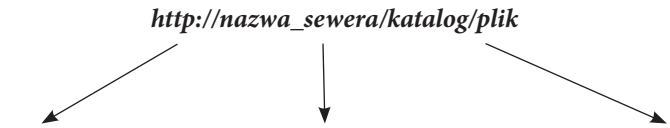
Na pokazanym schemacie sieć WWW będąc internetowym systemem informacyjnym, dostarcza przeglądarce żądanej informacji do komputera klienta, który przegląda na komputerach wybranych serwerów sieciowych stronę WWW o wskazanym na rysunku adresie URL *http://nazwa_serwera_1/katalog/plik*. Po czym użytkownik poprzez przeglądarkę pobiera żądaną stronę zapisaną w witrynie WWW z plików informacji zapisanych w formacie hipertekstów, operacja taka dokonywana jest za pomocą protokołu HTTP.

Mechanizm pobierania stron przez przeglądarki w formatach hipertekstu sprowadza się zatem do:

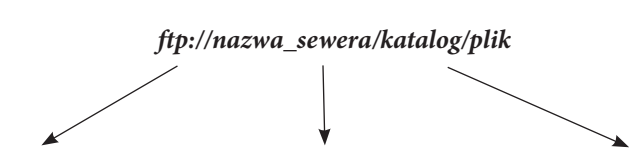
- publikacji określonych informacji w postaci plików w witrynie WWW znajdującej się na jednym lub kilku serwerach WWW,
- pobrania plików przez dowolną przeglądarkę hipertekstową podczas przeglądania z dowolnego komputera klienta stron WWW zapisanych w standardowej postaci hipertekstu.

Przy pełnej otwartości sieci WWW i milionach jej użytkowników podstawowe formalne standardy pracy sieci WWW muszą być jednak sformalizowane. Dokonuje tego World Wide Web (W3) Consortium zlokalizowane przy MIT (Massachusetss Institute of Technology). Ustalenia takie dotyczą używanych języków opisu hipertekstów i protokołów sieciowych innych niż opisane wyżej, zalecenia tego konsorcjum znaleźć można pod adresem http://www.w3.org/.

Przykładowe adresy sieciowe WWW są jak niżej:



Protokół http (Hyper Transfer Protocol) Ścieżka dostępu do pliku z witryny Nazwa serwera www



Protokół ftp (File Transfer Protocol) Ścieżka dostępu do pliku Nazwa serwera ftp

Pobieranie stron HTML przez przeglądarki polega na tym, że witryna WWW zlokalizowana jest na jednym lub kilku serwerach WWW i stanowi miejsce, gdzie publikowane są określone informacje w postaci plików. Takie pliki pobierane są podczas przeglądania strony WWW przez dowolną przeglądarkę HTML w standardowej postaci hipertekstu z dowolnego komputera klienta z akcesem do sieci WWW.

Serwer WWW jest systemem pracującym w sieci Internet na komputerze umożliwiającym przesyłanie plików na żądanie przeglądarek klientów. Zapewnia on przekształcenie publikowanych w witrynach informacji na standardową postać hipertekstową przez użycie odpowiednich programów. Pozwalają one hipertekstowi zapewnić niesekwencyjne prze-

twarzanie tekstu na stronach WWW zgodnie z wyspecyfikowanymi informacjami dołączonymi do tekstu. Przetwarzanie takie charakteryzuje uniwersalność, ponieważ mogą być przetwarzane informacje łączące tekst zarówno z grafiką, jak i dźwiękiem oraz wizją. Do przetwarzania stron utworzonych za pomocą hipertekstu wykorzystywane są popularne na rynku przegladarki, jak na przykład Google Chrom, Mozilla Firefox, Microsoft Internet Explorer, Netscape i ostatnio wprowadzone do powszechnego użytku przeglądarki mobilne.

3.8. Języki skryptowe

Najbardziej popularnymi w tworzeniu stron w serwisach WWW są język znakowy HTML i jego ulepszone wersje XML oraz XHTML, a także języki skryptowe takie jak PHP czy JavaScript. Język HTML (*Hipertext Markup Language*) był na rynku pierwszym językiem skryptowym, jego niedostatki zostały poprawione w języku XML (*Extensible Markup Language*) będącym uniwersalnym językiem znaczników przeznaczonym do reprezentacji danych w strukturalizowany sposób. Jest to język znaczników i format pliku do przechowywania, przesyłania i rekonstrukcji dowolnych danych. Charakteryzuje się niezależnością od platformy systemowej, co pozwala na łatwą wymianę dokumentów pomiędzy heterogenicznymi systemami i znacząco przyczynia się do popularności tego języka w Internecie. Język XML jest standardem rekomendowanym oraz specyfikowanym przez konsorcjum Internetu W3C. Obecnie język ten obok języka XHTML jest najpopularniejszym uniwersalnym językiem przeznaczonym do reprezentowania danych[35].

Język XHTML (*Extensible HyperText Markup Language*) to najnowszy język tego typu, stanowi on rozszerzalny język ogólnego przeznaczenia znaczników hipertekstowych do tworzenia stron WWW. Język XHTML można określić jako język HTML w postaci języka XML. Pełna specyfikacja języka XHTML jest aktualnie przygotowywana przez konsorcjum W3C[36].

Plik zapisany w języku XHTML jest dokumentem tekstowym, który zawiera znaki o ustalonym kodowaniu, gdzie znaki kodowania, zwane też tagami, stanowią elementy pisane małymi literami. W elementach kodowania wyróżnia się zwykle trzy części: znacznika początku, zawartości elementu (tekst) i znacznika końca. Elementy te mogą mieć przypisane atrybuty określające znaczenie określonego elementu. Przy czym atrybuty wraz z ich wartościami w cudzysłowach wpisuje się wewnątrz znacznika początkowego. W języku XHTML każdy znacznik musi posiadać znacznik końca, cecha ta różni język XHTML od języka HTML, ponieważ nie obowiązywało to we wszystkich znacznikach języka HTML.

Idea tworzenia dokumentów w omawianych językach skryptowych jest pokazana poniżej na przykładzie reguł zapisu w języku HTML pierwszego języka tego typu, pozwala na poznanie zasad użycia języków skryptowych, ponieważ różnice między nimi dotyczą szczegółów, a nie principiów.

struktura pliku html

```
!DOCTYPE HTML PUBLIC
„-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN”
„http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd”>
<HTML>
<HEAD>
```

[35] T. Bray i in., , www.w3.org, 26.11.2008 (dostęp: 9.11.2016 r.).

[36] Sending XHTML as text/html Considered Harmful (dostęp: 3.12.2023 r.).

<TITLE>
tytuł dokumentu
</TITLE>
pozostałe metadane
</HEAD>
<BODY>
treść dokumentu
</BODY>
</HTML>

W pokazanej strukturze możliwy jest zapis treści dokumentu wraz z opisem układu graficznego. Dokument taki jest plikiem tekstowym przeplatanym formatującymi rozkazami, zapisanymi w formie znaczników. Każdy znacznik jest słowem kluczowym z ostrymi nawiasami typu „<„ i „>„. Większość znaczników składa się ze znacznika otwierającego i znacznika zamykającego. Znaczniki te różnią się tylko ukośnikiem poprzedzającym słowo kluczowe i mogą posiadać atrybuty sterujące, które wpływają na ich funkcjonowanie. Takie atrybuty sterujące umieszczane są wewnątrz znacznika, za słowem kluczowym. Prócz tego dopuszczalna jest tu możliwość stosowania komentarzy, będących blokami tekstu, ignorowanymi przez programy protokołu HTTP. Komentarze znajdują się wewnątrz znaków oznaczanych „<!—„ i „-->„. Na przykład znacznik „b" służy do wyświetlenia fragmentu tekstu z użyciem czcionki pogrubionej, znacznik rozpoczyna tryb czcionki pogrubionej, a znacznik kończy ją.

Dokument w języku HTML składać się może z jednego lub wielu plików. Zestawy wieloplikowe są konieczne wtedy, gdy dokument zawiera inne elementy binarne, np. obrazy graficzne w formacie JPG. W przypadkach takich każdy obraz graficzny zapisywany jest w odrębnych plikach, a adres URL dokumentu HTML jest adresem całego pliku URL. Proces pobierania takiego dokumentu opisują kolejne kroki:

1. Użytkownik przekazuje klientowi HTTP adres URL pliku HTML, np. http://www.warszawa.pl/main.html.
2. Klient HTTP wysyła do serwera HTTP żądanie pobrania pliku HTML, o nazwie main.html.
3. Klient HTTP otrzymuje od serwera HTTP plik HTML i analizuje jego zawartość w celu wyszukania wskaźników plików załączników.
4. Klient HTTP wysyła do serwera HTTP żądania pobrania plików załączników, np. rect.jpg.
5. Klient otrzymuje od serwera HTTP pliki załączników i wizualizuje kompletny dokument.

Taka interakcja klienta HTTP z serwerem HTTP wymagać może trzykrotnego nawiązania połączenia HTTP lub tylko jednokrotnego wielożądaniowego.

Każdy plik HTML posiada dwumodułową strukturę, w której występuje nagłówek dokumentu (head) i treść dokumentu (body). Nagłówek dokumentu wykorzystuje znaczniki <head> oraz </head> i zawiera metadane opisujące dokument oraz jego tytuł. Treść dokumentu wykorzystuje znaczniki <body> oraz </body> i zawiera właściwą treść dokumentu dostępną dla użytkownika końcowego. Nagłówek wraz z treścią dokumentu znajduje się wewnątrz zapisu dokumentu, który wyznaczają znaczniki <html> i </html>. Nazwy plików HTML powinny zawierać rozszerzenie „.html" lub „.htm„.

Z przedstawionego wyżej mechanizmu wykorzystania języka HTML lub jego nowszych wersji XHTML czy XML języków widać, że języki znakowe nie są językami programowa-

nia, a są językami znaczników stanowiących, systemem identyfikacji i opisu składowych komponentów dokumentu. Niemniej zaznaczyć tutaj trzeba, że do celów podobnych jak scharakteryzowane wyżej języki znakowe wykorzystywane są również znacznie bardziej zaawansowane języki skryptowe, jak np. PHP czy JavaSript. Dają one znacznie więcej możliwości tworzenia zaawansowanych aplikacji i dokumentów WWW, zwłaszcza w powiązaniu z językiem programowania JAVA, stanowiącym aktualnie jeden z ważniejszych języków programowania, w tym również tworzenia zaawansowanych aplikacji internetowych.

3.9. Eksploracja danych

Jedną z możliwych aplikacji pozyskiwania wiedzy z wielkich zbiorów informacji Internetu, a zwłaszcza zbiorów serwisu WWW, zwanych też Web, jest eksploracja danych określana angielskim terminem ***Data Mining***[37]. Polega ona na wydobywaniu poszukiwanej wiedzy ze zbiorów danych poprzez ich statystyczne analizy i porównywanie danych z różnych, niepowiązanych ze sobą zbiorów. Jest to wiedza niemożliwa do zdobycia w inny sposób i jest przedmiotem realizacji różnorodnych zadań, w tym dla potrzeb kryminalistyki czy różnych firm biznesowych, na przykład dla lepszego zrozumienia potrzeb klientów, prognozowania ich zachowań lub poprawy wydajności pracy. Eksploracja danych identyfikuje wzorce i korelacje w dużych zbiorach danych pozwalające uzyskiwać również wiedzę, czy to o łańcuchach dostaw, czy to o identyfikacji nadużyć w systemach dystrybucji, czy też innych anomalii powodujących nieprzewidywalne błędy w dowolnym procesie możliwe do wychwycenia tylko z analiz dużych zbiorów danych. Eksplorację danych określić zatem można jako metodę odkrywania potrzebnej, ale nieznanej wiedzy zawartej w wielkich zbiorach, danych stanowiących zawartość sieci Web. Celem jest tu ustalanie sposobów postępowania na podstawie odkrywania dodatkowej wiedzy dla omijania różnorodnych problemów w realizacji określonych procesów.

