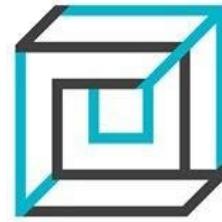


Państwowa Wyższa Szkoła
Filmowa, Telewizyjna i Teatralna,
im. Leona Schillera w Łodzi



Wydział Organizacji Sztuki Filmowej

Łukasz Linda

nr albumu: 9662

Optymalizacja przepływu pracy w postprodukcji filmowo-reklamowej

Praca licencjacka napisana pod kierunkiem:

dr. Piotra Furmankiewicza

Łódź 2025

SPIS TREŚCI

Wstęp	3
1. Wprowadzenie	4
1.1 Historia efektów specjalnych	4
1.2 Proces postprodukcji	5
1.3 Konkurencja na rynku pracy	8
1.4 Proces Digital Intermediate	9
2. Efektywność pracy z wybranymi kodekami oraz infrastrukturą danych	12
2.1 Budowa plików wideo	13
2.2 Porównanie kodeków	17
2.2.1 Test wydajności	18
2.2.2 Wizualne porównanie kodeków o niskim stopniu stratności	24
2.2.3 Test rozmiaru	25
2.2.4 Podsumowanie	26
2.3 Infrastruktura danych a wydajność przesyłu	27
3. Sztuczna inteligencja (ang. Artificial Intelligence)	28
3.1 Dynamika zmian	30
3.1.1 Rynek pracy	31
3.1.2 Wzrost produktywności	33
3.1.3 Innowacje oraz wyzwania	35
3.2 Optymalizacje procesów	36
4. Względna ocena wpływu analizowanych zagadnień na aspekty produkcyjne	39
4.1 Pytania	39
4.2 Wnioski	50
Podsumowanie	52
Bibliografia	54

Wstęp

Celem niniejszej pracy licencjackiej jest analiza i doskonalenie procesów optymalizacji pracy w postprodukcji filmowo-reklamowej, ze szczególnym uwzględnieniem doboru kodeków, macierzy dyskowych oraz zastosowania sztucznej inteligencji (AI). Badanie koncentruje się na identyfikacji rozwiązań minimalizujących czas i koszty produkcji przy zachowaniu wysokiej jakości wizualnej. Metodologia obejmuje analizę literatury, testy empiryczne wydajności kodeków (ProRes 4444 XQ, DNxHR 444, DPX) z wykorzystaniem benchmarków PugetBench oraz własne eksperymenty w środowisku After Effects, a także porównanie macierzy dyskowych pod kątem szybkości transferu danych. Kluczowym elementem badania są wywiady z supervisorami VFX, które pozwoliły zweryfikować praktyczne aspekty teoretycznych założeń. Wyniki wskazują na przewagę ProRes 4444 XQ w efektywności i spójności wizualnej, znaczące oszczędności przestrzeni dyskowej dzięki kompresji oraz potencjał AI w automatyzacji zadań, przy jednoczesnych ograniczeniach związanych z kontrolą i powtarzalnością. Praca określi znaczenie standaryzacji procesów i komunikacji między działami dla skutecznej optymalizacji workflow.

1. Wprowadzenie

1.1 Historia efektów specjalnych

Pierwsze filmy fabularne realizowane pod koniec XIX wieku miały charakter statycznych dramatów inscenizowanych „w jednym ujęciu”. Oznaczało to, że nie stosowano jeszcze montażu, a kamera pozostawała całkowicie nieruchoma przez cały czas trwania nagrania. Pomimo tej ograniczonej formy, to właśnie w jednym z takich wczesnych filmów zrealizowano pierwszy znany w historii efekt specjalny.

28 sierpnia 1895 roku operator Alfred Clarke zarejestrował w studiu Edisona w stanie New Jersey inscenizację egzekucji Marii Stuart, królowej Szkotów. Aby stworzyć realistyczną iluzję, Clarke zastosował prostą, ale przełomową technikę manipulacji obrazem. Najpierw nagrano aktorkę klęczącą przed katem, z uniesionym toporem. W momencie kulminacyjnym kamera została zatrzymana, aktorka opuściła plan zdjęciowy, a jej miejsce zajęła realistyczna kukła. Po wznowieniu nagrania topór opadł, co na ekranie dawało wrażenie, że głowa królowej została ścięta¹.

Rys. 1 Kadr z filmu „The Execution of Mary Stuart”.



Źródło: The Execution of Mary Stuart, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/The_Execution_of_Mary_Stuart [dostęp: 4 kwietnia 2025].

Użyta technika polegająca na zatrzymywaniu i wznowianiu nagrania w celu dokonania zmian w kadrze, stała się podstawą dla rozwoju efektów specjalnych w kinie. Przez kolejne dziesięciolecia – z czasem udoskonalana – była szeroko wykorzystywana w produkcji

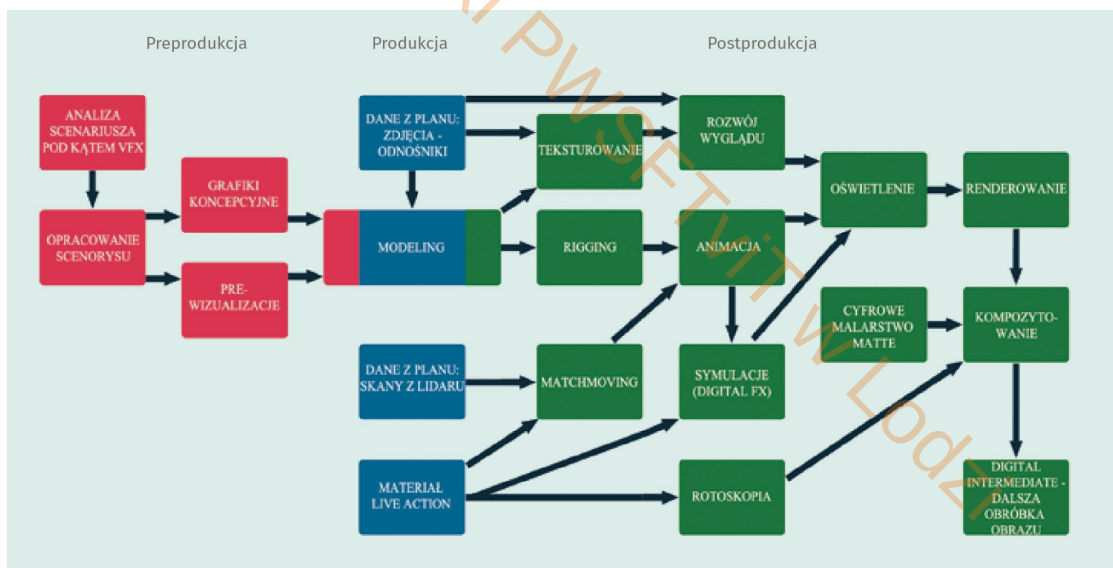
¹ R. Rickitt, *Special Effects The History And Technique*, Billboard Books, s.l. 2000, s. 10.

filmowej, stanowiąc fundament późniejszych, bardziej zaawansowanych rozwiązań w dziedzinie trików wizualnych.

Za prekursora efektów specjalnych uznawany jest jednak Georges Méliès, który zapoczątkował techniki, które przez większą część XX wieku stanowiły fundament efektów specjalnych w przemyśle filmowym. Początki kina cechowały się nagraniami z kamer ukazujących różne widoki i zastane sytuacje, tak też prezentowała się jego początkowa twórczość. Podczas rejestracji jednej z takich produkcji w Paryżu kamera Méliès'a zacięła się, co doprowadziło do powstania efektu „stop-action” i zainspirowało Georges’a do eksperymentowania z efektami takimi, jak: zatrzymanie akcji (stop-action), podwójna ekspozycja, szybki i wolny ruch (uzyskiwane poprzez zmianę prędkości przesuwu taśmy przez kamerę podczas nagrywania), przenikanie oraz triki perspektywiczne². Jego filmy stawały się coraz bardziej złożone i widowiskowe.

1.2 Proces postprodukcji

Rys. 2 Uproszczony schemat etapów powstawania cyfrowych efektów wizualnych.



Źródło: K. Kalbarczyk, *Artyści, technicy, magicy. Cyfrowe efekty wizualne*, „Ekrany 3-4(49-50)/2019”, s. 112.

Wyrażenie postprodukcja w słowniku języka polskiego, wydawanego przez Polskie Wydawnictwo Naukowe jest zdefiniowane, jako zespół czynności następujących po zakończeniu zdjęć, mający na celu przygotowanie wersji emisyjnej programu telewizyjnego

² R. Rickitt, *Special Effects The History And Technique*, op. cit., s. 12.

lub kopii ekranowej filmu kinowego³. Należy zauważyć, że nie jest to definicja wyczerpująca. Zgodnie z praktyką stosowaną w branży, studio postprodukcyjne uczestniczy w procesie tworzenia finalnego dzieła już od etapu preprodukcji, ponadto termin postprodukcja jest powszechnie używany nie tylko w odniesieniu do programów telewizyjnych czy kopii ekranowej filmu kinowego. Z powodzeniem stwierdzenie to stosuje się w branży reklamowej i nowych mediach takich jak YouTube przy realizacji projektów wizualnych dla klientów indywidualnych oraz biznesowych.

W magazynie *Ekrany* proces ten został bardzo czytelnie zwizualizowany w artykule Kamila Kalbarczyka, gdzie wyraźnie zaznaczono, że ekipa odpowiedzialna za efekty wizualne jest obecna już na etapie analizy scenariusza podczas preprodukcji. Bierze wtedy udział w tworzeniu scenorysu oraz grafik koncepcyjnych, pomagając zmaterializować zamierzenia twórców i zaplanować odpowiednio pracę na planie. Na etapie produkcji nad całym procesem czuwa wydelegowany przez studio postprodukcyjne supervisor (*ang. supervisor* — przy wysokobudżetowych produkcjach Hollywood zakontraktowany „z zewnątrz” do danego projektu, często na wiele lat)⁴, czyli osoba posiadająca szeroką wiedzę z wielu dziedzin efektów wizualnych oraz znakomicie znająca przepływ pracy (*ang. workflow*), pomiędzy poszczególnymi działami oraz artystami. Funkcjonowanie polskich domów postprodukcji reklamowej opiera się na współpracy różnych obszarów specjalistycznych, takich jak:

1. produkcja,
2. maszynownia,
3. montaż,
4. korekcja barwna,
5. tworzenie grafiki 3D,
6. kompozytowanie obrazu (*ang. online*).

³ <https://sjp.pwn.pl/slowniki/postprodukcja> [dostęp: 31-12-2024]

⁴ Kalbarczyk, *Artyści, technicy, magicy. Cyfrowe efekty wizualne*, „Ekrany 3-4(49-50)/2019”, s. 111.

Zostały one podane w kolejności chronologicznej w stosunku do przebiegu procesu mającego miejsce od zakończenia zdjęć na planie do emisji gotowej reklamy. Oczywiście wszelkie role przeplatają się w całym procesie i wyżej podana chronologia jest jedynie schematycznym podejściem.

Skupiając się na roli maszynisty (*ang. digital intermediate specialist*⁵) okazuje się, że rola ta na równi z producentem oraz superwizorem nadzoruje postprodukcję przez cały okres obróbki materiału oraz danych zebranych na planie. Do jej obowiązków należy odbiór materiałów z planu przeważnie w godzinach nocnych (dzień pracy w reklamie trwa 12 godzin), przeliczanie ich (*ang. transcode*) na pliki pośrednie (*ang. proxy*), które są używane na jednym z pierwszych etapów postprodukcji — montażu. Po etapie montażu kolejnym jej zadaniem jest przygotowanie materiałów do etapu korekcji barwnej (*ang. conforming*), polegające na przeniesieniu decyzji montażowych na stację służącą do korekcji koloru, za pomocą plików o rozszerzeniach takich jak: .aaf, .xml, czy .edl oraz prewek (*ang. preview*) zawierających podgląd zmontowanego klipu wraz z kodem czasowym (*ang. timecode*). Po korekcji koloru specjalista DI renderuje pokolorowane materiały kamerowe do plików o znikomej lub zerowej kompresji, aby pracę nad nimi mógł przejąć dział online odpowiadający za animację oraz łączenie elementów *live action* wraz z elementami 3D. Trzeba zaznaczyć, że przez cały czas asystuje poszczególnym artystom, pomagając w organizacji materiału, wyjaśniając przy tym techniczne zawłościki techniki sprzętowej. Po otrzymaniu na etapie online złożonej wersji finalnej reklamy odpowiada za składanie plików .dpx (bez kompresji) z dźwiękiem emisyjnym, za którego dostarczenie odpowiada studio dźwiękowe. Można nazwać to najodpowiedzialniejszą częścią pracy, ponieważ to DI wraz z producentem ponosi odpowiedzialność za jakość dostarczonego do wieloplatformowej emisji materiału reklamowego, na którego stworzenie, od podstaw, często klient przeznaczal łącznie w granicach pół miliona złotych. Dlatego końcowa kontrola jakości musi być wykonana bezbłędnie, a sam producent przeważnie dodatkowo sprawdza materiał reklamowy przed wysłaniem prewki do klienta, który ostatecznie udziela akceptacji na emisję. Istnieją, jednak wyjątki od reguły, szczególnie przy dużych kampaniach reklamowych, gdy klient nie akceptuje materiałów — wtedy niedopatrzenie ze strony DI czy

⁵ Nazwa samego stanowiska może się różnić w zależności od konkretnego zakresu wykonywanych obowiązków w danym studiu. Digital Intermediate odnosi się domyślnie do procesu digitalizacji materiałów z taśmy filmowej, czego w produkcji reklamowej obecnie się praktycznie nie stosuje.

producenta może zaważyć na ich reputacji oraz wywołać niemałe straty finansowe z tytułu odszkodowania. Obecnie częściowo odpowiedzialność ta staje się coraz bardziej rozproszona dzięki platformom pośredniczącym w dostarczaniu plików do stacji telewizyjnych, takim jak Peach. Kontrolują one zgodność plików przeznaczonych do emisji z odpowiadającą im specyfikacją. Niestety wciąż kontrola zawartości reklamy pozostaje pod czujnym okiem ludzkim.