W eksploracji danych wyróżnia się następujące etapy badań: gromadzenie, czyli akwizycję danych, przetwarzanie, obejmujące jedno lub kilkakrotne formatowanie danych oraz ekstrakcję z wyselekcjonowanych danych wiedzy dla zdefiniowanych potrzeb – potrzeb zgodnych z przyjętymi kryteriami oceny i algorytmami przeszukiwania danych.

Podstawową klasyfikacją sposobów eksploracji danych w sieci Web jest:

- eksploracja zawartości sieci zwana *Web Content Mining*,
- eksploracja połączeń sieci zwana *Web Stucture Mining* (*Web Linking Mining*),
- eksploracja korzystania z sieci zwana *Web Usage Mining*.

Przykładami zbiorów danych, w których wykorzystywane są metody eksploracji danych, są zbiory danych w serwisach Google, Yahoo, Amazon na potrzeby elektronicznego handlu czy odkrywania powiązań w reklamach, wykrywania oszustw na aukcjach internetowych. Obszarem innych zastosowań są też analizy danych socjalnych sieci dla potrzeb policji.

Zastosowania te poprzedzane są tworzeniem oryginalnych algorytmów rankingu dla przeszukiwania stron w wyszukiwarkach internetowych, np. Google czy Yahoo. Te algorytmy eksploracji pozwalają głównie na odkrywanie w danych asocjacji poprzez grupowanie, klasyfikację lub ocenę wiarygodności rekordów. Inne algorytmy pracy eksploracji danych są adresowane do eksploracji logów w analizach efektywności poczty elektronicznej dla

[37] L. Grochowski, *Metody eksploracji danych w prognozowaniu cyberataków*, [w:] *Prognozowanie kryminologiczne w wymiarze społecznym*, red. B. Hołyst, t. 2, Warszawa 2017, s. 226–244.

ustalania strategii buforowania i przechowania danych w zbiorach Web będących bazami danych zwanych hurtowniami danych.

W eksploracji danych zasoby sieci Web interpretuje się jako heterogeniczną, wielką, rozproszoną bazę – hurtownię danych z danymi, które stanowią nieustrukturalizowane strony WWW. Niestety dane takie są bardziej złożone niż tradycyjne dane dokumentów tekstowych, gdyż obejmują one nie tylko dane tekstowe, graficzne, multimedialne, ale i wzajemną ich strukturę połączeń. Sieć Web ponadto cechuje bardzo duża dynamika zmian zachodzących w środowisku sieciowym Web, pojawiają się nowe zasoby danych i znikają istniejące. Zmiany te nigdzie nie są rejestrowane. Poza tym w analizach eksploracji danych w sieci Web użytkowników interesuje tylko niewielka część informacji zawartej w takich danych. Zbiory eksplorowanych danych w efekcie cechuje wielka liczebność danych, która podlega dynamicznym zmianom przy jednoczesnym wykorzystywaniu tylko części zawartej w nich wiedzy. Powoduje to, że eksploracja danych w sieci Web jest trudna i wymaga opracowywania nietypowych i oryginalnych mechanizmów pracy.

W pokazanej wyżej na rysunku klasyfikacji analiz eksploracji danych[38]:

Eksploracja zawartości sieci – ***Web Content Mining*** – dotyczy procesów ekstrakcji poszukiwanej wiedzy z zawartości dokumentów Web, obejmujących teksty, obrazy, zobrazowania video oraz strukturalne zapisy typu list lub tabel. Obecnie obszar ten jest najbardziej interesujący nie tylko z perspektywy zabezpieczeń przed cyberatakami, ale także z perspektywy zastosowań metod eksploracji, głównie dla celów biznesowych. Badane są teksty określane terminem *Text Mining*, w których odkrywane są wzajemne powiązania oraz grupowanie dokumentów *Web* zwane *clastering*, oraz klasyfikacja stron serwisów Web. Badania te koncentrują się na wyszukiwaniu informacji – *Information Retrieval* i przetwarzaniu jej poprzez języki *Natural Language Processing* wspomagane językami zapytań takich jak WebSQL, WebML, WebLog, W3QL. Kolejnym etapem eksploracji jest grupowanie stron WWW oraz ich klasyfikacja, dokonywane to jest z wykorzystaniem algorytmów grupowania i klasyfikacji dokumentów w formacie języka XML. Algorytmy te wymagają zdefiniowania miar podobieństwa między dokumentami XML poprzez wprowadzenie do ich zapisów struktury grafowej.

Eksploracja struktury – ***Web Structure Mining,*** zwana też *Web Linkage Mining* – dotyczy struktury dokumentów Web. Jest ona odnoszona do struktury zorientowanych grafów przyporządkowanych dokumentom Web, gdzie strony stanowią węzły grafów, a hyperlinki łączące określone strony są krawędziami grafów. Eksploracja sprowadza się tu do odkrywania wiedzy struktury zawartej w wykorzystywanych hyperlinkach, które są jednostkami informującymi o lokalizacji strony. Wprowadzane są dwa typy powiązań Intra-Document Hyperlinki informujące o powiązaniach na tej samej stronie i Inter-Document Hyperlinki, które informują o powiązaniach z innymi stronami. Analizy koncentrują się tu na badaniu zapisów w formatach języków skryptowych HTML i XML na stronach. Celom tym służą charakterystyczne tagi zapisów tych języków. Pozwala to na budowę struktury drzew dokumentów, jak i modeli obiektów dokumentów, tzw. *Document Object Models* (DOM). Przy czym DOM-y są tu traktowane jako interfejsy zapewniające dostęp do zawartości, struktury i stylu dokumentów poprzez tagi języka oraz użyte dynamiczne programy przeszukujące. Skutkuje to tym, że proces ekstrakcji wiedzy z dokumentów jest skoncentrowany na DOM-ach pozwalających automatyzować komputerowe operacje przeszukiwań i zapewniać podwyższoną efektywność badań eksploracyjnych. Efektem eksploracji jest tu

[38] L. Grochowski, Metody eksploracji danych w prognozowaniu cyberataków, rozdz. 8: Prognozowanie kryminologiczne w wymiarze społecznym, red. B. Hołyst, op.cit, s. 226–244.

ustalenie rankingów wyników wyszukiwania stron WWW na podstawie liczby cytowań lub opinii różnych użytkowników. Najpopularniejszym algorytmem tego typu jest algorytm *Page Rank*.

Eksploracja korzystania z sieci – ***Web Usage Mining*** **–** z kolei dotyczy aplikacji technik eksploracji danych do odkrywania wzorców opartych na sposobach użycia danych do dedykowanych celów. Na przykład danych dotyczących użytkowania, które przechwytują tożsamość, rodzaj użytkowników Internetu oraz przeglądanych przez użytkowników stron internetowych. Powyższe ma duże znaczenie m.in. w monitorowaniu sieci Internetu w aspekcie cyberataków, ponieważ pozwala każdą sieć konfigurować w zależności od potrzeb bezpieczeństwa. Eksplorowane dane stanowią tu zasoby serwerów Web. Podczas logowania użytkowników sieci pozwalają one ustalać ich adresy IP, a także jakie i jak długo w czasie były wykorzystywane określone strony. Eksploracja tego typu obejmuje również przeszukiwanie danych na serwerach aplikacji, np. Weblogic czy StoryServer, pozwalających śledzić różne rodzaje działalności i zdarzeń sieciowych przez logi zapisywane w dziennikach serwerów aplikacji. Wiedza taka jest uzupełniana w aspekcie historycznym za określony czas informacjami o sieciowych zdarzeniach.

Rozdział III

Cele i zadania kryminalistyki cyfrowej

1. Ogólne zastosowanie kryminalistyki cyfrowej

Burzliwy rozwój informatyki i jej udział w praktycznie wszystkich obszarach aktywności ludzkiej pociągnął za sobą zainteresowanie nowymi źródłami informacji, które nie eliminując istniejących dotychczas źródeł, zmuszone są do pozyskiwania żądanych informacji z nowych źródeł bazujących na cyfrowych formatach danych.

Z punktu widzenia kryminalistyki kryje się za tym kompleks nowych metod zorientowanych na pracę urządzeń, systemów i sieci komputerowych, zarówno przewodowych, jak i bezprzewodowych, a przede wszystkim Internetu. Metody te obejmuje kryminalistyka cyfrowa (*digital forensics*). Dotyczy ona metod śledczych zastosowanych do identyfikacji i przechowywania dowodów z urządzeń komputerowych, służy uzyskaniu dowodów, które mogą być wykorzystywane w sądzie. Kryminalistyka cyfrowa jest terminem szerszym niż informatyka śledcza (*computer forensics*) i określa identyfikację, pozyskiwanie, przetwarzanie, analizowanie i raportowanie elektronicznie przechowywanych danych nie tylko w odniesieniu do dowodów śledczych, lecz także zwiększenia całokształtu efektywności prowadzonych procesów śledczych.

We współczesnym świecie rola kryminalistyki cyfrowej systematycznie wzrasta i powoduje, że staje się ona nie tylko kluczowym wsparciem ścigania przestępstw kryminalnych, ale i koniecznością z uwagi na wzrastające wykorzystywanie informatyki w coraz to nowych obszarach aktywności społecznych i biznesowych.

Kryminalistyka cyfrowa zrodziła się z potrzeb badań przestępstw komputerowych. Już w latach 50., 60. i 70. rozwijali działalność phreakerzy, którzy po raz pierwszy zajmowali się bezpłatnymi rozmowami międzymiastowymi i międzynarodowymi. Gdy w latach 80. pojawiły się komputery osobiste, rozszerzały się na dużą skalę przestępstwa komputerowe. Pewnym przełomem było wprowadzenie na rynek w 1981 r. przez firmę IBM komputera 5150 PC. W 1984 r. FBI zorganizowało jednostkę Magnetic Media Program, przekształconą na CART (Computer Analysis and Response Team). Do jej kompetencji należały dochodzenia przy wykorzystaniu kryminalistyki cyfrowej. Z kolei amerykański Kongres w 1984 r. utworzył jednostkę NCMEC (National Center for Missing and Exploited Children) w celu zwalczania pornografii dziecięcej. W latach 90. na rozwój kryminalistyki cyfrowej wpłynął Internet. W tym czasie powstała poczta elektroniczna.

Poczta elektroniczna jest zapewne najważniejszym typem dowodów elektronicznych. Jest bardzo istotna z kilku powodów. Oto niektóre z nich:

- ustalenie kontroli, własności i zamiarów;
- odtwarzanie łańcucha zdarzeń;
- powszechność;
- trwałość (manipulowanie dowodami);
- dopuszczalność;
- dostępność.

Kryminalistyka cyfrowa rozwinęła się szczególnie po wydarzeniach z 11.09.2001 r. Brak wymiany informacji pomiędzy NSA, CIA i FBI był przyczyną ataku terrorystycznego na World Trade Center.