Praca specjalistów zajmujących się efektami wizualnymi (VFX) znajduje odzwierciedlenie w rozbudowanych napisach końcowych, a realizacja efektów wizualnych stanowi kosztowny i czasochłonny proces⁶. Patrząc na coraz dynamiczniej rozwijającą się digitalizację procesów produkcji treści wizualnych oraz rosnącą konkurencję na rynku, należy zadać sobie pytanie o optymalizację procesów, pomagających przyspieszyć pracę. Dlatego przedmiotem badań niniejszej pracy jest optymalizacja workflow w postprodukcji reklam: od transkodowania do finalnego eksportu.

1.3 Konkurencja na rynku pracy

Rys. 3 Liczba podmiotów zaliczanych do przemysłów kultury i kreatywnych.



Źródło: A. Szlubowska, *Przemysły kultury i kreatywne w 2023 r.*, GUS [online], 27 marca.2025. Dostępny w internecie: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/kultura-turystyka-sport/kultura/przemysly-kultury-i-kreatywne-w-2023-r-,21,7.html> [dostęp: 2 kwietnia 2025]

⁶ Kalbarczyk, *Artyści, technicy, magicy. Cyfrowe efekty wizualne*, op. cit., s. 110.

Wzrost konkurencyjności na rynku pracy znajduje odzwierciedlenie w analizie przeprowadzonej przez GUS na podstawie danych z 2023 roku. Pokazuje ono wyraźnie, że liczba podmiotów zaliczanych do przemysłów kultury i kreatywnych wzrosła w okresie 2015 - 2021 o 40%. GUS nie udostępnia danych za 2024 rok, dlatego ciężko stwierdzić, jak sytuacja kształtuje się w momencie pisania niniejszej pracy. Warto jednak zauważyć, że pomimo spadku ilości podmiotów w późniejszym okresie — do stanu z 2020 roku, obecnie przewidywana liczba osób pracujących w obszarze produkcji filmów, programów telewizyjnych i nagrań wzrosła w ciągu 2024 roku o 6,3%⁷. Co wyróżnia się na tle podmiotów zajmujących się:

- działalnością prawniczą, rachunkowo-księgową i doradztwem podatkowym - 3,3%
- działalnością w zakresie architektury i inżynierii; badaniami i analizą techniczną - 2,9%
- działalnością finansową i ubezpieczeniową - 1,8%
- działalnością firm centralnych; doradztwem w zarządzaniu - 4,7%
- obsługą rynku nieruchomości - 2,7%

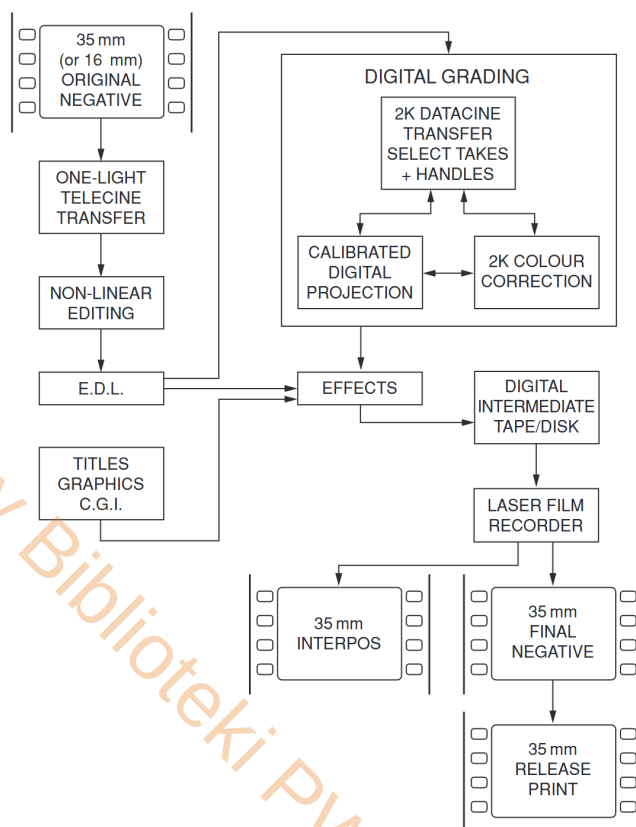
1.4 Proces *Digital Intermediate*

Wyjaśnienie, dlaczego w drugiej dekadzie XXI wieku osobę odpowiedzialną za organizację i przygotowanie materiałów do obróbki określa się mianem technika lub specjalisty DI, wymaga odwołania się do historii techniki kinematograficznej. Nazwa *Digital Intermediate* w dosłownym tłumaczeniu oznacza „cyfrowy (proces) pośredni”. Nie jest tajemnicą, że rejestracja wideo przez lata związana była z analogowym materiałem światłoczułym. Wraz z rozwojem sprzętu komputerowego oraz cyfrowych formatów zapisu zaczęto doceniać możliwości, jakie daje obróbka materiału kamerowego z ich pomocą⁸.

⁷ Magdalena Motkowska-Wójcik, Grażyna Tarnowska, Iwona Popielewicz, Roman Wieliczuk, *Zmiany strukturalne grup podmiotów gospodarki narodowej w rejestrze REGON*, 2024 r., GUS [online], marzec 2025. Dostępny w internecie: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/podmioty-gospodarcze-wyniki-finansowe/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow-gospodarki-narodowej-w-rejestrze-regon-2024-r-,1,29.html> [dostęp: 2 kwietnia 2025]

⁸ Blain Brown, *Cinematography: theory and practice: imagemaking for cinematographers and directors*, Routledge, Taylor & Francis Group, New York London 2016, s. 37

Rys. 4 Przebieg procesu postprodukcji negatywu.

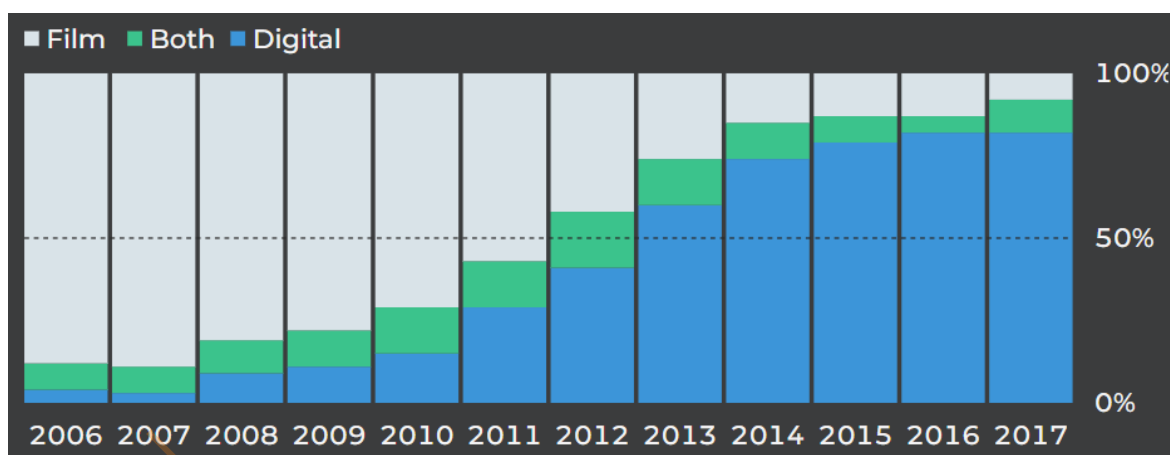


Źródło: Dominic Case, *Film technology in post production 2nd edition*, Focal Press, Oxford [U.K.] 2001, s. 207.

Rys. 4 prezentuje przebieg procesu postprodukcji taśmy filmowej z użyciem procesu Digital Intermediate. Oczywiście sam proces ewoluował wraz z rozwojem kolejnych urządzeń cyfrowych.

W latach 20. XXI wieku nadal funkcjonuje sformułowanie „digitalizacja materiałów kamerowych”, chociaż obecnie jest ono jedynie pozostałością po okresie transformacji cyfrowej. Zgodnie z danymi przygotowanymi przez Damar Aji Pramudita już w 2017 roku 82% filmów w USA (na podstawie corocznego rankingu 100 najlepszych filmów według amerykańskiego box office w latach 2006–2017) było nagrywane w pełni przy użyciu technologii cyfrowej.

Rys. 5 Sposób rejestracji zdjęć filmowych w USA w latach 2006 - 2017.



Źródło: Damar Aji Pramudita, *Film or Digital? Breaking Down Hollywood's Choice of Shooting Medium*, The Pudding [online], sierpień 2018. Dostępny w internecie: <https://pudding.cool/2018/08/filmordigital/> [dostęp: 4 kwietnia 2025]

Zgodnie z Rys. 4, materiał filmowy był rejestrowany przeważnie na taśmie 35 mm, a montaż jej polegał na mechanicznym cięciu i sklepaniu negatywu oraz naświetlania kopii. Z czasem zaczęto digitalizować, czyli przenosić zapis z taśmy światłoczułej na pliki postaci cyfrowej, a następnie – po cyfrowej obróbce – ponownie przenoszono je na taśmę filmową⁹. Proces ten odbywał się początkowo z pomocą kaset (*Batacam*) z analogowym zapisem, a później cyfrowym (*Digital Betacam*)¹⁰¹¹. Taśmy zarówno w wersji analogowej, jak i cyfrowej, umożliwiały dostęp do danych wyłącznie w sposób sekwencyjny, czyli w kolejności ich zapisu (chronologicznie). Był to kluczowy element technologii taśm magnetycznych, który odróżnia je od nowoczesnych nośników takich jak dyski twarde HDD czy SSD, które oferują dostęp losowy (*ang. random access*)¹².

Projekcje filmowe w formacie cyfrowym pojawiły się stosunkowo niedawno. W Polsce pierwszym filmem zaprezentowanym w standardzie DCP (Digital Cinema Package) był *Tatarak* Andrzeja Wajdy w 2009 roku. Sam proces Digital Intermediate zaczął być stosowany w Polsce po 2002 roku. Przed erą DI, jedyną możliwością obejrzenia filmu w kinie było stworzenie pozytywowej kopii 35 mm, wykonanej z montażowo obrobionego negatywu. Oznaczało to znaczne ograniczenia w zakresie postprodukcji – większość efektów specjalnych musiała być realizowana bezpośrednio na planie zdjęciowym. Później

⁹ E. Sęk-Koniarska, *Etapy postprodukcji Digital Intermediate*, PWSFTViT, Łódź 2016, s. 5.

¹⁰ E. P. J. Tozer, *Broadcast engineer's reference book*, Elsevier/Focal Press, Amsterdam; Boston Mass 2004, s. 458

¹¹ Dominic Case, *Film technology in post production 2nd edition*, Focal Press, Oxford [U.K.] 2001, s. 26

¹² *ibid.*, s. 16

proces Digital Intermediate umożliwił łączenie komputerowych efektów wizualnych z obrazem filmowym, co pozwala osiągnąć wysoką jakość obrazu oraz pełną kontrolę nad finalnym wyglądem produkcji¹³.

Lista montażowa (*ang. editing decision list*) opisuje wszystkie ujęcia w kolejności chronologicznej; pokazuje kolejność, w jakiej zostały zmontowane z uwzględnieniem użytej ścieżki dźwiękowej, napisów, usytuowania ujęć, przejść montażowych itd.¹⁴¹⁵ W procesie DI po przeniesieniu obrazu z negatywu do komputera następował montaż nieliniowy (*non-linear editing*) najczęściej na plikach niższej jakości, w wyniku którego otrzymywało się listę decyzji montażowych. W następnym etapie następował skan fragmentów materiału użytych w montażu do cyfrowego bezstratnego formatu np. DPX (*ang. Digital Picture Exchange*), który nie odbywał się w czasie rzeczywistym (skaner potrzebował więcej czasu niż jedna sekunda na zeskanowanie 24-30 klatek)¹⁶. Późniejsza obróbka plików cyfrowych w wysokiej jakości odbywała się z pomocą specjalistycznej stacji do cyfrowej korekcji koloru, która umożliwiała znacznie więcej, niż analogowa korekcja taśmy 35 mm. Finalnie cyfrowy pokolorowany materiał w wysokiej jakości łączono z cyfrowymi efektami wizualnymi (*ang. Visual Effects*) i nagrywano z powrotem na negatyw 35 mm za pomocą laserowej nagrywarki np. ARRILASER.

2. Efektywność pracy z wybranymi kodekami oraz infrastrukturą danych

Nie bagatelne znaczenie w kontekście optymalizacji procesów w postprodukcji ma wybór odpowiedniego kodeka, który pozwoli na wykorzystanie maksymalnej wydajności sprzętu, ograniczy koszty związane z niezbędną przestrzenią dyskową oraz umożliwi między innymi wydajny montaż, czy bezproblemowe oraz szybkie kluczowanie podczas kompozytowania. Dlatego w tym rozdziale porównam między sobą kilka z najczęściej używanych kodeków w postprodukcji.

¹³ E. Sęk-Koniarska, *Etapy postprodukcji Digital Intermediate*, op. cit., s. 5 - 6.

¹⁴ Karen Goulekas, *Visual Effects in a Digital World: A Comprehensive Glossary of over 7000 Visual Effects Terms*, Morgan Kaufmann, San Francisco CA 2001, s. 156

¹⁵ Marek Hendrykowski, *Słownik terminów filmowych wyd. I*, Ars nova, Poznań 1994, s. 164

¹⁶ P. Green, *Film scanning*, The Digital Intermediate Internet Guide, <http://www.digital-intermediate.co.uk/film/filmscanning.htm> [dostęp: 4 kwietnia 2025]

2.1 Budowa plików wideo

W świecie postprodukcji, w odniesieniu do plików multimedialnych można spotkać takie nazwy jak kodek, kompresja, kontener, chrominancja, głębokość bitowa i wiele innych, które należy w tym miejscu przynajmniej skrótowo wyjaśnić.

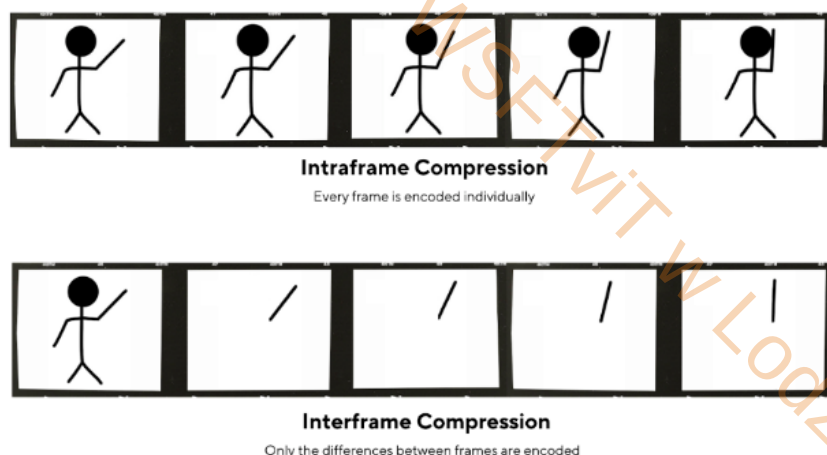
Kodek

Kodek kompresuje lub dekompresuje pliki multimedialne, takie jak utwory muzyczne lub filmy. Windows Media Player i inne aplikacje używają kodeków do odtwarzania i tworzenia plików multimedialnych¹⁷.

Kompresję można podzielić na dwie kategorie: bezstratną i stratną. W kompresji bezstratnej odtworzony obraz jest dokładną kopią oryginału, bez żadnej utraty danych. W kompresji stratnej odtworzony obraz jest jedynie przybliżeniem, a nie wierną kopią oryginału¹⁸.

Kompresja stratna

Rys. 6 Porównanie kompresji wewnątrzklatkowej z międzyklatkową.



Źródło: *Video Codecs*, Glossary, <https://getstream.io/glossary/video-codecs> [dostęp: 11 kwietnia 2025]

Kodeki redukują rozmiary plików, umożliwiając tym samym efektywne transfery danych

¹⁷ *Codecs FAQ*, Microsoft Support, <https://support.microsoft.com/en-us/windows/codecs-faq-392483a0-b9ac-27c7-0f61-5a7f18d408af> [dostęp: 11 kwietnia 2025]

¹⁸ D. Weynand, V. Piccin, M. Weise, *How Video Works*. 3rd edn., Focal Press, New York 2016, s. 171.

oraz zmniejszając koszty przechowywania plików. Kompresję oferowaną przez kodeki dzielimy je na wewnątrzklatkową (*ang. intraframe*) oraz międzyklatkową (*ang. interframe*). Kompresja wewnątrzklatkowa polega na kompresowaniu każdej klatki wideo oddzielnie i wyszukiwaniu powtarzających się elementów w celu zmniejszenia ilości danych. Na przykład niebo o jednolitym niebieskim kolorze ma prawie identyczne dane pikseli, więc taki obszar może zostać zapisany jako jednolity blok koloru, co pozwala zmniejszyć rozmiar pliku. Ta technika kompresji skutecznie redukuje wielkość plików przy zachowaniu wysokiej jakości obrazu. Natomiast kompresja międzyklatkowa, wykorzystuje bardziej złożoną technikę zmniejszania rozmiaru plików. Zamiast kompresować każdą klatkę oddzielnie, koduje jedynie różnice pomiędzy kolejnymi klatkami. Ta technika zapewnia większy stopień kompresji¹⁹. Niestety przekłada się to również na obniżenie jakości. Przykładowe kodeki, jakie spotkamy w postprodukcji to ProRes, H.264, H.265 (HEVC), czy DNxHD lub DNxHR.

Rys. 7 Kompresja wewnątrzklatkowa.

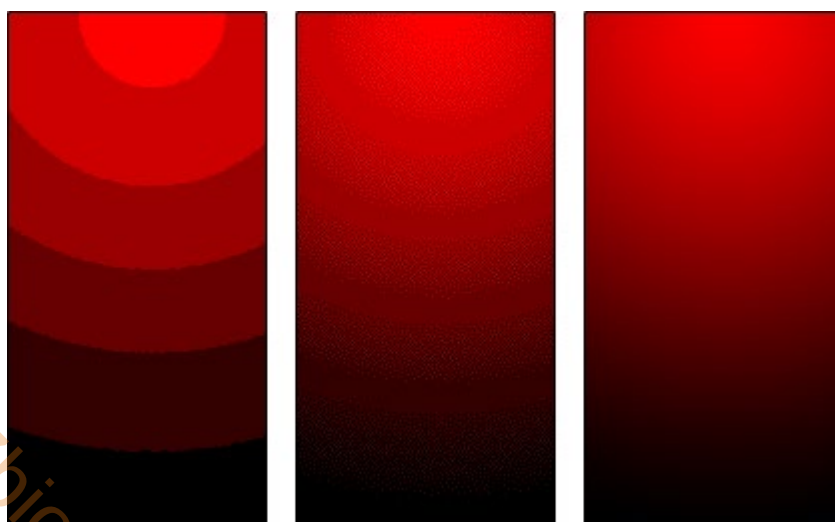


Źródło: D. Weynand, V. Piccin, M. Weise, *How Video Works*. 3rd edn., Focal Press, New York 2016, s. 171.

Banding koloru jest z pewnością elementem, który dobrze obrazuje zbyt dużą kompresję wewnątrzklatkową. Zbyt duże uproszczenie obrazu powoduje, że gradient (przykład po prawej stronie) staje się pasami kolorów (przykład po lewej stronie). Tutaj zaznaczę, że na kompresji bezstratnej nie będziemy się skupiać w niniejszej pracy.

¹⁹ *Video Codecs*, Glossary, <https://getstream.io/glossary/video-codecs> [dostęp: 11 kwietnia 2025]

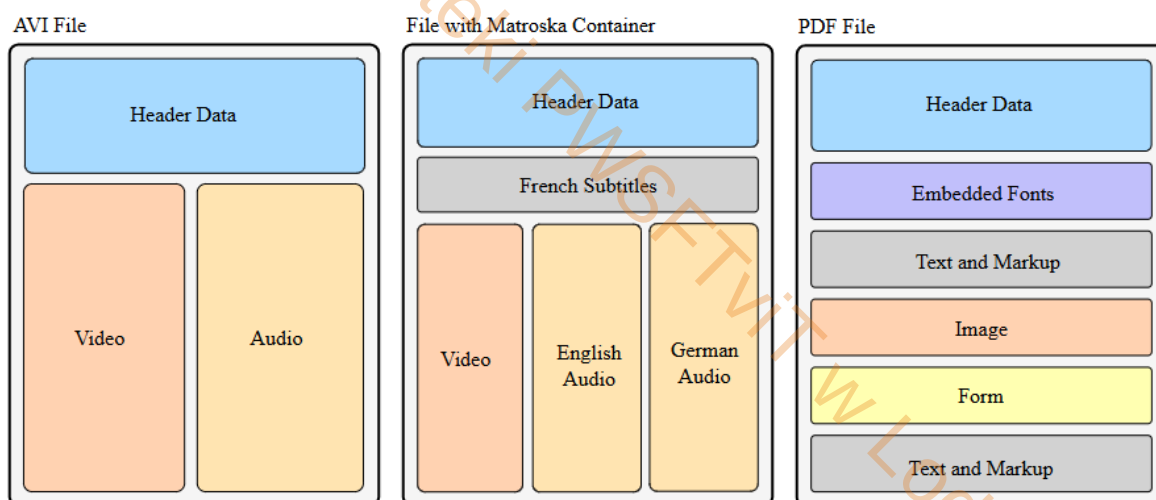
Rys. 8 Banding koloru.



Źródło: Colour banding, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Colour_banding [dostęp: 11 kwietnia 2025]

Kontener

Rys. 9 Przykładowe kontenery wraz z zawartością.



Źródło: Container format, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Container_format [dostęp: 11 kwietnia 2025]

Omawiając tematykę formatów plików multimedialnych, nie sposób nie wspomnieć o kontenerach (*ang. container*). Jak sama nazwa wskazuje, można je porównać do pojemników lub organizatorów umożliwiających przechowywanie i porządkowanie wielu różnych elementów. W przypadku multimedii kontenery łączą wideo, dźwięk, napisy oraz różnego rodzaju metadane. Jedną z najważniejszych funkcji kontenera multimedialnego jest uporządkowanie i przeplatanie danych w taki sposób, aby dźwięk i wideo odtwarzały się

synchronicznie. Gdyby wszystkie dane wideo znajdowały się na początku pliku, a dźwięk na końcu, cały plik musiałby zostać załadowany do pamięci komputera, zanim zostałby odtworzony²⁰.

Formaty

W procesie postprodukcji profesjonalnych wysokobudżetowych przedsięwzięć filmowych korzysta się głównie z:

1. Formatów charakteryzujących się kompresją wewnątrzklatkową oraz niską przepustowością (*ang. bitrate*) umożliwiającą szybką edycję video.
2. Formatów charakteryzujących się kompresją wewnątrzklatkową oraz wysoką przepustowością umożliwiającą zaawansowaną edycję online (kluczowanie, rotowanie), przy zachowaniu względnie niskich rozmiarów plików.
3. Formatów charakteryzujących się brakiem kompresji umożliwiającą zaawansowaną edycję online (kluczowanie, rotowanie), przy źródłowej, najwyższej jakości pliku — dla najbardziej wymagających scen i efektów.
4. Formatów charakteryzujących się kompresją międzyklatkową z zachowaniem przepustowości, zgodnej ze specyfikacją plików emisyjnych dla wcześniej określonej platformy docelowej umożliwiające znaczne zmniejszenie rozmiaru pliku, przeznaczonego do emisji.

Chrominancja

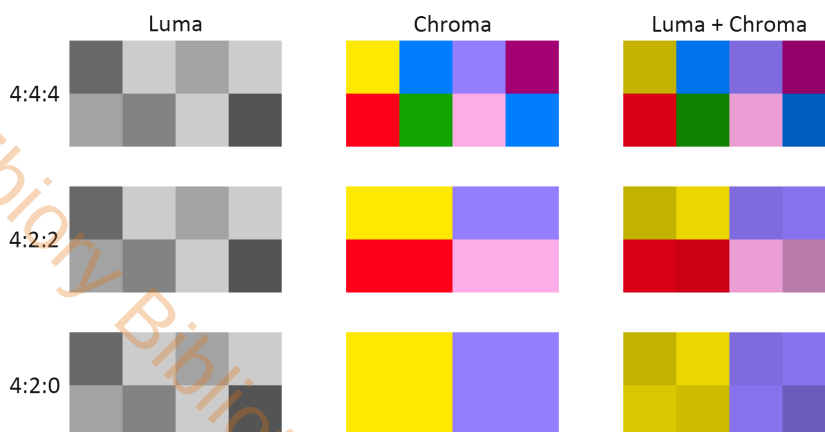
Jednym z aspektów kompresji jest podpróbkowanie koloru (*ang. color subsampling*). Ludzkie oko znacznie łatwiej dostrzega zmiany poziomu jasności (luminancji), czyli jasności i kontrastu obrazu, niż zmiany koloru. Z tego powodu zmniejszenie częstotliwości próbkowania kolorów może być skuteczną metodą kompresji²¹. Warto zauważyć, że każda kompresja powoduje zmniejszenie ilości danych, które zawiera plik wideo, a co za tym idzie, utrudnia pracę na etapie online. Tak jak widzimy poniżej, w skompresowanym pliku nie

²⁰ D. Weynand, V. Piccin, M. Weise, *How Video Works*, op. cit., s. 261.