Opuszczenie w maju 2013 r. przez Edwarda Snowdena amerykańskiej Agencji Bezpieczeństwa Narodowego – NSA wraz z tajnymi plikami spowodowało duże trudności z uzyskiwaniem dowodów cyfrowych. W związku z rozwojem kursów w szkołach średnich i na uniwersytetach zaczęto wydawać certyfikaty, np. IACRB (Information Assurance Certification Review Board) przyznaje certyfikat CCFE (Certified Computer Forensics Examiner) w następującym zakresie:

- kwestie etyczne i prawne;
- proces śledczy;
- narzędzia informatyki śledczej;
- odzyskiwanie i integralność dowodów z dysków twardych;
- odzyskiwanie i integralność dowodów elektronicznych;
- analiza śledcza systemów plików;
- analiza i łączenie dowodów;
- odzyskiwanie dowodów z systemu Windows;
- analiza śledcza sieci i pamięci nietrwałej;
- pisanie raportów.

Inny certyfikat CFC (Certified Forensic Consultant) przewiduje następujące obszary[1]:

- postępowania sądowe;
- federalne przepisy dotyczące dowodów;
- proces zbierania dowodów;
- sporządzanie notatek;
- wizja lokalna;
- raport pisemny;
- umowy o świadczenie usług doradztwa prawnego;
- kategorie świadków;
- opinia biegłego sądowego;
- przygotowania do zeznań;
- czego można oczekiwać w trakcie składania zeznań;
- przygotowania do procesu;
- zeznawanie w trakcie procesu;
- co zabrać do sądu;
- branża konsultacji prawnych.

W 1998 r. utworzono w USA Laboratorium Informatyki Śledczej Departamentu Obrony. Rozpoczęto także szkolenie z tego zakresu (Defense Computer Investigations Training

[1] Por. także: D.R. Hayes, *Informatyka w kryminalistyce*, tłum. T. Walczak, Gliwice 2021, s. 46–56.

Program). W dalszej kolejności powstały DCCI (Departament of Defense Cyber Crime Center). Wspomnieć także trzeba o Amerykańskiej agencji Secret Service, która oprócz obrony prezydenta Stanów Zjednoczonych zajmuje się problematyką prania i fałszerstwa pieniędzy.

W 1995 r. utworzono organizację IOCE (International Organization on Computer Evidece), a w 1998 r. grupa państw G8 upoważniła IOCE do opracowania procedury postępowania z dowodami elektronicznymi.

Dużą rolę w rozwoju kryminalistyki cyfrowej odegrał Interpol. Na przykład w 2008 r. utworzono jednostkę Computer Forensics Analisis Unit. Międzynarodowa Organizacja Policji Kryminalnej koordynuje międzynarodowe działania zwalczające pedofilię.

Oto krótkie zestawienie historii informatyki śledczej[2].

Tabela 1. Historia informatyki śledczej i ważnych wydarzeń w świecie informatyki

Rok	Wydarzenie
1981	Wprowadzenie komputera 5150 PC przez IBM
1984	Utworzenie przez FBI programu Magnetic Media Program (znanego później jako CART)
1984	Założenie organizacji NCMEC (National Center for Missing and Exploited Children)
1986	Utworzenie jednostki ECTF (Elektronic Crimes Task Force) przez USSS
1986	Uchwalenie ustawy o oszustwach i nadużyciach komputerowych przez Kongres Stanów Zjednoczonych
1993	Pierwsza międzynarodowa konferencja poświęcona dowodom komputerowym
1994	Uchwalenie przez Kongres ustawy o przestępczości; rozpoczęcie przez USSS pracy nad zwalczaniem przestępstw przeciwko dzieciom
1994	Udostępnienie Mosaic Netscape – pierwszej graficznej przeglądarki internetowej
1995	Założenie organizacji IOCE (International Organization on Computer Evidence)
1996	Założenie przez USSS jednostki ECTF (New York Electronic Crimes Task Force)
1998	Powstanie Europolu
1999	Utworzenie pierwszego laboratorium RCFL w San Diego
2000	Rozpoczęcie stosowania narzędzia ILook przez IRS-CID
2001	Uchwalenie ustawy USA PATRIOT, która nakazuje USSS utworzenie jednostki ECTF w całym kraju
2001	Opracowanie przez INTERPOL bazy danych dotyczącej wykorzystywanych dzieci (ICAID)
2002	Utworzenie Departamentu Bezpieczeństwa Wewnętrznego Stanów Zjednoczonych
2003	Uchwalenie ustawy PROTECT w celu przeciwdziałania wykorzystywaniu dzieci
2003	Powstanie centrów informacyjnych
2003	Utworzenie przez Europol centrum EC3 (European Cybercrime Center)
2004	Powstanie serwisu Facebook
2007	Utworzenie instytutu NCFI
2008	Zatwierdzenie powstania jednostki Computer Forensics Analysis Unit INTERPOL-u
2009	Utworzenie pierwszej europejskiej jednostki ECTF (we Włoszech)
2009	Rozpoczęcie rejestrowania transakcji w księdze głównej bitcoina
2010	Utworzenie drugiej europejskiej jednostki ECTF (w Wielkiej Brytanii)
2011	Uchwalenie ustawy PATRIOT Sunsets Extension
2013	Ucieczka Edwarda Snowdena do Rosji po ujawnieniu poufnych danych z NSA
2015	Zakończenie procesu w sprawie serwisu The Silk Road skazaniem założyciela, Rossa Ulbrichta

[2] D.R. Hayes, *Informatyka*..., s. 60.

Rok	Wydarzenie
2015	Uchwalenie ustawy o wymianie informacji z zakresu cyberbezpieczeństwa (Cybersecurity Information Sharing)
2016	Uchwalenie ustawy o uprawnieniach śledczych w Wielkiej Brytanii
2017	Wprowadzenie systemu plików APFS przez Apple w systemie iOS 10.3
2018	Wprowadzenie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z 27.04.2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych) (Dz.Urz. UE L Nr 119, s. 1)

W kryminalistyce cyfrowej wyróżnić można następujące obszary:

- **kryminalistyki klasycznej** obejmującej przestępstwa z wykorzystaniem komputerów, w których w celach przestępczych instalowane są dodatkowe programy wykradania danych i przeróżnych innych przestępczych manipulacji danymi, po złośliwe oprogramowania tzw. wirusów komputerowych blokujących pracę całych systemów i przestępcze manipulowanie danymi zapisywanymi w pamięciach komputerów;
- **kryminalistyki urządzeń mobilnych** obejmującej przestępstwa dokonywane za pomocą inteligentnych urządzeń mobilnych, zwłaszcza telefonów komórkowych (*smart phones*) i innych urządzeń bezprzewodowych;
- **kryminalistyki sieciowej** obejmującej przestępstwa dokonywane z wykorzystaniem sieci komputerowych, a zwłaszcza Internetu. Zawarty w tym jest kompleks przestępstw od nieautoryzowanego odczytu wiadomości e-mail po wyrafinowane manipulowanie danymi w wyniku otwarcia nadesłanych do danego odbiorcy wiadomości prowadzących do wykradania danych i kradzieży środków płatniczych przy realizacji sieciowych usług płatniczych. Obszar ten obejmuje kompleks przestępstw, który z informatycznego punktu widzenia odnoszony jest do 7-poziomowego modelu OSI (*Open System Interconnections*) wzajemnej kompatybilności współpracy urządzeń i systemów w sieciach informatycznych;
- **kryminalistyki baz danych** obejmujący przestępstwa dokonywane w fałszowaniu i manipulacji rekordami bazodanowymi i związanymi z nimi metadanymi.

Podczas gdy związana z tymi aktywnościami problematyka cyberbezpieczeństwa koncentruje się na zapobieganiu przestępstw, kryminalistyka cyfrowa dotyczy głównie odzyskiwania i reagowania na odkrywane dane. Pomimo tych różnic, wspólną cechą kryminalistyki cyfrowej i cyberbezpieczeństwa jest ochrona danych, programów, sieci komputerowych i innych zasobów cyfrowych w aspekcie gromadzenia, przetwarzania, przechowywania, analizy i prezentacji dowodów związanych z wykorzystaniem komputerów dla dostarczenia organom ścigania dowodów oszustw. Ważne jest nie tylko poszukiwanie dowodów działalności przestępczej, lecz także identyfikacja luk w zabezpieczeniach, czy to w sieci komputerowej, samych komputerach, czy też smartfonów, padów różnego typu w bezpieczeństwie korporacyjnym i egzekwowaniu prawa.

Kryminalistyka cyfrowa jest częścią bardziej złożonego procesu konstrukcji społecznej, w którym standardy i metody kryminalistyki informatycznej XXI w. spotykają się z zasadami proceduralnymi dowodowymi w sądownictwie karnym XIX i XX w.[3]

Cyfrowa kryminalistyka stanowi istotną część niemal każdego postępowania, biorąc pod uwagę ilość dostępnych informacji i możliwości, jakie oferują dane elektroniczne

[3] U. Ewald, *Digital Forensics vs. Due Process: Conflicting Standards or Complementary Approaches?*, The Third Central European Cybersecurity Conference, listopad 14–15, 2019, Munich, Germany.

w zakresie prowadzenia postępowań i dowodów w sprawie przestępstwa. Jednakże w postępowaniu karnym te elektroniczne dowody są często rozpatrywane z największą podejrzliwością i niepewnością, chociaż czasami są one uzasadnione. Obecnie stosowanie niepotwierdzonych naukowo technik kryminalistycznych jest bardzo krytykowane w postępowaniach sądowych. Niemniej jednak niezwykle odrębna i dynamiczna charakterystyka danych elektronicznych, w uzupełnieniu obowiązującego prawodawstwa i przepisów dotyczących prywatności, nadal stanowi wyzwanie dla systematycznego uznawania dowodów w sądzie.

W Laboratorium Kryminalistycznym Komendy Wojewódzkiej Policji w Szczecinie uzyskano materiał badawczy do badań daktyloskopijnych w postaci plików graficznych i plików wideo zabezpieczonych ze smartfonów z obrazami palców i dłoni[4]. Przypadki w USA i Hiszpanii wykazują nowe możliwości wykorzystania zapisów wizualnych do badań daktyloskopijnych.

Sztuczna inteligencja odgrywa także coraz większą rolę w analizie predykcyjnej. Chodzi o metody przeciwdziałania przestępstwom, selekcji osób zagrożonych popełnieniem przestępstwa w przyszłości, metody przeciwdziałania tożsamości sprawców, a także metody przewidywania ofiar przestępstw[5].

Przyszłość rozwoju metod śledczych należy m.in. do upowszechnienia kryminalistyki cyfrowej.

2. Polska procedura karna w odniesieniu do kryminalistyki cyfrowej

Kryminalistyka cyfrowa to praktyka wykorzystująca informatykę do badania, gromadzenia, analizowania i ostatecznie przedstawiania sądom nienaruszonych i nieuszkodzonych dowodów elektronicznych. Ten wymóg zastosowania rzetelności metodyki całego procesu w zakresie prawidłowości uzyskania niewadliwego dowodu opisywany jest często w literaturze jako „solidność kryminalistyczna"[6]. Chociaż dokładne znaczenie tego pojęcia zależy od obowiązującej jurysdykcji i zastosowanych technik kryminalistycznych, istnieją ustalone standardowe procedury i najlepsze praktyki dotyczące sposobu przeprowadzania i zarządzania cyfrowymi badaniami kryminalistycznymi, aby zapewnić solidność kryminalistyczną na każdym etapie łańcucha dowodowego[7].

Kryminalistyka dowodów cyfrowych i multimedialnych to złożona dziedzina, która w dużym stopniu opiera się na algorytmach wbudowanych w zautomatyzowane narzędzia

[4] M. Fabisiak, *Cyfrowy ślad linii papilarnych*, „Problemy Kryminalistyki" 2023/319, s. 25 i n.; por. także Metodyka badania cyfrowych nośników danych, wyd. I z 4.11.2019 Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego Policji w Warszawie.

[5] M. Dymitruk, *Sztuczna inteligencja w wymiarze sprawiedliwości?* [w:] *Prawo sztucznej inteligencji*, red. L. Lai, M. Świerczyński, Warszawa 2020, s. 275–291.

[6] E. Casey, *What does „forensically sound" really mean?*, „Digital Investigation" 2007/4(2), s. 49–50; R. McKemmish, *When is digital evidence forensically sound? In Advances in Digital Forensics IV* [w:]*IFIP – The International Federation for Information Processing*, red. I. Ray, S. Shenoi, 2008, https://download.e-bookshelf.de/download/0000/0720/64/L-G-0000072064-0002354950.pdf, s. 3–15.

[7] Łańcuch dowodowy stanowi integralną część procesu zabezpieczenia i uwierzytelnienia fizycznych i elektronicznych dowodów w postępowaniu administracyjnym lub sądowym. Łańcuch ten dokumentuje proces dostępu do materiału dowodowego i określa, kto miał do niego dostęp, kiedy i w jakim celu. Zob. W. Oetinger, *Informatyka śledcza. Gromadzenie, analiza i zabezpieczanie dowodów elektronicznych dla początkujących*, tłum. F. Kamiński, Gliwice 2022, s. 58.

wykorzystywanych do przetwarzania dowodów. Słabe strony lub błędy w tych algorytmach, mechanizmach i procesach mogą potencjalnie prowadzić do błędnych wniosków, co wskazuje na potrzebę większej dyscypliny naukowej w tym zakresie.

Polska procedura karna nie zawiera odrębnych procedur dotyczących dowodów elektronicznych i podlegają one ogólnym zasadom postępowania dowodowego zawartym w dziale V ustawy z 6.06.1997 r. – Kodeks postępowania karnego (Dz.U. z 2024 r. poz. 37 ze zm.) – dalej k.p.k. – oraz każdym innym przepisie z zakresu stosowania i dopuszczalności dowodów, np. 338a k.p.k., art. 115 § 14 ustawy z 6.06.1997 r. – Kodeks karny (Dz.U. z 2024 r. poz. 17) – dalej k.k.

Przepisy dotyczące gromadzenia i przechowywania dowodów elektronicznych znajdują się w szczególności w rozdziale 25 k.p.k., w art. 19 i 20c ustawy z 6.04.1990 r. o Policji (Dz.U. z 2024 r. poz. 145 ze zm.) oraz ustawie z 18.07.2002 r. o świadczeniu usług drogą elektroniczną (Dz.U. z 2020 r. poz. 344 ze zm.).

Kluczowym elementem jest natomiast ocena wartości dowodowej takich materiałów, które są oczywiście rodzajowo inne, ale podlegają takim samym zasadom oceny jak ich tradycyjne odpowiedniki. Ma tu zastosowanie art. 7 k.p.k., zgodnie z którym „Organy postępowania kształtują swe przekonanie na podstawie wszystkich przeprowadzonych dowodów, ocenianych swobodnie z uwzględnieniem zasad prawidłowego rozumowania oraz wskazań wiedzy i doświadczenia życiowego". W kontekście dowodów cyfrowych nie zawsze jednak organ procesowy będzie posiadał odpowiednią, specjalistyczną wiedzę i wówczas jest możliwość, na postawie z art. 193 § 1 k.p.k., powołania biegłych[8].

3. Nowe przepisy międzynarodowe

W kwestii aspektów prawnych funkcjonowania kryminalistyki cyfrowej można wskazać również normy i przewodniki, zarówno krajowe, jak i międzynarodowe, po najlepszych praktykach stosowanych w tym zakresie. Najwięcej z nich wywodzi się ze Stanów Zjednoczonych Ameryki, w którym to państwie z uwagi na regułę wyłączenia dowodów i doktrynę „owoców zatrutego drzewa" zabrania się wykorzystywania przed sądem (przeciw oskarżonemu) dowodów uzyskanych w wyniku legalnych działań organów dochodzeniowo-śledczych[9].

Większość tych standardów i wytycznych dotyczy rozwiązań cyfrowych kryminalistyki w ogóle, ale można je zastosować również w kryminalistyce multimedialnej, ponieważ często definiują etapy ogólnej procedury, a nie sposób, w jaki konkretna technika powinna być stosowana w praktyce. Istnieją również standardy i przewodniki po najlepszych praktykach poświęcone kryminalistyce cyfrowej danych i urządzeń multimedialnych, z których wiele koncentruje się na określonym rodzaju tych danych lub urządzeń multimedialnych.

Wymieniona poniżej lista standardów i praktyk nie jest listą zamkniętą, a głównymi obszarami, na których się skoncentrowano, są kolejno ISO i inne reguły międzynarodowe oraz dobre praktyki w Stanach Zjednoczonych Ameryki i Wielkiej Brytanii.

[8] B. Oręziak, *Dowody elektroniczne a sprawiedliwość procesu karnego*, „Prawo w Działaniu. Sprawy Karne" 2020/41, s. 193.

[9] M. Szmit, *O standardach informatyki śledczej*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie" 2018/355, s. 85.

Istnieją dwa rodzaje reguł i przewodników w zakresie najlepszych praktyk w omawianej dziedzinie: pierwsze, ściśle powiązane z normami ISO[10], dotyczące przede wszystkim zapewniania jakości, oraz te, które nie mają z nimi związku, dotyczące procesów. Pierwszy podzbiór dotyczy bardziej zapewniania właściwości, a drugi dotyczy procesów technicznych/prawnych/sądowych[11].

Chociaż normy ISO są najważniejsze spośród wszystkich standardów cyfrowej kryminalistyki, należy zwrócić uwagę również na inne dokumenty w tym zakresie, jak np. wydany przez brytyjski Association of Chief Police Officers[12] (ACPO) przewodnik IAAC[13] (Rada Doradcza ds. Zapewnienia Informacji), dotyczący gotowości do działań kryminalistycznych, który stanowi najbardziej wszechstronny przewodnik niestandardowy.

W dziedzinie kryminalistyki cyfrowej ważnych jest kilka międzynarodowych norm ISO:

- ISO/IEC 27037:2012 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Wytyczne dotyczące identyfikacji, gromadzenia, pozyskiwania i zabezpieczania dowodów cyfrowych" (*Information technology – Security techniques – Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence*);
- ISO/IEC 27035-1:2023 i 27035-2:2023 „Technologia informacyjna. Zarządzanie incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji", część 1 – Zasady i proces, część 2 – Wytyczne dotyczące planowania i przygotowania reakcji na incydent (*Information technology. Information security incydent management. Part 1: Principles and proces. Part 2: Guidelines to plan and prepare for incident response*);
- ISO/IEC 17025:2017 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących" (*General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*);
- ISO/IEC 17020:2012 „Ogólne kryteria działania różnych typów organów przeprowadzających inspekcję" (*General criteria for the operation of various types of bodies performing inspection*);
- ISO/IEC 27001:2022 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Systemy zarządzania bezpieczeństwem informacji – Wymagania" (*Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*);

[10] Normy ISO nie są jednak tym samym co przepisy prawne i samo przestrzeganie ich nie gwarantuje spełniania zapisów odpowiednich ustaw, rząd jednak często opiera się na normach przy tworzeniu przepisów prawnych lub dokumentów zawierających wytyczne, stosując je do ustalania szczegółów technicznych, co pozwala skupić się na długoterminowych celach przepisów.

[11] Większość standardów i przewodników po najlepszych praktykach w drugim rodzaju jest opracowywanych przez organy amerykańskie, co wynika głównie z wiodącej roli trzech kluczowych organów: Narodowego Instytutu Standardów i Technologii (NIST) oraz dwóch SWGDE, tj. Naukowych grup Roboczych w dziedzinie kryminalistyki cyfrowej. Podział ten ma korzenie w fakcie, że normy ISO w większym stopniu dotyczą procedur zapewniania jakości, zatem standardy i wytyczne dotyczące najlepszych praktyk w większym stopniu powiązane z procedurami technicznymi/prawnymi/sądowymi są w mniejszym stopniu zależne od norm ISO.

[12] Association of Chief Police Officers – prywatna firma z ograniczoną odpowiedzialnością, finansowana z połączenia dotacji Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, składek każdego z 44 organów policji, składek członkowskich oraz dochodów z corocznej wystawy. Jej członkami są funkcjonariusze policji posiadający stopień komendanta, zastępcy podkomisarza, podkomisarza i komisarza w Londynie oraz komendant policji, zastępca komendanta policji lub zastępca komendanta policji w siłach prowincjonalnych Anglii, Walii i Irlandii Północnej, policja krajowa, agencje i niektóre inne siły w Wielkiej Brytanii, na Wyspie Man i Wyspach Normandzkich, a także niektórzy starsi pracownicy niebędący funkcjonariuszami policji. Obecnie ACPO liczy 280 członków.

[13] Rada Doradcza ds. Zapewnienia Informacji, nieformalnie znana jako IAAC, jest organizacją badawczą nonprofit zrzeszającą sektor publiczny, prywatny, akademicki i inne w Wielkiej Brytanii.

– ISO/IEC 27002:2023 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Kodeks postępowania w zakresie zarządzania bezpieczeństwem informacji" (*Information technology – Security techniques – Code of practice for information security management*);
– ISO 9001:2015 „Systemy zarządzania jakością – Wymagania" (*Quality management systems – Requirements*);
– ISO/IEC 27041:2015 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Wytyczne dotyczące zapewniania przydatności i adekwatności metod badania incydentów" (*Information technology – Security techniques – Guidelines on assuring suitability and adequacy of incident investigative methods*);
– ISO/IEC 27042:2015 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Wytyczne dotyczące analizy i interpretacji dowodów cyfrowych" (*Information technology – Security techniques – Guidelines for the analysis and interpretation of digital evidence*);
– ISO/IEC 27043:2015 „Technologia informatyczna – Techniki bezpieczeństwa – Zasady i procesy badania incydentów" (*Information technology – Security techniques – Incident investigation principles and processes*);
– ISO/IEC 30121:2015 „Inżynieria systemów i oprogramowania – Technologia informacyjna – Zarządzanie cyfrowymi ramami ryzyka kryminalistycznego" (*System and software engineering – Information technology – Governance of digital forensic risk framework*).

W normie **ISO/IEC 27037:2012** przedstawiono wytyczne dotyczące konkretnych działań związanych z postępowaniem z dowodami cyfrowymi, które obejmują ich identyfikację, gromadzenie, pozyskiwanie i zabezpieczanie. Zapewnia wytyczne dla osób fizycznych w odniesieniu do typowych sytuacji napotykanych w procesie obsługi dowodów cyfrowych i pomaga organizacjom w procedurach dyscyplinarnych oraz w ułatwianiu ich wymiany między jurysdykcjami. Norma ta jest częścią serii norm ISO/IEC 27000 dotyczących zarządzania bezpieczeństwem informacji i powinna być stosowana jako dodatek do norm ISO/IEC 27001 i ISO/IEC 27002 (dwie najważniejsze normy z serii ISO/IEC 27000), ponieważ zapewnia dodatkowe wytyczne dotyczące wdrażania wymagań kontrolnych w zakresie pozyskiwania dowodów elektronicznych[14].