²¹ D. Weynand, V. Piccin, M. Weise, *How Video Works*, op. cit., s. 196.

każdy piksel zawiera pełną informację o kolorze, ponieważ często stosuje się kompresję chrominancji (np. 4:2:2 lub 4:2:0), co utrudnia użycie m.in. kluczy HSL, które odnoszą się do odcienia (*ang. hue*) i nasycenia (*ang. saturation*) oraz jasności (*ang. lightness*). Dlatego przy tworzeniu efektów specjalnych najbardziej pożądanym formatem próbkowania chrominancji jest 4:4:4, gdzie każdy piksel zawiera pełną informację kolorystyczną.

Rys. 10 Podpróbkowanie koloru.



Źródło: *Chroma subsampling*, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_subsampling [dostęp: 11 kwietnia 2025]

Głębia bitowa

Głębia bitowa pochodzi z terminologii informatycznej i odnosi się do całkowitej liczby kolorów, które dany piksel może potencjalnie wyświetlić²². 8-bitowy plik jest w stanie zawierać 16 777 216 kolorów, natomiast 10-bitowy 1 073 741 824 kolory. Co przy kompozytowaniu ma niebagatelne znaczenie. Im mniej informacji względem surowego pliku z kamery stracimy tym lepiej dla nas. Każda dodatkowa informacja dotycząca koloru to możliwość bardziej precyzyjnej pracy z materiałem filmowym.

2.2 Porównanie kodeków

O ile charakterystykę materiałów emisyjnych określają specyfikacje przygotowywane przez poszczególne stacje telewizyjne oraz platformy social media z uwzględnieniem ich wewnętrznego workflow, możliwości sprzętowych oraz potrzeb niezbędnych do bezawaryjnej emisji. O tyle dobór kodeków pośrednich (używanych w studiu

²² T. Savage, *Understanding Digital Black and White Photography*, Crowood, England 2016, s. 64.

postprodukcyjnym, w celu eliminacji z procesu trudnych w obróbce plików kamerowych) leży po stronie studia. W tym podrozdziale chciałbym skupić się na porównaniu poszczególnych kodeków oraz rozważeniu za i przeciw ich użyciu w procesie, mając na uwadze optymalizację przepływu pracy. Kodeki, które zostaną wzięte pod uwagę w porównaniu, zamieszczam w tabeli 1.

Tabela 1 Lista kodeków.

Kodek	Rozdzielczość	Mb/s (24p)	Rodzaj przepływności	Stopień stratności (1 - 5)	Chrominancja	Głębia bitowa
DNxHR LB	3840 x 2160	144	Stała	5	4:2:2	8-bit
ProRes 422 Proxy (UHD)	3840 x 2160	145	Zmienna	5	4:2:2	10-bit
DNxHR 444	3840 x 2160	1399	Stała	2	4:4:4	12-bit
ProRes 4444 XQ (UHD) (bez alpha)	3840 x 2160	1591	Zmienna	2	4:4:4	12-bit
DPX (UHD) (nieskompresowany)	3840 x 2160	6370	Stała	1	4:4:4	12-bit
DNxHD 444 (a.k.a DNxHD 350x)	1920x1080	350	Stała	2	4:4:4	10-bit
ProRes 4444 XQ (HD) (bez alpha)	1920x1080	396	Zmienna	2	4:4:4	12-bit
H.264 (HD)	1920x1080	15	Zmienna	5	4:2:0	8-bit

Dane: D. Kong, *Compare 50 Intermediate Codecs on One Page*, frame.io insider, 13 lutego 2017, <https://blog.frame.io/2017/02/13/compare-50-intermediate-codecs> [dostęp: 11 kwietnia 2025]

2.2.1 Test wydajności

Dla potrzeby sprawdzenia wydajności poszczególnych kodeków podczas korzystania z oprogramowania do obróbki materiałów wideo posłużę się ogólnodostępnymi wynikami testów, wykonywanych przez społeczność przy pomocy oprogramowania Pugetbench. Opisywany benchmark został stworzony na potrzeby porównywania profesjonalnych obciążeń w najpopularniejszych aplikacjach służących do edycji wideo, fotografii, VFX i motion design²³.

Podzespołem komputerowym branym pod uwagę w testach będzie procesor Intel Core i9-14900K (podzespół najnowszej generacji na moment pisania pracy)²⁴. Wykorzystany

²³ *PugetBench for Creators*, Puget Systems, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators> [dostęp: 11 kwietnia 2025]

²⁴ Stan na dzień: 12 kwietnia 2025.

zostanie ze względu na znaczną liczbę testów przeprowadzonych przez społeczność liczącą 1460 przebiegów²⁵.

Badanie źródłowe dzielone jest na:

1. Kodowanie — wydajność podczas eksportowania do różnych kodeków.
2. Przetwarzanie — wydajność podczas pracy z różnymi rodzajami mediów źródłowych.
3. Efekty GPU — wydajność dla najczęstszych efektów wspieranych przez GPU.

Kodowanie jest testowane przy pomocy klipu źródłowego DNxHR LB w rozdzielczości 480×270 , skalowanego do osi czasu UHD (3840×2160). DNxHR LB jest bardzo łatwy do przetwarzania (szczególnie przy tak niskiej rozdzielczości) i nie ma obsługi dekodowania sprzętowego na żadnej platformie. Aby upewnić się, że każdy piksel jest wyjątkowy i zapobiec, aby kodeki takie jak H.264 lub HEVC nie były zbyt „inteligentne”, został zastosowany prosty obraz PNG szumu fraktalnego (nie efekt fractal noise), aby upewnić się, że nie ma żadnych powtarzających się pikseli.

Przetwarzanie, które ma obrazować realną wydajność przy pracy z danym rodzajem kodeka, w danym programie testowany jest za pomocą stworzenia w programie sekwencji (timeline'u) w natywnej rozdzielczości klipu źródłowego. Każda oś czasu eksportowana jest do DNxHR LB w rozdzielczości HD (1920×1080). Wybór kodeka docelowego poparty jest tymi samymi przesłankami co w przypadku klipu źródłowego służącego do testów kodowania.

Na koniec przeprowadziłem własne badanie przetwarzania w After Effects dla kodeków ProRes 4444 XQ, DNxHR 444, DPX 12-bit. Wzorując się na metodologii narzędzia PugetBench wydajność kodeków została przetestowana z wykorzystaniem materiałów zapisanych w rozdzielczości UHD i renderingu do kodeka QuickTime DNxHD LB w rozdzielczości HD (1920×1080)^{26,27}. Specyfikacja sprzętowa użyta do testów: Intel Core i5-9400F, NVIDIA GTX 980 Ti (6GB), 24GB pamięci RAM, SSD M2 Lexar NM620 2TB.

²⁵ Ibid.

²⁶ *PugetBench for Premiere Pro*, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators/premiere-pro> [dostęp: 13 kwietnia 2025]

²⁷ *PugetBench for DaVinci Resolve*, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators/davinci-resolve> [dostęp: 13 kwietnia 2025]

Testy przetwarzania nie zostały w żadnym z przypadków oparte o odtwarzanie materiałów w czasie rzeczywistym, ze względu na znaczącą niespójność w wynikach, która w przypadku testów Puget Systems wynosiła aż do 7-krotności najniższego wyniku na 10 przebiegów²⁸.

Proxy

Tabela 2 Wyniki PugetBench for Premiere Pro.

i9-14900K			Apple M4 (10 Cores)		
Premiere Pro			Premiere Pro		
Encoding (UHD) Intraframe			Encoding (UHD) Intraframe		
Kodek	FPS	Przewaga	Kodek	FPS	Przewaga
DNxHR LB	83,73	nd.	DNxHR LB	50,15	nd.
ProRes 422 Proxy	222,41	265,63%	ProRes 422 Proxy	91,36	182,17%
Processing (4K) Intraframe			Processing (4K) Intraframe		
Kodek	FPS	Przewaga	Kodek	FPS	Przewaga
DNxHR LB	170,23	164,78%	DNxHR LB	58,15	nd.
ProRes 422 Proxy	103,31	nd.	ProRes 422 Proxy	70,82	121,79%
DaVinci Resolve			DaVinci Resolve		
Processing (4K) Intraframe			Processing (4K) Intraframe		
Kodek	FPS	Przewaga	Kodek	FPS	Przewaga
DNxHR LB	332,40	107,38%	DNxHR LB	148,84	nd.
ProRes 422 Proxy	309,55	nd.	ProRes 422 Proxy	223,78	150,35%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych raportowanych przez społeczność.

W mojej opinii w przypadku porównywania kodeków o niskim bitrate na poziomie 36 Mb/s kluczowym obszarem do porównania będzie przetwarzanie/dekodowanie materiału wideo w czasie rzeczywistym podczas montażu, do którego te kodeki zostały stworzone.

²⁸ PugetBench for Premiere Pro 0.98 Testing Methodology, <https://www.pugetsystems.com/blog/2023/05/18/pugetbench-for-premiere-pro-0-98-testing-methodology> [dostęp: 13 kwietnia 2025]

Najczęściej w branży reklamowej montaż jest prowadzony przy pomocy oprogramowania Premiere Pro, DaVinci Resolve oraz Avid Media Composer o świetnej kompatybilności wstecznej, jednak ograniczając wybór kodeka do DNxHD. Chciałbym zatem zwrócić uwagę na otrzymane wyniki testów z pominięciem produktu od firmy AVID.

Dla systemu Windows w obu przypadkach widoczna jest przewaga kodeka DNxHD, dla Premiere Pro jest to prawie o 65% większa wydajność po stronie DNxHD, natomiast dla DaVinci Resolve jest to przewaga zaledwie w okolicach 7%. Co ciekawe benchmark wykazywał aż dwu, a nawet ponad trzykrotnie wyższą (dla obu systemów operacyjnych) wydajność przetwarzania wideo w programie DaVinci Resolve w odniesieniu do programu firmy Adobe. Jednak pamiętajmy, że test jest oparty na transkodowaniu kodeka, a nie faktycznej wydajności podglądu, dlatego moim zdaniem należałoby przeprowadzić dalsze badania w tym obszarze.

Dla systemu MacOS sytuacja wygląda całkowicie odwrotnie. Widoczna jest przewaga po stronie kodeka ProRes dla Premiere Pro o prawie 22%, natomiast po stronie DaVinci Resolve jest to ponad 50%. Choć przewaga jest nieco mniej znacząca niż w odniesieniu do Premiere Pro zainstalowanym na systemie Windows, wyniki nie są specjalnie zaskakujące, ponieważ kodek ProRes został zaprojektowany przez Apple, a co za tym idzie, jest lepiej zoptymalizowany pod sprzęt tej marki.

Warto zwrócić uwagę na pierwszy test przedstawiony w tabeli, którego wykonanie umożliwia jedynie benchmark dla Premiere Pro. Przy transkodowaniu materiału z pomocą tego oprogramowania ProRes w obu systemach zarówno od Apple, jak i Microsoftu cechuje się od 1,82 do 2,66 razy lepszą wydajnością. Warto mieć to na uwadze przy wyborze kodeka do poszczególnych zadań w procesie postprodukcji, ponieważ nie zawsze DNxHD lub DNxHR będzie wydajniejszą opcją na PC, jak mogłoby się wydawać.

Intermediate

W przypadku kodeków pośrednich postanowiłem przeprowadzić własne testy z powodu braku dostępności danych dotyczących kodeków uwzględnionych w tabeli. Dają one największe możliwości postprodukcyjne na etapie online, ponieważ oferują najwyższy

bitrate w swoich rodzinach, chrominancję 4:4:4 oraz 12-bit, co pozwala na efektywną postprodukcję, w tym umożliwia względnie bezproblemowe kluczowanie.

Tabela 3 Wyniki testów wydajności pracy w After Effects z kodekami pośrednimi.