Zgodnie ze standardem dowód cyfrowy jest zwykle regulowany trzema głównymi zasadami:

1) istotność: dowody cyfrowe potwierdzają lub obalają dany element sprawy i są istotne dla dochodzenia;
2) wiarygodność: dowód cyfrowy spełnia swoje zadanie, a wszystkie procesy stosowane przy jego przetwarzaniu powinny być powtarzalne i możliwe do skontrolowania;
3) wystarczalność: osoba udzielająca pierwszej pomocy ds. dowodów cyfrowych (DEFR – *digital evidence first responder*) powinna zgromadzić wystarczającą ilość dowodów do skutecznego dochodzenia i badania.

Ponadto wszystkie narzędzia, które mają być stosowane przez DEFR, powinny zostać poddane certyfikacji przed użyciem, a dowody atestacji powinny być dostępne w przypadku napotkania trudności związanych z techniką walidacji.

W ramach uwzględnienia całego procesu obsługi dowodów cyfrowych, niniejszy standard obejmuje również kwestie związane z personelem, rolami i obowiązkami, kompetencjami technicznymi i prawnymi, dokumentacją, formalnymi informacjami dotyczącymi

[14] ISO/IEC 27037:2012 – Information technology – Security techniques – Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence (dostęp: 28.12.2023 r.).

sprawy. Zawiera on również szczegółowe omówienie konkretnych przypadków identyfikacji, gromadzenia, pozyskiwania i zabezpieczania dowodów cyfrowych następujących urządzeń:

- cyfrowe nośniki danych stosowane w standardowych komputerach, takie jak dyski twarde, dyskietki, dyski optyczne i magnetooptyczne,
- urządzenia danych o podobnych funkcjach,
- telefony komórkowe, osobisty asystent cyfrowy (PDA), osobiste urządzenia elektroniczne (PED), karty pamięci,
- mobilne systemy nawigacji,
- kamery cyfrowe i kamery wideo (w tym CCTV[15]),
- standardowy komputer z połączeniami sieciowymi,
- sieci oparte na protokole TCP/IP i innych protokołach cyfrowych oraz
- urządzenia o podobnych funkcjach jak powyżej.

Międzynarodowe normy **ISO/IEC 27035-1:2023 i 27035-2:2023** przedstawiają podstawowe koncepcje, zasady i procesy kluczowych działań zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji, które zapewniają ustrukturyzowane podejście do przygotowania, wykrywania, raportowania, oceny i reagowania na incydenty oraz stosowania wyciągniętych wskazówek. Wytyczne opierają się na fazach „planowania i przygotowania" oraz „wyciągania wniosków" modelu faz zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji przedstawionego w normie ISO/IEC 27035-1:2023, 5.2 i 5.6[16].

Główne punkty fazy „planowania i przygotowania" obejmują:

- politykę zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji i zaangażowanie najwyższego kierownictwa;
- politykę bezpieczeństwa informacji, w tym dotyczące zarządzania ryzykiem, aktualizowane zarówno na poziomie organizacyjnym, jak i na poziomie systemów, usług i sieci;
- plan zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji;
- utworzenie zespołu ds. zarządzania incydentami (IMT);
- nawiązywanie relacji i powiązań z organizacjami wewnętrznymi i zewnętrznymi;
- wsparcie techniczne i inne (w tym wsparcie organizacyjne i operacyjne);
- szkolenia uświadamiające w zakresie zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji.

Faza „wyciągania wniosków" obejmuje:

- identyfikację obszarów wymagających poprawy;
- identyfikowanie i wprowadzanie niezbędnych ulepszeń;
- ocenę zespołu reagowania na incydenty (IRT).

Podane informacje mają charakter ogólny i można je zastosować do wszystkich organizacji, niezależnie od typu, wielkości i charakteru. Mogą mieć również zastosowanie do organizacji zewnętrznych świadczących usługi zarządzania incydentami związanymi z bezpieczeństwem informacji.

---

[15] CCTV – Closed-Circuit TeleVision – „telewizyjne systemy dozorowe" – jest to system przesyłu obrazu z kamer do wyznaczonego zestawu monitorów lub rejestratorów obrazu w ograniczonym obszarze w celu zwiększenia bezpieczeństwa tego obszaru. Obszarem takim może być pojedynczy budynek, np. bank, supermarket, szkoła, jak również zespoły budynków, takie jak lotniska, duże zakłady przemysłowe czy też całe miasta. Zob. https://camsat.com.pl/artykuly/co-to-jest-system-cctv/ (dostęp: 10.01.2024 r.).

[16] ISO/IEC 27035-1:2023 – Information technology – Information security incident management – Part 1: Principles and process (dostęp: 13.01.2024 r.).

ISO/IEC 27035-2:2023 – Information technology – Information security incident management – Part 2: Guidelines to plan and prepare for incident response (dostęp: 13.01.2024 r.).

ISO/IEC 17025:2017 to międzynarodowa norma dotycząca laboratoriów badawczych i kalibracyjnych. Określa wymagania dotyczące kompetencji, bezstronności i konsekwentnego działania laboratoriów, zapewniające dokładność i rzetelność wyników prowadzonych przez nie badań i wzorcowań. Norma ta jest niezbędna dla laboratoriów, ponieważ zwiększa wiarygodność prac badawczych i kalibracyjnych, wzmacniając zaufanie wśród klientów i organów regulacyjnych. Zgodność z normą ISO/IEC 17025 świadczy o zaangażowaniu laboratorium w jakość, biegłość techniczną i rygorystyczność naukową.

Norma ta:

- ustanawia światowy standard jakości i niezawodności laboratoriów;
- zwiększa pewność wyników testów i kalibracji, zarówno w kraju, jak i za granicą;
- ułatwia współpracę między laboratoriami i innymi organami, generując szerszą akceptację wyników;
- zmniejsza potrzebę ponownego testowania, oszczędzając czas i zasoby[17].

ISO/IEC 17020:2012 określa wymagania dotyczące kompetencji organów przeprowadzających inspekcje oraz bezstronności i spójności tych działań. Ma zastosowanie do organów kontrolnych typu A, B lub C w rozumieniu normy ISO/IEC 17020:2012 na każdym ich etapie przeglądu[18]. Ma za zadanie rozwijać współpracę między jednostkami inspekcyjnymi, wymianę wiedzy i doświadczeń oraz ujednolicać sposób przeprowadzania konroli[19].

ISO/IEC 27001:2022 to najbardziej znana na świecie norma dotycząca systemów zarządzania bezpieczeństwem informacji i definiuje ona wymagania, jakie muszą one spełniać. Zapewnia firmom dowolnej wielkości i ze wszystkich sektorów działalności wytyczne dotyczące ustanawiania, wdrażania, utrzymywania i ciągłego doskonalenia systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji. Zgodność z normą ISO/IEC 27001 oznacza, że organizacja lub firma wdrożyła system zarządzania ryzykiem związanym z bezpieczeństwem danych posiadanych lub przetwarzanych przez firmę oraz że system ten respektuje wszystkie najlepsze praktyki i zasady w niej zapisane. Norma ta jest o tyle ważna, ponieważ pomaga organizacjom stać się świadomymi ryzyka oraz proaktywnie identyfikować i eliminować słabe strony zarządzania cyberryzykiem oraz promuje całościowe podejście do bezpieczeństwa informacji[20].

ISO/IEC 27002:2023 zawiera wytyczne dla organizacji pragnących ustanowić, wdrożyć i ulepszyć System Zarządzania Bezpieczeństwem Informacji (ISMS) skupiający się na cyberbezpieczeństwie. Podczas gdy ISO/IEC 27001 określa wymagania dla systemów zarządzania bezpieczeństwem informacji, ISO/IEC 27002 oferuje najlepsze praktyki i cele kontroli związane z kluczowymi aspektami cyberbezpieczeństwa, w tym kontrolę dostępu, kryptografię, bezpieczeństwo zasobów ludzkich i reagowanie na incydenty. Norma służy jako praktyczny plan dla organizacji, których celem jest skuteczna ochrona zasobów informacyjnych przed zagrożeniami cybernetycznymi. Postępując zgodnie z wytycznymi normy ISO/IEC 27002, firmy mogą przyjąć proaktywne podejście do zarządzania ryzykiem cyberbezpieczeństwa i chronić krytyczne informacje przed nieupoważnionym dostępem i utratą[21].

---

[17] ISO – ISO/IEC 17025 – Testing and calibration laboratories (dostęp: 13.01.2024 r.).

[18] ISO/IEC 17020:2012 – Conformity assessment – Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection (dostęp: 13.01.2024 r.).

[19] Systemy Jakości dla inspektoratów – ISO 17020 – Malon Group (dostęp: 13.01.2024 r.).

[20] ISO/IEC 27001:2022 – Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements (dostęp: 13.01.2024 r.).

[21] ISO/IEC 27002:2022 – Information security, cybersecurity and privacy protection – Information security controls (dostęp: 13.01.2024 r.).

ISO 9001:2015 jest najczęściej stosowaną normą zarządzania jakością na świecie. Pomaga organizacjom dowolnej wielkości i każdej branży poprawić swoje wyniki i spełniać oczekiwania. Jej wymagania określają, w jaki sposób ustanowić, wdrożyć, utrzymywać i stale doskonalić system zarządzania jakością (QMS). Definiuje ona osiem jego zasad:

1) orientacja na klienta: podstawowy cel każdej organizacji to spełnianie aktualnych i przyszłych oczekiwań klientów; sukces można osiągnąć tylko poprzez ich zaufanie;
2) przywództwo: tylko odpowiednia strategia działań kierowniczych zapewni zaangażowanie pracowników w osiąganiu założonych celów;
3) zaangażowanie ludzi: skutecznie i efektywne zarządzanie organizacją jest możliwe tylko poprzez zaangażowanie ludzi na wszystkich poziomach, które można osiągnąć poprzez identyfikowanie i rozwój kompetencji, właściwe dobieranie personelu do danego stanowiska i analizowanie wszelkich pomysłów załogi;
4) podejście procesowe: wyniki osiągane są efektywniej, jeśli zarządzanie organizacją oparte jest na procesach. System Zarządzania Jakością powinien obejmować wszystkie procesy główne, pomocnicze i zewnętrzne, a organizacja powinna zarządzać tymi procesami;
5) ciągłe doskonalenie: powinno obejmować warunki wewnętrzne i zewnętrzne oraz identyfikować szanse i możliwości, jakie są przed organizacją;
6) decyzje oparte na dowodach: podejmowanie decyzji może być procesem złożonym i zawsze może nieść za sobą pewne wątpliwości, dlatego ważne jest, aby decyzje zapadały na podstawie niepodważalnych dowodów. Należy zrozumieć zależność przyczyny i skutku. Stan faktyczny, dowody i analizy danych prowadzą do większego obiektywizmu i pewności w podejmowaniu decyzji;
7) wzajemne korzyści w stosunkach z zainteresowanymi stronami: dla trwałego sukcesu organizacja powinna dbać o dobre relacje z zewnętrznymi zainteresowanymi stronami;
8) zrozumienie celów i wartości wspólnych, stabilny przepływ towarów i usług, identyfikacja priorytetów, zachęcanie do ulepszeń są bardzo ważne w stosunkach z zainteresowanymi stronami[22].

Wdrożenie ISO 9001 oznacza, że organizacja wprowadziła skuteczne procesy i odpowiednio przeszkolony personel, w celu dostarczania bezbłędnych produktów lub usług.

ISO/IEC 27041:2015 zawiera wytyczne dotyczące mechanizmów zapewniających skuteczność metod i procesów stosowanych w sprawach dotyczących incydentów związanych z bezpieczeństwem informacji. Obejmuje wskazanie co do sposobów wsparcia procesu zapewnienia bezpieczeństwa. Celem tej normy jest:

- zapewnienie wytycznych dotyczących wychwytywania i analizy wymagań funkcjonalnych i niefunkcjonalnych związanych z dochodzeniem w sprawie incydentu związanego z bezpieczeństwem informacji;
- podanie wytycznych dotyczących stosowania walidacji jako środka zapewnienia przydatności procesów objętych dochodzeniem;
- zapewnienie wytycznych dotyczących oceny wymaganych poziomów walidacji i dowodów wymaganych w procesie walidacji;
- wskazanie wytycznych dotyczących sposobu włączenia zewnętrznych testów i dokumentacji do procesu walidacji[23].

[22] 7 zasad zarządzania jakością, https://www.kaiso.pl/7-zasad-zarzadzania-jakoscia (dostęp: 13.01.2024 r.).

[23] ISO/IEC 27041:2015 – Information technology – Security techniques – Guidance on assuring suitability and adequacy of incident investigative method (dostęp: 13.01.2024 r.).

ISO/IEC 27042:2015[24] zawiera wskazówki dotyczące analizy i interpretacji dowodów cyfrowych w sposób uwzględniający kwestie ciągłości, ważności, odtwarzalności i powtarzalności. Składa się z najlepszych praktyk w zakresie wyboru, projektowania i wdrażania procesów analitycznych oraz rejestrowania wystarczających informacji, aby w razie potrzeby umożliwić poddanie takich procesów niezależnej kontroli. Obejmuje wytyczne dotyczące odpowiednich mechanizmów wykazywania biegłości i kompetencji zespołu dochodzeniowego.

Analiza i interpretacja dowodów cyfrowych może być złożonym procesem. W niektórych okolicznościach można zastosować kilka metod, a członkowie zespołu dochodzeniowego będą musieli uzasadnić wybór konkretnego procesu i wykazać, w jakim stopniu jest on równoważny z innym procesem stosowanym przez innych badaczy. W innych okolicznościach śledczy mogą być zmuszeni do opracowania nowych metod badania dowodów cyfrowych, które nie były wcześniej brane pod uwagę, i powinni być w stanie wykazać, że opracowana metoda „odpowiada zamierzonemu celowi".

ISO/IEC 27043:2015 zawiera wytyczne oparte na wyidealizowanych modelach dla typowych procesów badania incydentów w różnych scenariuszach badania incydentów z wykorzystaniem dowodów cyfrowych. Obejmuje to procesy od przygotowań przed incydentem po zamknięcie dochodzenia, a także wszelkie ogólne porady i zastrzeżenia dotyczące takich procesów. Wytyczne opisują procesy i zasady mające zastosowanie w różnego rodzaju dochodzeniach, w tym między innymi w przypadku nieautoryzowanego dostępu, uszkodzenia danych, awarii systemu lub korporacyjnych naruszeń bezpieczeństwa informacji, a także wszelkich innych dochodzeń cyfrowych.

Norma ta zapewnia ogólny przegląd wszystkich zasad i procesów badania incydentów, bez podawania szczegółowych informacji w ramach każdej z zasad i procesów badania objętych tą normą.

Norma **ISO/IEC 27043:2015** opisuje wytyczne mające zastosowanie w różnego rodzaju dochodzeniach, w tym między innymi w przypadku nieautoryzowanego dostępu, uszkodzenia danych, awarii systemu lub korporacyjnych naruszeń bezpieczeństwa informacji, a także wszelkich innych dochodzeń cyfrowych.

Norma ta zapewnia ogólny przegląd wszystkich zasad i procesów badania incydentów, bez podawania szczegółowych informacji w ramach każdej z zasad i procesów badania nią objętych.

4. Inne międzynarodowe standardy

Wśród innych międzynarodowych standardów i wytycznych w zakresie kryminalistyki cyfrowej wskazać można również:

1) międzynarodowe standardy ASTM[25]:
   – Standardowy przewodnik ASTM E2825-12 dotyczący cyfrowego przetwarzania obrazu w kryminalistyce (*Standard Guide for Forensic Digital Image Processing*),

[24] ISO/IEC 27042:2015 – Information technology – Security techniques – Guidelines for the analysis and interpretation of digital evidence (dostęp: 13.01.2024 r.).

[25] ASTM International to amerykańska jednostka normalizacyjna tworząca międzynarodowe standardy oparte na dobrowolnym konsensusie. Chociaż organ ten nazywa się „ASTM International", tworzone przez niego standardy bardziej przypominają regionalne standardy praktyki cyfrowej medycyny sądowej w Ameryce Północnej (zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych).

- ASTM E2916-19e1 Standardowa terminologia dotycząca badania dowodów cyfrowych i multimedialnych (*Standard Terminology for Digital and Multimedia Evidence Examination*),
- ASTM E3016-18 Standardowy przewodnik dotyczący ustalania zaufania do wyników kryminalistycznych dowodów cyfrowych i multimedialnych poprzez analizę ograniczania błędów (*Standard Guide for Establishing Confidence in Digital and Multimedia Evidence Forensic Results by Error Mitigation Analysis*);

2) przewodnik po najlepszych praktykach IETF (Internet Engineering Task Force): RFC 3227 Wytyczne dotyczące gromadzenia i archiwizacji dowodów (*Guidelines for Evidence Collection and Archiving*), 2002;
3) międzynarodowe przewodniki po najlepszych praktykach:
   - ILAC[26]-G19:2002 Wytyczne dla laboratoriów medycyny sądowej (*ILAC-G19:2002 'Guidelines for Forensic Science Laboratories*), 2002,
   - ILAC-G19:08/2014 Wytyczne dla laboratoriów medycyny sądowej (*Guidelines for Forensic Science Laboratories*), 2014,
   - IOCE (Międzynarodowa Organizacja ds. Dowodów Komputerowych) Wytyczne dotyczące najlepszych praktyk w zakresie badań kryminalistycznych technologii cyfrowej (*Guidelines for Best Practice in the Forensic Examination of Digital Technology*), 2002,
   - IOCE Standardy szkoleniowe oraz wiedza i umiejętności (*Training Standards and Knowledge Skills and Abilities*) 2002;
4) europejskie przewodniki po najlepszych praktykach:
   - ENFSI (Europejska Sieć Instytucji Kryminalistycznych) Wytyczne dotyczące najlepszych praktyk w zakresie badań kryminalistycznych technologii cyfrowej (*Guidelines for Best Practice in the Forensic Examination of Digital Technology*), wersja 6.0, 2009,
   - ENFSI Grupa robocza ENFSI ds. kryminalistycznej analizy mowy i dźwięku (FSA-AWG) Wytyczne dotyczące najlepszych praktyk w zakresie analizy ENF w kryminalistycznym uwierzytelnianiu dowodów cyfrowych (*Best Practice Guidelines for ENF Analysis in Forensic Authentication of Digital Evidence*), 2009.

Przewodnik ASTM E2825-12 zawiera wytyczne dotyczące cyfrowego przetwarzania obrazów kryminalistycznych do wykorzystania jako dowód w sądzie. Omówione w nim zostały kwestie dotyczące przetwarzania obrazu i powiązane z tym kwestie prawne dotyczące: poprawiania, przywracania i jego kompresji. Opisano w nim zalety, wady i potencjalne ograniczenia każdego głównego procesu. Przewodnik ten nie może oczywiście zastąpić wiedzy, umiejętności ani zdolności nabytych w drodze edukacji, szkoleń oraz doświadczenia i powinien być stosowany w połączeniu z profesjonalną oceną osób posiadających wyżej wymienione cechy dla danej dyscypliny. Obowiązkiem użytkownika tego przewodnika

[26] ILAC jest światowym stowarzyszeniem zajmującym się akredytacją laboratoriów, jednostek kontrolujących i badania biegłości dostawców i producentów materiałów odniesienia, których członkami są jednostki akredytujące i organizacje zainteresowanych stron na całym świecie. Jest reprezentatywną organizacją zajmującą się: rozwojem praktyk i procedur akredytacyjnych, promocją akredytacji jako narzędzia ułatwiającego handel, wspieraniem świadczenia usług lokalnych i krajowych, pomocą w opracowywaniu systemów akredytacji, uznanie kompetentnych laboratoriów badawczych (w tym medycznych) i wzorcujących, inspekcja organów, dostawców badań biegłości i producentów materiałów referencyjnych na całym świecie. ILAC aktywnie współpracuje z innymi właściwymi organizacjami międzynarodowymi w dążeniu do tych celów.

jest ustalenie odpowiednich praktyk w zakresie bezpieczeństwa, zdrowia i ochrony środowiska oraz określenie stosowalności ograniczeń regulacyjnych przed użyciem.

Kolejny przewodnik, ASTM E2916-19e1, obejmuje definicje ogólne i specyficzne dla danej dyscypliny, mające zastosowanie w całym spektrum analizy obrazu, kryminalistyki komputerowej, analizy wideo, kryminalistycznego dźwięku i identyfikacji twarzy. Zestawia on terminy i odpowiadające im definicje stosowane w badaniu dowodów cyfrowych i multimedialnych, obejmujących obszary kryminalistyki komputerowej, analizy obrazu, analizy wideo, kryminalistycznego dźwięku i identyfikacji twarzy.

Natomiast przewodnik ASTM E3016-18 przedstawia proces rozpoznawania i opisywania zarówno błędów, jak i ograniczeń związanych z narzędziami, technikami i metodami stosowanymi w kryminalistyce dowodów cyfrowych i multimedialnych. Osiąga się to poprzez wyjaśnienie, w jaki sposób należy uwzględniać pojęcie błędu i jego współczynników w kryminalistyce. Ważne jest, aby praktycy i zainteresowane strony zrozumieli, że techniki i narzędzia kryminalistyczne związane z dowodami cyfrowymi i multimedialnymi mają ograniczenia, które różnią się od błędów i ich wskaźników w innych dyscyplinach kryminalistycznych.

5. Standardy i przewodniki najlepszych praktyk w Stanach Zjednoczonych Ameryki

Istnieje wiele amerykańskich standardów i przewodników po najlepszych praktykach. Niektóre z nich są wydawane przez Federal Information Processing Standard (FIPS), których standardy ustalane są przez National Institute of Standards and Technology[27] (NIST).

Federalne standardy przetwarzania informacji (FIPS) to zbiór publicznie ogłoszonych standardów opracowanych przez Narodowy Instytut Standardów i Technologii (NIST) do stosowania w systemach komputerowych niemilitarnych agencji rządowych i wykonawców Stanów Zjednoczonych[28]. Ustanawiają one wymagania zapewniające bezpieczeństwo i interoperacyjność komputera i są przeznaczone do stosowania w przypadkach, w których nie istnieją jeszcze odpowiednie standardy branżowe. Wiele specyfikacji FIPS to zmodyfikowane wersje norm używanych przez społeczności techniczne, takie jak Amerykański Narodowy Instytut Normalizacyjny (ANSI), Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE) oraz Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO).

Wiele innych przewodników po najlepszych praktykach w zakresie kryminalistyki cyfrowej opracowano przez Naukową Grupę Roboczą ds. Dowodów Cyfrowych (Scientific Working Group on Digital Evidence – SWGDE), utworzoną przez Federalne Laboratorium Kryminalne w 1985 r., oraz Naukową Grupę Roboczą ds. Technologii Obrazowania (Scientific Working Group on Imaging Technology – SWGIT) utworzoną przez Federalne Biuro Śledcze Stanów Zjednoczonych (FBI) w 1997 r. Obie SWG sporządzają dokumenty dotyczące standardowych procedur dotyczących wielu aspektów postępowania z dowodami cyfrowymi i multimedialnymi.