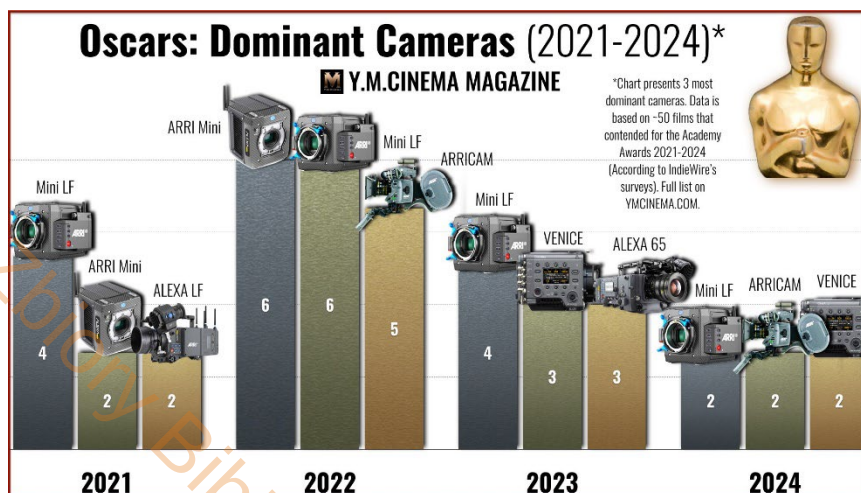
i5-9400F			2913
After Effects			Frames
Processing (UHD)			
Kodek (UHD)	Śr. czas (sek.)	FPS	Przewaga
DNxHR 444	307	9,49	nd.
Próba 1	05:06		
Próba 2	05:07		
Próba 3	05:09		
Próba 4	05:06		
Próba 5	05:09		
ProRes 4444 XQ	263	11,08	116,73%
Próba 1	04:26		
Próba 2	04:27		
Próba 3	04:21		
Próba 4	04:22		
Próba 5	04:22		
DPX 12-bit	181	16,09	169,61%
Próba 1	03:01		
Próba 2	03:03		
Próba 3	03:02		
Próba 4	03:01		
Próba 5	03:01		

Źródło: Opracowanie własne.

Ponadto zgodnie z załączonymi ilustracjami w produkcji filmowej zdecydowanie przoduje ARRI ALEXA Mini oraz ARRI ALEXA Mini LF, które są w stanie zapisać obraz

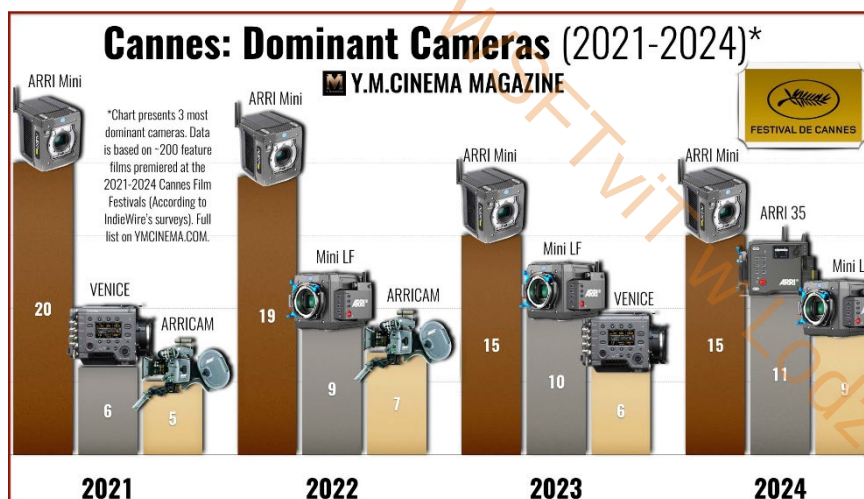
z maksymalnie 12-bitową głębią²⁹. Co za tym idzie obraz po kolor korekcji przekazywany na online w postaci plików zakodowanych z tą samą głębią, pozwala na maksymalne wykorzystanie możliwości oferowanych przez te kamery.

Rys. 11 Academy Awards dominujące kamery: 2021-2024.



Źródło: *The Most Popular Cinema Cameras*, Y.M.Cinema Magazine, 29 maja 2024, <https://ymcinema.com/2024/05/29/the-most-popular-cinema-cameras> [dostęp: 13 kwietnia 2025]

Rys. 12 Cannes Film Festival dominujące kamery: 2021-2024.



Źródło: *The Most Popular Cinema Cameras*, Y.M.Cinema Magazine, 29 maja 2024, <https://ymcinema.com/2024/05/29/the-most-popular-cinema-cameras> [dostęp: 13 kwietnia 2025]

²⁹ *Best Overall Image Quality: Analog knowledge brought to the digital domain*, ARRI Learn & Help, <https://www.arri.com/en/learn-help/arri-camera-technology/best-overall-image-quality> [dostęp: 14 kwietnia 2025] „Obrazy Alexa 35 są przetwarzane w 18-bitowej przestrzeni liniowej i rejestrowane jako 13-bitowe arriraw. Obrazy ze wszystkich innych aparatów cyfrowych ARRI są przetwarzane w 16-bitowej przestrzeni liniowej i rejestrowane jako 12-bitowe logarytmiczne arriraw.”

Najlepszą wydajność bezsprzecznie oferuje nieskompresowany format DPX, który przoduje nad kodekami DNxHR oraz ProRes 4444 XQ i oferuje prawie 70% wyższą wydajność. Nieznacznie lepiej prezentuje się ProRes 4444 XQ wyprzedzając rozwiązanie od firmy AVID o prawie 17%.

2.2.2 Wizualne porównanie kodeków o niskim stopniu stratności

Tabela 4 Porównanie różnic wizualnych pomiędzy kodekami intermediate.



Źródło: Opracowanie własne.

Dla porównania jakości kodeków DNxHR 444 oraz ProRes 4444XQ sekwencja ARRIRAW została wyeksportowana w programie DaVinci Resolve do trzech plików wyjściowych przy użyciu identycznych ustawień przestrzeni barw i gammy (Rec. 709 2.4), z uwzględnieniem presetu *Use constant bitrate*. Plik DPX 12-bit posłużył jako referencja, natomiast zakodowane wersje zostały porównane przy użyciu *difference mode* oraz podniesieniu ekspozycji o 17 stopni. Perfekcyjny obraz (bez różnic względem obrazu referencyjnego) powinien być zupełnie czarny.

W odniesieniu do formatu bezstratnego (bez użycia kompresji) zdecydowanie bliżej wizualnie znalazł się kodek ProRes. W odniesieniu do DNxHR podczas testów nie przejawiał skłonności do tworzenia grup pikseli, które w zestawieniu z oryginalnym obrazem wyróżniały się na tle pozostałych. ProRes wydaje się tworzyć bardziej spójną kompresję, przy której wizualnie nie widać znaczących odchyleń w obrębie klatki.

2.2.3 Test rozmiaru

Tabela 5 Porównanie rozmiaru plików zakodowanych z pomocą kodeków pośrednich.

Kodek (HD)	Czas (klatek)	Rozmiar (GB)	% względem referencji
DPX 12-bit	2719	23,60	nd.
ProRes 4444XQ	2719	5,88	24,92%
DNxHD 444	2719	4,64	19,66%
H264 15Mbps	2719	0,20	0,86%

Źródło: Opracowanie własne.

W odniesieniu do formatu bezstratnego DPX, formaty o niskiej kompresji takie jak ProRes 4444XQ oraz DNxHD 444 plasują się na poziomie pomiędzy 1/5, a 1/4 rozmiaru pliku. Taki wynik można uznać za niezwykle znaczącą oszczędność miejsca w przestrzeni dyskowej. Przekłada się to na możliwość przechowywania 4 do 5 razy większej ilości materiałów wideo, co przy projektach potrafiących zajmować terabajty przestrzeni dyskowej może okazać się zbawienne. Kodek H.264 został dodany w celach swobodnego odniesienia. Mając na uwadze, że powstała praca ma na celu badanie optymalizacji procesów, zwróćmy uwagę na potencjalne oszczędności, które mogą zostać poczynione dzięki przejściu z formatów bezstratnych na formaty o znikomej kompresji.

Tabela 6 Porównanie cen przestrzeni dyskowej w 2025 roku.

Seagate BARRACUDA			WD Blue		
Dysk	Cena (PLN)	Cena za 1TB	Dysk	Cena (PLN)	Cena za 1TB
1TB 5400obr. 128MB	245,00	245,00	1TB 7200obr. 64MB CMR*	259,00	259,00
2TB 5400obr. 128MB	349,00	174,50	2TB 5400obr. 64MB	279,00	139,50
3TB 5400obr. 256MB	416,00	138,67	3TB 5400obr. 64MB*	409,00	136,33
4TB 5400obr. 256MB	429,00	107,25	4TB 5400obr. 256MB	459,00	114,75
6TB 5400obr. 256MB	709,00	118,17	6TB 5400obr. 256MB	779,00	129,83

Dane: Opracowanie własne na podstawie danych X-KOM z dnia 15 kwietnia 2025 r.

Biorąc pod uwagę średnią najniższą cenę za terabajt³⁰ na poziomie 111,00 polskich złotych, objętość plików DPX na poziomie ok. 750 gigabajtów na godzinę materiału oraz konieczność wykonania dwóch kopii zapasowych materiału kamerowego, do której będziemy potrzebować 1,5 TB przestrzeni dyskowej, należy liczyć 166,50 PLN za backup godzinowego materiału po kolorze. Dla kodeka ProRes będzie to 374 gigabajtów, czyli nieco ponad 40,00 polskich złotych. Skalę potencjalnych oszczędności z pewnością można ocenić, znając skalę projektu. O ile w projektach reklamowych zapisanie jednej wersji 30-sekundowej reklamy po edycji koloru nie jest problemem. O tyle miejsce na serwerach studiów postprodukcyjnych służących do pracy na plikach w czasie rzeczywistym, może kosztować znacznie więcej, dodając do tego koszt urządzeń serwerowych zarządzających dyskami, ze względu na rodzaj użytych dysków oraz czas potrzebny na ewentualne przenoszenie plików w obrębie studia.

2.2.4 Podsumowanie

Uwzględniając liczne przesłanki, uważam, że w kontekście wyboru kodeka umożliwiającego szybki i bezproblemowy montaż, optymalnym rozwiązaniem było zastosowanie kodeka optymalnego dla danej platformy. Przy edycji na sprzęcie Apple, byłby to ProRes 422 Proxy, natomiast w przypadku sprzętu PC, byłby to DNxHD 36. Podczas przechowywania i edytowania materiałów po korekcie kolorystycznej osobiście skłaniałbym się ku wykorzystaniu kodeka Apple ProRes 4444XQ.

Również w przypadku pracy z profesjonalnym oprogramowaniem od firm Adobe oraz Blackmagic, zarówno na komputerze PC, jak i sprzęcie od Apple korzyść z użytkowania kodeka przystosowanego lepiej pod daną platformę przekłada się nawet na półtora raza wyższą wydajność, co nie pozostanie bez znaczenia przy zaawansowanych projektach filmowych oraz reklamowych.

Innym wnioskiem, który można wyciągnąć z wyników raportowanych przez społeczność jest znacznie wyższa wydajność przetwarzania materiału w przypadku DaVinci Resolve, jednak mając na uwadze opisaną metodologię badawczą, warto zwrócić uwagę, że testy przetwarzania są prowadzone na podstawie kodowania materiału, a nie pracy podczas

³⁰ Dane z dnia 15 kwietnia 2025 r.

rzeczywistego montażu. Stąd w mojej opinii kwestia rzeczywistej wydajności pozostaje wciąż pod znakiem zapytania i nie należy uogólniać otrzymanych wyników do rzeczywistych sytuacji mających miejsce przy codziennej pracy. Ponadto, w zakresie wydajności reprezentowanej przez poszczególne oprogramowanie, kodeki oraz stacje montażowe potrzebne są dalsze badania.

Odnosząc się do sugerowanego przeze mnie kodeka do pracy z materiałem filmowym po korekcji koloru, przesłanek przemawiających za wyborem ProRes jest kilka:

1. Kodek przy pracy w After Effects z procesorem i5 dziewiątej generacji wykazuje 17% wyższą wydajność niż kodek firmy AVID.
2. Wykazywał wyższą spójność z materiałem w formacie bezstratnym podczas wizualnych testów porównawczych, niż DNxHR.
3. Co prawda był nieznacznie „cięższy” od swojego odpowiednika DNxHR, lecz zaledwie o ponad 5%, natomiast stanowił wciąż 1/4 rozmiaru pliku zapisanego w formacie DPX bez kompresji, co pozwala na znaczącą oszczędność przestrzeni dyskowej. A tym samym potencjalne oszczędności w budżecie produkcyjnym.

2.3 Infrastruktura danych a wydajność przesyłu

Tabela 7 Zestawienie szybkości zapisu.

Sprzęt	Zapis MB/s	Odczyt MB/s	Procentowa przewaga względem najsłabszego w zestawieniu (zapis)	Procentowa przewaga względem najsłabszego w zestawieniu (odczyt)
Macierz SSD StarTech Product ID: M2E4BTB3	1357	1545	1809%	997%
Macierz HDD SanDisk Professional G-RAID SHUTTLE 4 Dyski 4x HGST 3TB 7200RPM	544	459	725%	296%
USB HDD Seagate Expansion+ 4TB	75	155	nd.	nd.

Źródło: Opracowanie własne.