Również amerykański Narodowy Instytut Standardów i Technologii (National Institute of Standard and Technology) podejmuje wiele projektów dotyczących informatyki śledczej

[27] Narodowy Instytut Standardów i Technologii (NIST) został założony w 1901 roku i obecnie stanowi część Departamentu Handlu Stanów Zjednoczonych. NIST jest jednym z najstarszych laboratoriów nauk fizycznych w kraju. Zajmuje się on technologią, pomiarami oraz standaryzacją.

[28] FIPS General Information, NIST (dostęp: 13.01.2024 r.).

(np. program testowania narzędzi informatyki śledczej – *Computer Forensics Tool Testing Program* (CFTT) ma za zadanie testować urządzenia i oprogramowania wspierające badanie śladów cyfrowych oraz udostępnia zasoby narzędzi i dokumentacji wspierającej prace informatyków śledczych, w szczególności sygnatury plików wchodzących w skład popularnych systemów operacyjnych oprogramowania (biblioteki *National Software Reference Library* NSRL oraz CFReDS – *Computer Forensic Reference Data Sets for Digital Evidence*)[29].

Są wreszcie przewodniki po najlepszych praktykach opracowane przez amerykańskie organy ścigania, takie jak Departament Sprawiedliwości (DOJ) i jego agencja ds. badań, rozwoju i oceny, Narodowy Instytut Sprawiedliwości (NIJ).

Amerykańskie standardy i przewodniki wymieniono poniżej:

1) publikacje specjalne NIST (SP), raporty międzyagencyjne (IR) i inne publikacje:
   - NIST SP 800-101 wersja 1 „Wytyczne dotyczące kryminalistyki urządzeń mobilnych"[30],
   - NIST SP 800-72 „Wytyczne dotyczące kryminalistyki PDA"[31],
   - NIST SP 800-86 „Przewodnik po integracji technik kryminalistycznych z reagowaniem na incydenty"[32],
   - NISTIR 7387 „Narzędzia kryminalistyczne dotyczące telefonów komórkowych: aktualizacja przeglądu i analizy"[33],
   - NISTIR 7617 „Mobilne kryminalistyczne materiały referencyjne: metodologia i uściślenie"[34],
   - NIST „Specyfikacja narzędzia dla smartfonów" wersja 1.1 (NIST 2010)[35];
2) przewodniki najlepszych praktyk SWGDE i SWGIT:
   - SWGDE/SWGIT „Zalecane wytyczne dotyczące opracowywania standardowych procedur operacyjnych", wersja 1.0 (2004),
   - SWGDE/SWGIT „Wytyczne i zalecenia dotyczące szkoleń w zakresie dowodów cyfrowych i multimedialnych", wersja 2.0 (2010),
   - SWGDE/SWGIT „Wytyczne dotyczące programu testów biegłości", wersja 1.1 (2006),
   - SWGDE „Modelowe standardowe procedury operacyjne dla informatyki śledczej", wersja 3.0 (2012d),
   - SWGDE „Podręcznik zapewniania jakości modelu dla laboratoriów dowodów cyfrowych", wersja 3.0 (2012c),

---

[29] FIPS General Information, NIST (dostęp: 13.01.2024 r.).

[30] R. Ayers, S. Brothers, W. Jansen, *Guidelines on Mobile Device Forensics*, National Institute of Standards and Technology, 2014. Pobrane z: Guidelines on Mobile Device Forensics (nist.gov).

[31] R. Ayers, W. Jansen, *Guidelines on PDA Forensics.Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*, National Institute of Standards and Technology, 2004. Pobrane z: NIST SP 800–72, Guidelines on PDA Forensics, Recommendations of the National Institute of Standards and Technology.

[32] K. Kent, S. Chevalier, T. Grance, H. Dang, *Guide to Integrating Forensic Techniques into Incident Response. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*, National Institute of Standards and Technology, 2006. Pobrane z: NIST SP 800–86, Guide to Integrating Forensic Techniques into Incident Response.

[33] R. Ayers, W. Jansen, L. Moenner, A. Delaitre, *Cell Phone Forensic Tools: An Overview and Analysis Update*, National Institute of Standards and Technology, 2007. Pobrane z: NISTIR 7387, Cell Phone Forensic Tools: An Overview and Analysis Update.

[34] W. Jansen, A. Delaitre, *Mobile Forensic Reference Materials: A Methodology and Reification*, National Institute of Standards and Technology, 2009. Pobrane z: NISTIR 7617, Mobile Forensic Reference Materials: a Methodology and Reification.

[35] Microsoft Word – Mobile_Device_Tool_Specification.doc (nist.gov).

- SWGDE „Minimalne wymagania dotyczące zapewnienia jakości w przetwarzaniu dowodów cyfrowych i multimedialnych" Wersja 1.0 (2010),
- SWGDE „Wyniki dowodów cyfrowych" (2006),
- SWGDE „Skoncentrowane gromadzenie i badanie dowodów cyfrowych" Wersja 1.0 (2014h),
- SWGDE „Ustanawianie zaufania do cyfrowych wyników kryminalistycznych poprzez analizę ograniczania błędów", wersja 1.5 (2015),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie informatyki śledczej", wersja 3.1 (2014a),
- SWGDE „Zalecane wytyczne dotyczące testów walidacyjnych" wersja 2.0 (2014j),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie kryminalistyki telefonów komórkowych", wersja 2.0 (2014e),
- SWGDE „Podstawowe kompetencje w zakresie kryminalistyki telefonów komórkowych", wersja 1.0 (2013b),
- SWGDE „Najlepsze praktyki dotyczące postępowania z uszkodzonymi dyskami twardymi", wersja 1.0 (2014d),
- SWGDE „Przechwytywanie systemów na żywo" Wersja 2.0 (2014f),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie dźwięku kryminalistycznego", wersja 2.0 (2014c),
- SWGDE „Podstawowe kompetencje dla Forensic Audio" Wersja 1.0 (2011),
- SWGDE „Uwagi techniczne dotyczące systemu Mac OS X", wersja 1.1 (2014i),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie badań nawigacji pojazdów i systemów informacyjno-rozrywkowych", wersja 1.0 (2013a),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie badań przenośnych urządzeń GPS", wersja 1.0 (2012b),
- SWGDE „Technologie peer to peer" (2008),
- SWGDE „Najlepsze praktyki w zakresie badania czytników kart magnetycznych", wersja 1.0 (2014b),
- SWGDE „UEFI i jego wpływ na cyfrowe obrazowanie kryminalistyczne" wersja 1.0 (2014k),
- SWGDE „Dokument do dyskusji na temat częstotliwości sieci elektrycznej", wersja 1.2 (2014g),
- Dokument SWGIT, sekcja 1 „Przegląd SWGIT i wykorzystanie technologii obrazowania w systemie wymiaru sprawiedliwości w sprawach karnych", wersja 3.3 (2010e),
- Dokument SWGIT, sekcja 4 „Zalecenia i wytyczne dotyczące stosowania systemów bezpieczeństwa telewizji przemysłowej w instytucjach komercyjnych", wersja 3.0 (2012f),
- Dokument SWGIT, sekcja 5 „Wytyczne dotyczące przetwarzania obrazu", wersja 2.1 (2010d),
- Dokument SWGIT, sekcja 6 „Wytyczne i zalecenia dotyczące szkoleń. Technologie obrazowania w systemie wymiaru sprawiedliwości w sprawach karnych, wersja 1.3 (2010c),
- Dokument SWGIT, sekcja 7 „Najlepsze praktyki w zakresie kryminalistycznej analizy wideo", wersja 1.0 (2009),
- Dokument SWGIT, sekcja 11 „Najlepsze praktyki w zakresie dokumentowania ulepszania obrazu", wersja 1.3 (2010b),

- Dokument SWGIT, sekcja 12 „Najlepsze praktyki w zakresie analizy obrazu kryminalistycznego", wersja 1.7 (2012b),
- Dokument SWGIT, sekcja 13 „Najlepsze praktyki dotyczące zachowania integralności obrazów cyfrowych i cyfrowego wideo", wersja 1.1 (2012c),
- Dokument SWGIT, sekcja 14 „Najlepsze praktyki w zakresie uwierzytelniania obrazu", wersja 1.1 (2013b),
- Dokument SWGIT, sekcja 15 „Najlepsze praktyki w zakresie archiwizacji plików cyfrowych i Dowody multimedialne (DME) w systemie wymiaru sprawiedliwości w sprawach karnych, wersja 1.1 (2012a),
- Dokument SWGIT, sekcja 16 „Najlepsze praktyki w zakresie porównań fotografii kryminalistycznej", wersja 1.1 (2013a),
- Dokument SWGIT, sekcja 17 „Zagadnienia dotyczące technologii obrazowania cyfrowego dla sądów", wersja 2.2 (2012d),
- Dokument SWGIT, sekcja 18 „Najlepsze praktyki w zakresie automatycznego przetwarzania obrazu", wersja 1.0 (2010a),
- Dokument SWGIT, sekcja 19 „Zagadnienia związane z kompresją obrazu cyfrowego i formatami plików", wersja 1.1 (2011),
- Dokument SWGIT, sekcja 20 „Zalecenia i wytyczne dotyczące filmowania miejsc zbrodni/incydentów krytycznych", wersja 1.0 (2012e),
- Dokument SWGIT, sekcja 23 „Najlepsze praktyki dotyczące analizy cyfrowych rejestratorów wideo", wersja 1.0 (2013c),
- Dokument SWGIT, sekcja 24 „Najlepsze praktyki w zakresie odzyskiwania cyfrowego wideo", wersja 1.0 (2013d);

3) przewodniki po najlepszych praktykach redagowane lub publikowane przez amerykańskie organy ścigania (głównie przez Ministerstwo Sprawiedliwości – Department of Justice – dalej: DOJ i Narodowy Instytut Spawiedliwości – National Institute of Justice – dalej: NIJ):
   - Przeszukiwanie i zajmowanie komputerów oraz uzyskiwanie dowodów elektronicznych w dochodzeniach karnych, wydanie 3 (Sekcja Departamentu Sprawiedliwości Stanów Zjednoczonych ds. przestępczości komputerowej i własności intelektualnej, 2009)[36],
   - „Śledcze zastosowania technologii: urządzenia, narzędzia i techniki" (US NIJ 2007)[37],
   - „Dochodzenia dotyczące Internetu i sieci komputerowych" (US NIJ 2007)[38],
   - „Badanie kryminalistyczne dowodów cyfrowych: przewodnik dla organów ścigania" (USA NIJ 2004)[39],
   - „Dowód cyfrowy na sali sądowej: przewodnik dla organów ścigania (US NIJ 2007a)[40],
   - „Dochodzenie na miejscu przestępstwa elektronicznego: przewodnik dla osób udzielających pierwszej pomocy", wydanie drugie (US NIJ 2008)[41],

[36] Electronicevidencemanual2009.pdf (publicintelligence.net).
[37] Investigative Uses of Technology: Devices, Tools, and Techniques (ojp.gov).
[38] Investigations Involving the Internet and Computer Networks (ojp.gov).
[39] Investigative Uses of Technology: Devices, Tools, and Techniques (ojp.gov).
[40] Forensic Examination of Digital Evidence: A Guide for Law Enforcement (ojp.gov).
[41] Electronic Crime Scene Investigation: A Guide for First Responders, Second Edition (ojp.gov).