W postprodukcji reklamowej wybór kodeka nie musi stanowić jedyne wąskiego gardła. Może być to również szybkość odczytu bądź zapisu przestrzeni dyskowej wykorzystywanej do przechowywania plików kamerowych z planu. W poniższym zestawieniu zostały przetestowane macierze jednej z firm rentalowych, wypożyczających sprzęt kamerowy dla warszawskich firm produkcyjnych. Testy zostały wykonane przy pomocy komputera iMac z 2020 roku korzystającego z dziesięciordzeniowego procesora Intel Core i9 oraz pracującego pod systemem Sequoia 15.0.1. Testy przeprowadzono za pośrednictwem portu Thunderbolt 4 dla macierzy SSD i HDD oraz portu USB dla Seagate Expansion+.

Wyniki ukazują niebywałą rozbieżność w wydajności. Macierz SSD pozwoliła na 10-krotnie szybszy odczyt względem zwykłego dysku USB i ponad 3-krotnie szybszy od macierzy HDD, co może wpłynąć znacznie na optymalizację workflow w postprodukcji przyspieszając transcode materiału kamerowego oraz zmniejszając koszty poniesione z tytułu zatrudniania pracowników odpowiedzialnych za *data wrangling*. Jednakże opłacalność danej inwestycji w sprzęt pozostanie finalnie pod kontrolą działu produkcji. Zależać będzie od stawek ustalanych indywidualnie z firmami zajmującymi się wypożyczaniem stacji dyskowych, kosztami pracowników oraz wielu innych zmiennych, które nie pozwalają postawić jednoznacznej tezy, która mogłaby zostać obroniona naukowymi faktami. Natomiast z pewnością należy mieć na uwadze wyżej opisaną rozbieżność przy planowaniu procesu produkcji i zarządzaniu jej budżetem.

3. Sztuczna inteligencja (ang. Artificial Intelligence)

Pisząc pracę naukową dotyczącą optymalizacji procesów w produkcji filmowej w połowie lat dwudziestych XXI wieku, nie sposób nie wspomnieć o sztucznej inteligencji. Coraz więcej przedsiębiorstw z branży filmowo-reklamowej zatrudnia własnych specjalistów (grafików AI) odpowiedzialnych za śledzenie trendów oraz testowanie i wdrażanie najnowszych rozwiązań z zakresu generatywnej sztucznej inteligencji³¹. Dokonując badań

³¹ W.H. Pinaya, M.S. Graham, E. Kerfoot, P.D. Tudosiu, J. Dafflon, V. Fernandez, P. Sanchez, J. Wolleb, P.F. Da Costa, A. Patel, H. Chung, "Generative AI for medical imaging: extending the MONAI framework", w: arXiv preprint, red. W.H. Pinaya, M.S. Graham, E. Kerfoot i in., arXiv, 2023, arXiv:2307.15208, <https://arxiv.org/abs/2307.15208>, [dostęp: 11 maja 2025] Generatywna AI odnosi się do zestawu technik i modeli sztucznej inteligencji zaprojektowanych w celu nauki ukrytych wzorców i struktury danych, a następnie generowania nowych przykładów, które mogłyby wiarygodnie pochodzić z tego samego zbioru danych. To poddziedzina sztucznej inteligencji, która wykorzystuje modele generatywne do tworzenia tekstu, obrazów, filmów lub innych form danych. Modele te uczą się podstawowych wzorców i struktur danych treningowych i wykorzystują je do tworzenia nowych danych na podstawie danych wejściowych, które często mają postać odpowiedzi w języku naturalnym.

w obszarze, o którym traktuje niniejsza praca, długo przedmiotem moich rozważań było: jakie podejście należy obrać przy badaniu obszaru związanego z optymalizacją procesów z użyciem AI?

Obecnie rozwój modeli sztucznej inteligencji umożliwiających tworzenie treści z pomocą uczenia maszynowego, a co za tym idzie ogólnodostępnych usług z nich korzystających, charakteryzuje się niezwykle dynamiką. Z dnia na dzień pojawiają się nowe rozwiązania, które usprawniają i ułatwiają tworzenie zaawansowanych, angażujących treści podnosząc przy tym coraz bardziej jakość otrzymywanych niewielkim nakładem pracy efektów wizualnych. Przekłada się to zarówno na koszty, jak i czas produkcji treści w branży filmowo-reklamowej. Kształtująca się dynamika na rynku nie rodzi pytania — czy sztuczna inteligencja zmieni rynek twórców audiowizualnych, ale kiedy?

W mojej opinii już zmieniła ten rynek, co można obserwować poprzez rosnącą z każdym dniem liczbę zapytań ze strony klientów oraz agencji reklamowych dotyczących możliwości przeprowadzenia postprodukcji w 100% przy pomocy AI. Przyczyny takiego obrotu sprawy z pewnością można upatrywać w znacznym ograniczeniu kosztów kampanii, jakie może zaoferować nowa technologia uczenia maszynowego. Szacuje się, że około 75% rocznego efektu wdrożenia generatywnej sztucznej inteligencji w przedsiębiorstwach koncentruje się w takich obszarach, jak sprzedaż, marketing, inżynieria oprogramowania, obsługa klienta oraz badania i rozwój produktów. Ponadto szacuje się wpływ generatywnej sztucznej inteligencji na wydatki funkcjonalne związane z marketingiem w granicach 10% na skalę światową³². Jednak na obecny moment należy uznać, że przedmiotu badań pracy naukowej nie powinno stanowić szczegółowe porównanie dostępnych rozwiązań umożliwiających generowanie treści audio czy wideo, ze względu na wspomnianą wyżej znaczą dynamikę zmian. Natomiast z pewnością na uwagę zasługuje sama dynamika oraz sposób i zakres, w jakim już obecnie koszty zostały ograniczone.

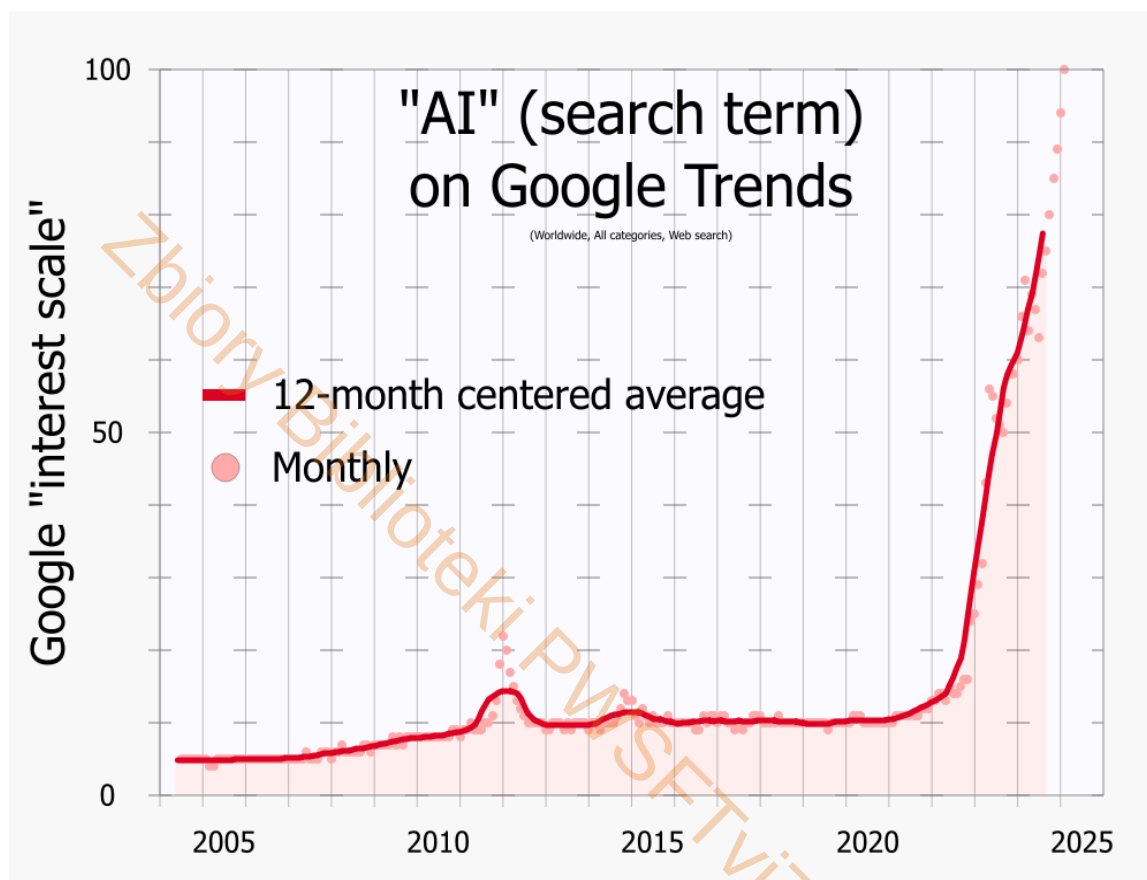
W tym rozdziale postaram się przybliżyć optymalizacje, które wprowadziła sztuczna inteligencja do procesu tworzenia treści filmowo-reklamowych, wskazać zagadnienia

³² M. Chui, E. Hazan, R. Roberts, A. Singla, K. Smaje, A. Sukharevsky, L. Yee, R. Zimmel, *The economic potential of generative AI: The next productivity frontier*, czerwiec 2023, s. 12, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#/> [dostęp: 10 maja 2025].

utrudniające tworzenie treści w 100% opartych o AI oraz omówić skalę potencjalnych optymalizacji, które mogą zostać wprowadzone z biegiem czasu.

3.1 Dynamika zmian

Rys. 13 Częstotliwość wyszukiwania frazy "AI" w wyszukiwarce Google 2005 - 2025.



Źródło: RCraig09, *AI / Search term. Google Trends* (2 February 2025). "Worldwide / 2004 - present / All categories / Web Search", Wikipedia, 2 lutego 2025, https://en.m.wikipedia.org/wiki/History_of_artificial_intelligence [dostęp: 9 maja 2025]

Zgodnie ze statystykami dotyczącymi popularności wyszukiwanych terminów w serwisie Google w 2025 roku fraza „AI” stała się aż 10 razy bardziej popularna, niż w 2020 roku, a znaczący wzrost zainteresowania tym zagadnieniem rozpoczął się w 2022 roku. Jako przyczynę upatruje się premierę serwisu ChatGPT, który jest chatbotem działającym z pomocą generatywnej sztucznej inteligencji. Opracowany został przez amerykańską firmę

OpenAI i uruchomiony jako prototyp 30 listopada 2022 roku, po czym został publicznie udostępniony w dniu 30 stycznia 2023 roku³³.

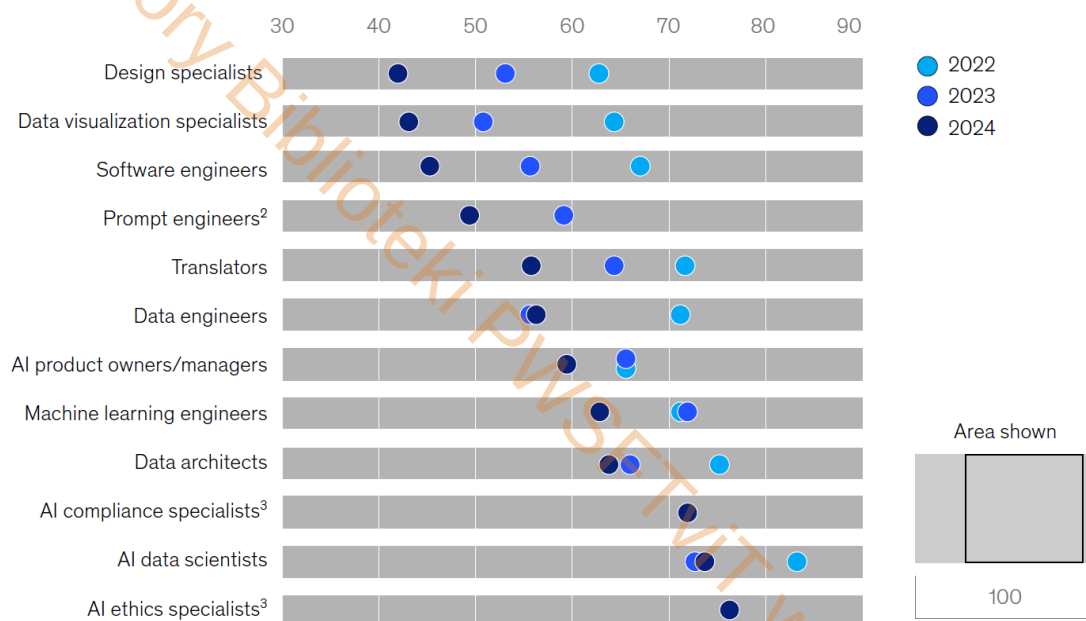
3.1.1 Rynek pracy

Pracownicy w większych organizacjach częściej niż inni twierdzą, że ich organizacje zmniejszyły liczbę pracowników w wyniku wpływu sztucznej inteligencji³⁴.

Rys. 14 Trudności w zatrudnianiu na stanowiska związane ze sztuczną inteligencją.

Smaller shares of respondents report difficulty in hiring for AI-related roles, compared with previous years.