– „Dochodzenie na miejscu przestępstwa elektronicznego: informacje na miejscu zdarzenia dla osób udzielających pierwszej pomocy" (US NIJ 2009)[42],
– „Przewodnik po materiałach dowodowych cyfrowych" wersja 1.1 (FBI USA 2007)[43],
– „Dochodzenie i wykrywanie przy użyciu komputera w sprawach karnych: przewodnik dla sędziów pokoju w Stanach Zjednoczonych" (Federalne Centrum Sądownicze Stanów Zjednoczonych 2003)[44],
– „Najlepsze praktyki w zakresie zajmowania dowodów elektronicznych: kieszonkowy przewodnik dla osób udzielających pierwszej pomocy", wersja 4.0 (Tajne służby Stanów Zjednoczonych, Departament Bezpieczeństwa Wewnętrznego Stanów Zjednoczonych 2015)[45].

6. Standardy i przewodniki najlepszych praktyk w Wielkiej Brytanii

W Wielkiej Brytanii istnieje norma krajowa BS 10008:2008 „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna informacji elektronicznych – Specyfikacja" (BSI 2008a) (*Evidential weight and legal admissibility of electronic information – Specification*) oraz szereg wytycznych dotyczących wdrażania tej normy, które publikowane są przez wszystkie British Standard Institute (BSI):

– BIP 0008-1:2008 „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna informacji przechowywanych w formie elektronicznej. Kodeks postępowania dotyczący wdrożenia BS 10008" (BSI 2008c) (*Evidential weight and legal admissibility of information stored electronically. Code of Practice for the implementation of* BS 10008),
– BIP 0008-2:2008 „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna informacji przekazywanych drogą elektroniczną. Kodeks postępowania dotyczący wdrożenia BS 10008"(BSI 2008d) (*Evidential weight and legal admissibility of information transferred electronically. Code of practice for the implementation of BS 10008*),
– BIP 0008-3:2008 „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna powiązania tożsamości elektronicznej z dokumentami. Kodeks postępowania dotyczący wdrożenia BS 10008" (BSI2008e) *(Evidential weight and legal admissibility of linking electronic identity to documents. Code of practice for the implementation of BS 10008*),
– BIP 0009:2008 „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna informacji elektronicznej. Skoroszyt zgodności do stosowania z BS 10008" (BSI 2008b) (*Evidential Weight and Legal Admissibility of Electronic Information. Compliance Workbook for Use with BS 10008*).

Norma **BS 10008:2008** „Waga dowodowa i dopuszczalność prawna informacji elektronicznej – Specyfikacja" obejmuje wymagania dotyczące wdrażania i działania elektronicznych systemów zarządzania informacją, w tym przechowywania i przekazywania danych w odniesieniu do wykorzystania ich jako potencjalnego dowodu cyfrowego. Koncentruje się ona na „potencjalnych" dowodach, w przeciwieństwie do innych norm ISO/IEC, któ-

[42] Electronic Crime Scene Investigation: An On-the-Scene Reference for First Responders (ojp.gov).
[43] 2007_FBI_Digital-Evidence-Field-Guide-v1.1.pdf (cyberwar.nl).
[44] K.J. Withers, *Federal Judicial Center, Computer-Based Investigation and Discovery in Criminal Cases: A Guide for United States Magistrate Judges*, Washington 2003. Pobrane z: Computer-Based Investigation and Discovery in Criminatl Cases (apache.org).
[45] Best Practices For Seizing Electronic Evidence – Version 4.2 – 2015 (cwagweb.org).

re zwykle skupiają się na materiałach cyfrowych już oznaczonych jako „dowody". Norma stwierdza, że objęte wymagania mają charakter ogólny i mogą być stosowane przez dowolny rodzaj organizacji, niezależnie od wielkości i charakteru prowadzonej działalności, a także mogą być stosowane do wszelkiego rodzaju informacji elektronicznych.

Zatem informacje zawarte w tej normie są bardziej ogólne w porównaniu z innymi normami ISO/IEC.

Norma ta obejmuje zakres trzech kodeksów postępowania BIP 0008 dotyczących tego samego tematu, które są publikowane przez Grupę BSI od lat 90. XX w. Są to BIP 0008-1, BIP 0008-2 i BIP0008-3. Dotyczą one wagi dowodowej i dopuszczalności prawnej informacji przechowywanych w formie elektronicznej, przekazywanych drogą elektroniczną oraz powiązania tożsamości elektronicznej z dokumentami.

Kodeks praktyki **BIP 0008-1: 2008** wyjaśnia aplikację i działania systemów zarządzania informacjami, które przechowują informacje elektronicznie za pośrednictwem dowolnej pamięci masowej i przy użyciu dowolnego rodzaju plików danych, w których legalna dopuszczalność i wymagania dotyczące wagi dowodowej obejmują autentyczność, integralność i dostępność. BIP 0008-1 dotyczy również cech procesów zarządzania informacjami, które wpływają na wykorzystanie informacji w regularnych operacjach biznesowych, w których prawna dopuszczalność nie stanowi problemu.

Kodeks praktyki **BIP 0008-2: 2008** wyjaśnia metody i procedury przekazywania informacji między systemami komputerowymi, w których poufność, integralność i uwierzytelnianie są wymagane przez prawną dopuszczalność i wagę dowodową wysłanych i/lub otrzymanych dokumentów. Dzieje się tak, zwłaszcza gdy nastąpi proces transferu między organizacjami. Kodeks jest stosowany do dowolnego rodzaju plików komputerowych zawierających wszelkiego rodzaju dane, od tekstu i obrazów po wideo i oprogramowanie. Media transmisyjne mogą być sieciami połączonymi przez obwody, obwody telefoniczne, technologie kablowe, radiowe lub satelitarne lub inną formą sieci transmisji.

Kodeks praktyki **BIP 0008-3: 2008** wyjaśnia metody i procesy związane z czterema zasadami uwierzytelniania, a mianowicie weryfikacji tożsamości elektronicznej, sygnatury elektronicznej, elektronicznego prawa autorskiego i łączenie tożsamości elektronicznej i/lub podpisu elektronicznego.

Jest to zwłaszcza przydatne, gdy tożsamość nadawcy wymaga udowodnienia w tożsamych sprawach. Ponadto kodeks zawiera wytyczne dotyczące podpisów cyfrowych i elektronicznych systemów ochrony praw autorskich.

Natomiast **BIP 0009: 2008** to deklaracja zgodności z BS 10008: 2008, która pomaga w ocenie systemu zarządzania informacjami i zawiera m.in. wskazówki w zakresie tych prawidłowości.

Istnieje również wiele przewodników po najlepszych praktykach opracowanych przez organy ścigania, w tym ACPO (Stowarzyszenie Głównych Funkcjonariuszy Policji Anglii, Walii i Irlandii Północnej), NPIA (Krajowa Agencja Doskonalenia Policji, rozwiązana w 2012 r.), HOSDB (Oddział Rozwoju Naukowego Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, obecnie znany jako CAST – Centrum Nauk Stosowanych i Technologii) oraz Organ regulacyjny ds. kryminalistyki (FSR).

Wśród nich wymienić można:

1) przewodniki po najlepszych praktykach w zakresie kryminalistyki cyfrowej lub dowodów elektronicznych:

– „Przewodnik dobrych praktyk ACPO w zakresie dowodów cyfrowych", 2012 (*ACPO Good Practice Guide for Digital Evidence*)[46],
– „Przewodnik dobrych praktyk ACPO dla kierowników dochodzeń w sprawie e-przestępstw", wersja 0.1.4 (*CPO Good Practice Guide for Managers of e-Crime investigation*)[47],
– „Kodeks praktyki i postępowania dla dostawców nauk kryminalistycznych i praktyków w systemie wymiaru sprawiedliwości w sprawach karnych", 2012, wydawany przez Regulatora Nauk Kryminalistycznych (*Forensic Science Regulator* – FSR);

2) przewodniki po najlepszych praktykach w zakresie postępowania z dowodami multimedialnymi:
– „Praktyczne porady dotyczące wykorzystania obrazów cyfrowych przez policję"[48], 2007 (UK ACPO i NPIA 2007) (*Practice Advice on Police Use of Digital Images*),
– „Przechowywanie, odtwarzanie i utylizacja cyfrowych obrazów dowodowych"[49] (UK HOSDB 2007) (*Storage, Replay and Disposal of Digital Evidential Images*),
– „Procedury obrazowania cyfrowego"[50],
– „Odzyskiwanie dowodów wideo i tworzenie kopii roboczych z cyfrowych systemów CCTV"[51],
– „Praktyczne porady dotyczące stosowania telewizji przemysłowej w dochodzeniach kryminalnych[52]„ (UK ACPO i NPIA 2011),

Oprócz powyższego Rada Doradcza ds. Zapewnienia Informacji (Information Assurance Advisory Council – IAAC), organizacja nonprofit z siedzibą w Wielkiej Brytanii, od 2005 r. publikuje również kompleksowy przewodnik na temat dowodów cyfrowych[53] „Obrazowanie cyfrowe i procedura multimedialna".

[46] Microsoft Word – Revised Good Practice Guide for Digital Evidence_Vers 5_Oct 2011 (digital-detective.net) (dostęp 14.01.2024 r.).

[47] https://www.digital-detective.net/digital-forensics-documents/ACPO_Good_Practice_and_Advice_for_Manager_of_e-Crime-Investigation.pdf (dostęp 14.01.2024 r.).

[48] UK ACPO and NPIA 2007 Practice advice on police use of digital images, http://www.acpo.police. uk/documents/crime/2011/20111014%20CBA%20practice_advice_police_use_digital_images_ 18x01x071.pdf (dostęp 14.01.2024 r.).

[49] UK HOSDB 2007 Storage, replay and disposal of digital evidential images, Publication No. 53/07, Version 1.0, in association with ACPO and NPIA, http://library.college.police.uk/docs/APPref/ storage-replay-and--disposal.pdf (dostęp 14.01.2024 r.).

[50] N. Cohen, K. MacLennan-Brown, *Digital imaging procedures*, UK HOSDB Publication No. 58/07, Version 2.1, in association with ACPO, Pobrane z: http://tna.europarchive.org/20100413151426/http:/ scienceandresearch.homeoffice.gov.uk/hosdb/publications/cctv-publications/DIP_2.1_16-Apr08_v2.3_%28Web%2947aa.html?view=Standard&pubID=555512 (dostęp: 14.01.2024 r.).

[51] N. Cohen, K. MacLennan-Brown, *Retrieval of video evidence and production of working copies from digital CCTV systems*, UK HOSDB Publication No. 66/08, 2008, Version 2.0, in association with ACPO, Pobrane z: http://tna.europarchive.org/20100413151426/http:/scienceandresearch.homeoffice.gov.uk/hosdb/publications/cctv-publications/66-08_Retrieval_of_Video_Ev12835.pdf?view=Binary (dostęp: 14.01.2024 r.).

[52] UK ACPO and NPIA 2011 Practice advice on the use of CCTV in criminal investigtions, http://www.acpo.police.uk/documents/crime/2011/20110818%20CBA%20CCTV_Final_Locked.pdf (dostęp 14.01.2024 r.).

[53] P. Sommer, *Directors and corporate advisors' guide to digital investigations and evidence*, 1st edition, published by Information Assurance Advisory Council (IAAC), 2005. Pobrane z: http://www.iaac.org.uk/media/1146/ evidence-of-cyber-crime-v12-rev.pdf (dostęp: 16.12.2023 r.). K. Cohen, B. MacLennan, *Digital Imaging and Multimedia Procedure v. 3.0, 2020*. Pobrane z: DIMP_v3.0.pdf (publishing.service.gov.uk).