Share of respondents reporting difficulty in organizations' hiring of AI-related roles,¹ % of respondents



¹Only asked of respondents who said their organizations use AI in at least 1 function and who said their organization hired the given role in the past 12 months. Figures were calculated after removing the share who said "don't know." Respondents who described hiring for given role as "easy" or "neither difficult nor easy" are not shown.

²Not asked of respondents in 2022.

³Not asked of respondents in 2022 or 2023.

Source: McKinsey Global Surveys on the state of AI, 2022–24

Źródło: A. Singla, A. Sukharevsky, L. Yee, M. Chui, B. Hall, *The state of AI: How organizations are rewiring to capture value*, marzec 2025, s. 11, <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai/> [dostęp: 10 maja 2025].

³³ K. I. Roumeliotis and N. D. Tselikas, *ChatGPT and Open-AI Models: A Preliminary Review*, Future Internet 2023, 15(6), 192, <https://doi.org/10.3390/fi15060192> [dostęp: 10 maja 2025].

³⁴ A. Singla, A. Sukharevsky, L. Yee, M. Chui, B. Hall, *The state of AI: How organizations are rewiring to capture value*, marzec 2025, s. 12, <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai/> [dostęp: 10 maja 2025].

Nie oznacza to jednak, że odpowiednio wykwalifikowani pracownicy nie są poszukiwani. Przedsiębiorstwa stawiając na optymalizację procesów, skupiają się na zatrudnianiu pracowników, którzy biegle posługują się AI. Zgodnie z rys. 14, aż ponad 40% firm zgłasza problemy ze znalezieniem specjalisty ds. designu, co może mieć duże przełożenie na sytuację na rynku pracy, chociaż wynik ten nie ukazuje, aż tak dużego problemu jak na przykład w przypadku specjalistów ds. danych AI. Trzeba mieć na uwadze, że zarówno w branży kreatywnej, jak i w pozostałych, należy zadbać o odpowiedni poziom kształcenia, aby efektywnie optymalizować procesy. Pozytywny wydźwięk ma natomiast zmiana względem lat poprzednich — w 2024 roku, aż 1/5 respondentów mniej uznała, że ma problem ze znalezieniem specjalistów ds. designu, co jest znaczącą poprawą. Biorąc pod uwagę datę premiery chatu od OpenAI można uznać, że poziom edukacji w tym obszarze dynamicznie rośnie, a co za tym idzie — wpływ generatywnej sztucznej inteligencji będzie gwałtownie postępował, wpływając tym samym na optymalizację procesów w produkcji oraz postprodukcji.

3.1.2 Wzrost produktywności

Dokonując analizy prognoz McKinsey z 2023 roku, można dostrzec, że wpływ generatywnego AI w całej branży medialno-rozrywkowej, będzie znaczący. Plasuje się ona na szóstym z dwudziestu dwóch analizowanych miejsc w tabeli 8, szacując tym samym wpływ potencjału wzrostu produktywności jako procent przychodów w zakresie 1,8 – 3,1%. Oznacza to, że generatywna sztuczna inteligencja może przełożyć się na znaczące korzyści finansowe i operacyjne dla firm działających w tym sektorze, przyczyniając się do zwiększenia efektywności procesów oraz optymalizacji kosztów.

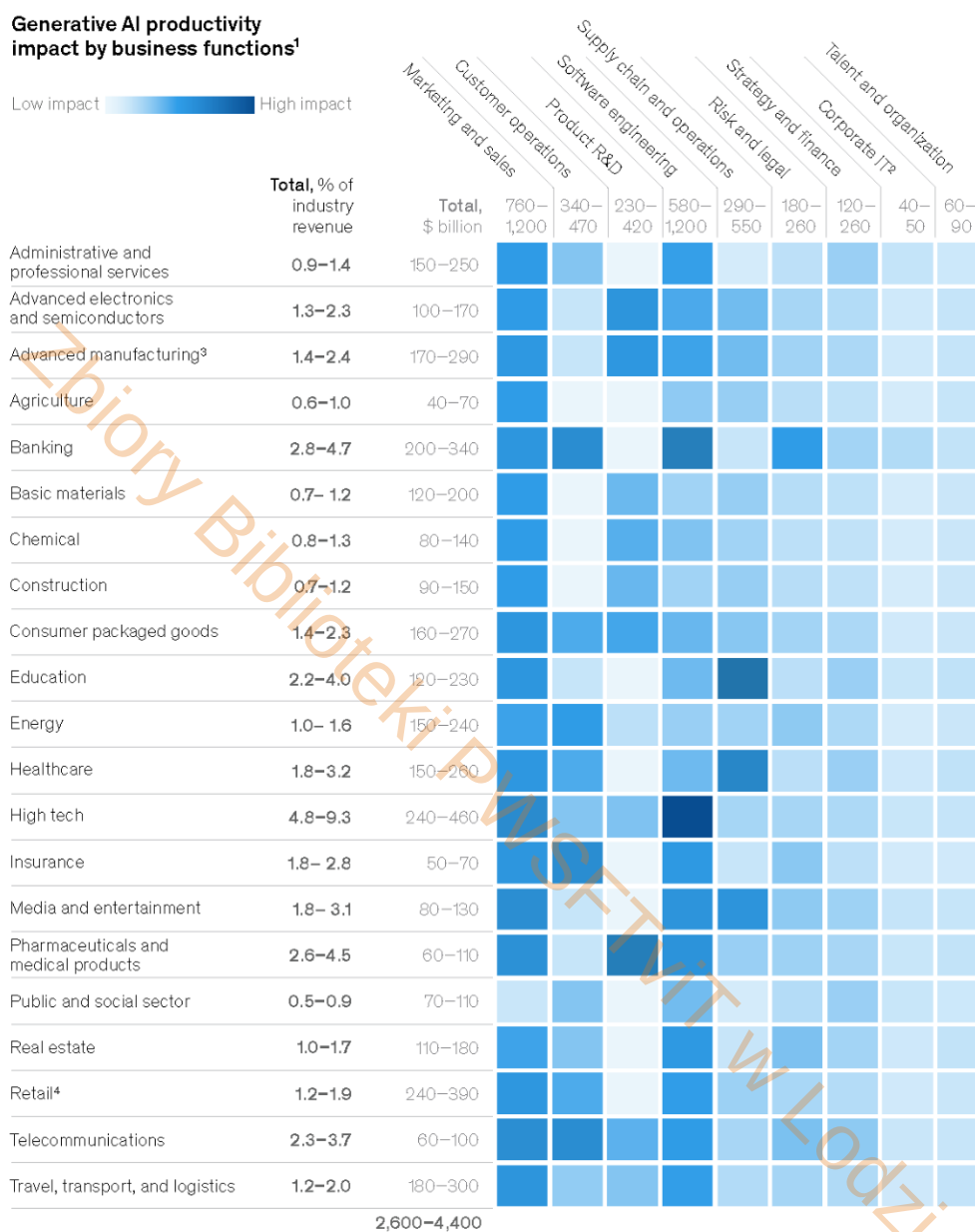
Warto podkreślić, że szczególnie duży wpływ generatywnego AI w branży medialno-rozrywkowej prognozowany jest w obszarze marketingu oraz sprzedaży. Z analizy graficznej wynika, że to właśnie te funkcje biznesowe mogą najbardziej skorzystać z wdrożenia zaawansowanych narzędzi AI, co może przełożyć się na lepsze targetowanie odbiorców, personalizację treści oraz skuteczniejsze kampanie reklamowe. W efekcie firmy medialne i rozrywkowe będą mogły szybciej reagować na zmieniające się trendy rynkowe, efektywniej zarządzać budżetami marketingowymi oraz osiągać wyższą konwersję działań promocyjnych.

Tabela 8 Wpływ generatywnej sztucznej inteligencji na produktywność według funkcji w biznesie.

Generative AI use cases will have different impacts on business functions across industries.

Generative AI productivity impact by business functions¹

Low impact  High impact



Note: Figures may not sum to 100%, because of rounding.

¹Excludes implementation costs (eg, training, licenses).

²Excluding software engineering.

³Includes aerospace, defense, and auto manufacturing.

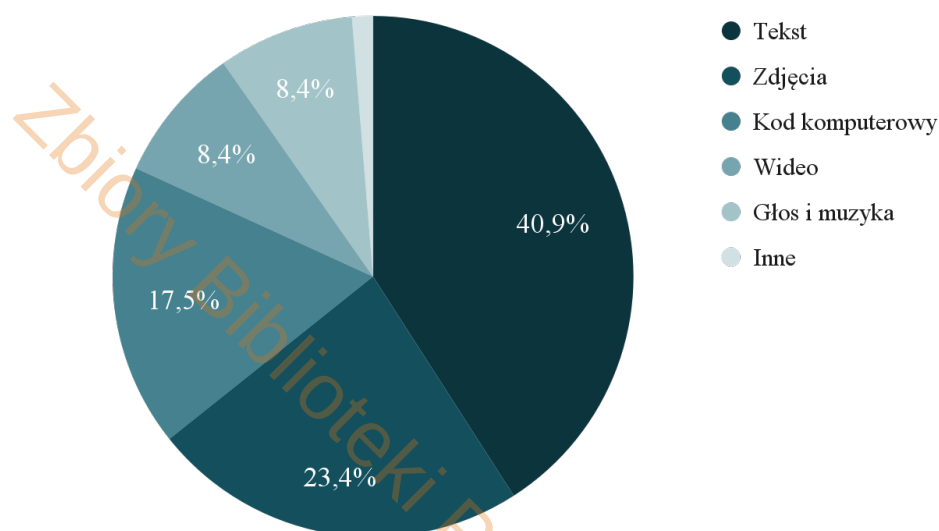
⁴Including auto retail.

Source: Comparative Industry Service (CIS), IHS Markit; Oxford Economics; McKinsey Corporate and Business Functions database; McKinsey Manufacturing and Supply Chain 360; McKinsey Sales Navigator; Ignite, a McKinsey database; McKinsey analysis

Źródło: M. Chui, E. Hazan, R. Roberts, A. Singla, K. Smaje, A. Sukharevsky, L. Yee, R. Zimmel, *The economic potential of generative AI: The next productivity frontier*, czerwiec 2023, s. 25, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#/> [dostęp: 10 maja 2025].

W 2025 roku AI jest już z powodzeniem wykorzystywana do tworzenia treści copywriterskich, a nawet wideo. Jednym z popularnych przykładów jest reklama „The Holiday Magic is coming” stworzona przez Coca-Cola. Do jej stworzenia wykorzystano modele AI odpowiedzialne za generowanie treści wideo, takie jak Runway, Kling, Leonardo, czy Luma³⁵.

Rys. 15 Rodzaje treści tworzonych przez gen. AI w organizacjach respondentów.



Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych od 1,491 uczestników badania na różnych szczeblach organizacji. A. Singla, A. Sukharevsky, L. Yee, M. Chui, B. Hall, *The state of AI: How organizations are rewiring to capture value*, marzec 2025, s. 20, <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai/> [dostęp: 10 maja 2025].

Jednak patrząc na dane z rys. 15 nietrudno dostrzec, że treści wideo odpowiadają jedynie za 17,5% użyteczności AI w biznesie i pozycjonują się na trzecim miejscu za tekstem i zdjęciami. Ponadto przykłady komercyjnych pełnoprawnych produkcji wykonanych w 100% przez AI, są raczej publikowane w ramach jednostkowych ciekawostek. Problemem, który prowadzi do takich wniosków w drugim kwartale 2025 roku, jest brak spójności generowanych treści wideo, co znacząco utrudnia przeprowadzenie spójnej wizji artystycznej od okresu developmentu, aż po postprodukcję. Jednak nie przeszkadza to w używaniu AI do prac koncepcyjnych.

³⁵ Dani Di Placido, *Coca Cola's AI-Generated Ad Controversy, Explained*, „Forbes” 2024, <https://www.forbes.com/sites/danidiplacido/2024/11/16/coca-colas-ai-generated-ad-controversy-explained/>

3.1.3 Innowacje oraz wyzwania

Pełne możliwości generatywnej sztucznej inteligencji zostaną z pewnością zastosowane w filmie i telewizji w momencie udostępnienia użytkownikom większej kontroli nad generowanym materiałem. Obecnie największe możliwości oferuje w tym zakresie ComfyUI³⁶ w połączeniu z ControlNetem³⁷, które pozwalają na relatywnie dużą kontrolę nad kreowanymi treściami. Niestety oprogramowanie to jest wciąż skierowane głównie do pasjonatów, ponieważ opiera się w dużej mierze na open-source'owych³⁸ projektach, wymaga znacznej mocy obliczeniowej oraz wciąż nie umożliwia generowania w prosty sposób oczekiwanych rezultatów.

Generatywna sztuczna inteligencja znacząco wpłynie na optymalizację procesów w postprodukcji filmowej wraz z:

- rozwojem technologicznym, umożliwiającym znaczne zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów,
- postępującymi badaniami i rozwojem modeli, poprawiającym optymalizację obecnych rozwiązań,
- wprowadzeniem do komercyjnych wersji oprogramowania pełnoprawnych rozwiązań umożliwiających generowanie AI³⁹.

³⁶ ComfyUI to oparty na node'ach program typu open source, który umożliwia użytkownikom generowanie obrazów na podstawie serii odpowiedzi tekstowych, wizualnych, czy przeszkolonych do konkretnych celów modeli LoRa (adaptacji niskiego rzędu), pozwalających na generowanie realnych obiektów lub ludzi w dowolnie wybranym otoczeniu. Wykorzystuje on darmowe modele dyfuzji, takie jak Stable Diffusion (do obrazów), czy Wan (do wideo), jako modele bazowe do obrazowania w połączeniu z innymi narzędziami, takimi jak na przykład ControlNet. Przy czym każde narzędzie jest reprezentowane przez węzeł w programie (tzw. node).

³⁷ ControlNet rozwiązuje problem spójności przestrzennej. Wcześniej nie było skutecznego sposobu, aby powiedzieć modelowi AI, które części obrazu wejściowego należy zachować. ControlNet pozwala na korzystanie z dodatkowych informacji przekazywanym podczas procesu generowania. Mówią one dokładnie, jaki kształt ma przybrać generowany obraz.

³⁸ W przypadku open source kod źródłowy, plany i dokumentacja są swobodnie dostępne publicznie. Open source promuje powszechny dostęp do projektu oraz umożliwia ich dowolne rozpowszechnianie. Można go używać, modyfikować względem pierwotnego projektu oraz publikować jego własną wersję (tzw. fork).

³⁹ Obecnie już istnieją rozwiązania umożliwiające generowanie wideo oraz fragmentów obrazu w oprogramowaniu do obróbki zdjęć czy wideo takim jak Photoshop, czy Premiere Pro. Jednak bardziej służą jako asysta, niż pełnoprawne narzędzia kreowania filmów od zera.

Za tym, że nieuchronnie to nastąpi, przemawiają przede wszystkim kwestie takie jak:

1. Koszty uruchamiania modeli AI, takich jak GPT-3.5, spadły 280-krotnie w okresie od listopada 2022 do października 2024 roku, co umożliwiło szersze zastosowanie generatywnych modeli wideo i obrazów przez startupy i mniejsze firmy⁴⁰.
2. Prywatne inwestycje w AI wzrosły w Europie o 60% od 2023 roku, natomiast w Stanach Zjednoczonych odnotowały wzrost 50,7% w tym samym okresie — oraz wzrost o 78,3% od 2022 roku⁴¹.
3. Sprzęt AI staje się szybszy, tańszy i bardziej energooszczędny. Nowe badania sugerują, że wydajność sprzętu do uczenia maszynowego — mierzona operacjami zmiennoprzecinkowymi 16-bitowymi — rośnie o 43% rocznie, podwajając się co 1,9 roku. Wydajność kosztowa również uległa poprawie — koszty spadają o 30% rocznie, podczas gdy efektywność energetyczna wzrasta o 40% rocznie⁴².

3.2 Optymalizacje procesów

Jak wcześniej zazaczyłem jedną z optymalizacji generujących największe oszczędności zarówno czasu, jak i pieniędzy może być w pełni kontrolowana możliwość tworzenia obrazów oraz materiałów wideo.

ComfyUI oraz ControlNet

Jednymi z technicznych rozwiązań, które mogą zoptymalizować kreację generatywnych treści wizualnych są między innymi implementacje rozwiązań współpracujących z modelem ControlNet pod ComfyUI. Opierających się na przekazaniu dodatkowego sygnału do sieci neuronowej⁴³ (modelu UNet), który wpływa na przebieg generacji. W tym możemy wymienić preprocesory⁴⁴ takie jak:

⁴⁰ Y. Gil, R. Perrault, L. Fattorini, V. Parli, N. Maslej, Chapter 1: Research and Development, w: *Artificial Intelligence Index Report 2025*, red. N. Maslej, Stanford University, Stanford 2025, s. 64.

⁴¹ Ibid., s. 253.

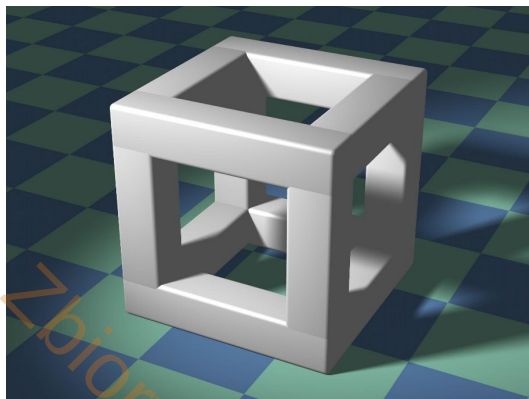
⁴² Ibid., s. 13.

⁴³ Neural network (machine learning), [https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network_\(machine_learning\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network_(machine_learning)) [dostęp: 10 maja 2025]. Sztuczne sieci neuronowe są wykorzystywane do różnych zadań, w tym modelowania predykcyjnego, sterowania adaptacyjnego i rozwiązywania problemów w sztucznej inteligencji. Mogą one uczyć się na podstawie doświadczenia i wyciągać wnioski ze złożonego i pozornie niepowiązanego zestawu informacji.

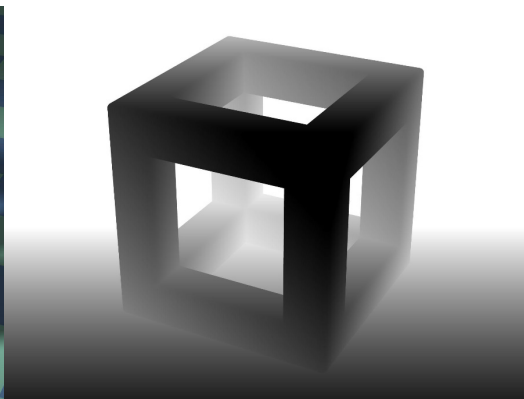
⁴⁴ W informatyce preprocesor to program, który przetwarza dane wejściowe w celu uzyskania danych wyjściowych, które są używane jako dane wejściowe w innym programie. Ilość i rodzaj wykonanego przetwarzania zależy od charakteru preprocesora.

- mapa głębi (*ang. depth map*)⁴⁵ — umożliwiająca wskazanie konkretnej orientacji przestrzennej obiektów w scenie,

Rys. 16 Struktura sześcienna.



Rys. 17 Mapa głębi: ciemne elementy bliżej.



Źródło: Depth map, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_map [dostęp: 10 maja 2025].

- detekcja krawędzi — umożliwiająca dokładne odzwierciedlenie kształtu i detali elementów znajdujących w kadrze,

Rys. 18 Obraz przed preprocesorem.



Rys. 19 Detekcja krawędzi.



Źródło: Opracowanie własne.

- estymacja ludzkiej postawy — umożliwiająca precyzyjne odzwierciedlenie postawy człowieka uchwyconej na obrazie.

⁴⁵ C. Tricart, *3D Filmmaking*, Routledge, 2016, s. 82. W grafice komputerowej 3D mapa głębi jest obrazem lub kanałem obrazu, który zawiera informacje odnoszące się do odległości powierzchni obiektów sceny od punktu widzenia.

Rys. 20 Obraz przed preprocesorem.



Rys. 21 Estymacja ludzkiej postawy.



Źródło: Opracowanie własne.

Obszary zastosowań AI

Obszar zastosowań generatywnej sztucznej inteligencji na rynku mediowym ma niezwykle szeroki potencjał. Poczynając od wcześniej wymienionych rozwiązań pozwalających na generowanie tekstu, przez generatory obrazów i materiałów wideo, po usługi zajmujące się generowaniem głosu lektorskiego, dubbingu czy muzyki. Obecnie nie sposób wymienić wszelkich usług, zajmujących się wyżej opisanymi obszarami. Na pewno godne uwagi pozostają na przykład modele firm takich, jak: OpenAI (ChatGPT, Sora), Google (Veo), Kuaishou Technology (Kling), Runway AI Inc. (Runway), Higgsfield AI (Higgsfield), Suno Inc. (Suno AI), HeyGen umożliwiające tworzenie realistycznych wideo z udziałem awatarów AI, czy chociażby polski ElevenLabs, który podbił światowy rynek generowania głosu za pomocą AI⁴⁶.

Podsumowując, w najbliższych latach generatywna sztuczna inteligencja będzie miała znaczący wpływ na optymalizację procesów zarówno produkcji, jak i postprodukcji filmowo-reklamowej. Wprowadzenie uczenia maszynowego może znacząco usprawnić i zrewolucjonizować branżę medialną, pomagając tworzyć filmy — poczynając od przygotowania scenariusza oraz storyboardu, przez tworzenie w pełni wygenerowanych komputerowo ujęć z promptów⁴⁷ oraz przygotowanych referencji, po udźwiękowienie całego procesu głosem lektorskim, dubbingiem czy po prostu tworząc w pełni responsywne

⁴⁶ Ivan Mehta, Ingrid Lunden, *ElevenLabs, the hot AI audio startup, confirms \$180M in Series C funding at a \$3.3B valuation*, TechCrunch, 30 stycznia 2025, <https://techcrunch.com/2025/01/30/elevenlabs-raises-180-million-in-series-c-funding-at-3-3-billion-valuation> [dostęp: 4 czerwca 2025]

⁴⁷ Prompt to tekst w języku naturalnym opisujący zadanie, które powinna wykonać sztuczna inteligencja. Podpowiedź dla modelu językowego typu tekst-tekst może być zapytaniem, poleceniem lub dłuższą wypowiedzią zawierającą kontekst, instrukcje i historię konwersacji. Inżynieria podpowiedzi może obejmować sformułowanie zapytania, określenie stylu, dobór słów i gramatyki, zapewnienie odpowiedniego kontekstu lub opisanie postaci, którą sztuczna inteligencja ma naśladować.

awatary lub duplikując rzeczywiste przedmioty i postacie. Ograniczy przy tym koszty i czas potrzebny na wykonanie poszczególnych zadań przez wyspecjalizowanych pracowników. Skala estymowanych implikacji dla rynku postprodukcji filmowo-reklamowej z tego powodu wraz ze względną oceną wcześniej analizowanych zagadnień takich, jak porównanie kodeków, zostanie oceniona na podstawie serii wywiadów przeprowadzonych ze specjalistami z branży efektów specjalnych, działającymi na warszawskim rynku postprodukcji.

4. Względna ocena wpływu analizowanych zagadnień na aspekty produkcyjne

Rozdział ten zostanie poświęcony na sesję pytań i odpowiedzi przeprowadzonej z trzema supervisorami⁴⁸ z branży filmowo-reklamowej. Ma on na celu zweryfikować realne założenia i potrzeby studiów postprodukcyjnych oraz ma być punktem odniesienia dla wniosków otrzymanych na podstawie przeprowadzonych i opisanych badań w niniejszej pracy.

4.1 Pytania

Pytanie 1: Który kodek uważasz za najbardziej odpowiedni do pracy podczas postprodukcji? Dlaczego?

Pierwszy z supervisorów wskazał na format DPX. Argumentował, że jest to rozwiązanie wybierane najczęściej w jego domu postprodukcyjnym ze względu na wysoką jakość i wygodę pracy. Szczególną zaletą DPX-ów jest możliwość nadpisywania tylko wybranych fragmentów materiału bez konieczności ponownego przeliczania całości, co znacząco usprawnia proces.

Drugi supervisor zwrócił uwagę na ProRes 4444 XQ, jako kodek oferujący dobrą jakość obrazu, szybki workflow i szeroką kompatybilność z różnymi narzędziami. Dodał także, że

⁴⁸ Wywiady dostępne w archiwum własnym. Ankietowani artyści:

Supervisor 1 - aktywny zawodowo specjalista z 8-letnim stażem, specjalizuje się w compositingu. Brał udział w realizacji kampanii reklamowych dla marek takich jak: Żywiec, Porsche, McDonalds.

Supervisor 2 - aktywny zawodowo specjalista z 10-letnim stażem, specjalizuje się w compositingu. Brał udział w realizacji kampanii reklamowych dla marek takich jak: Millennium, Wedel, BLIK.

Supervisor 3 - aktywny zawodowo specjalista z 12-letnim stażem, specjalizuje się w 3D. Brał udział w realizacji kampanii reklamowych dla marek takich jak: Desperados, Netia, Lotto.

MP4 jest idealnym wyborem do przesyłania wersji roboczych (WIP-ów), ponieważ generuje małe pliki, które są łatwe do otwarcia i szybkie do przesłania.

Trzeci supervisor, z którym rozmawiałem, zdecydowanie preferuje ProRes. Wyjaśnił, że pracując na pełnych klatkach, nie musi obawiać się błędów wynikających z międzyklatkowej kompresji, co znacznie ułatwia zadania takie jak tracking, rotoscoping czy keying. ProRes zapewnia wysoką jakość obrazu i dużą ilość informacji, co przekłada się na bardziej precyzyjny grading i compositing. Dodatkowo, pliki w tym formacie dekodują się szybko, co przyspiesza pracę w programach takich jak After Effects czy DaVinci Resolve, nawet przy większych rozdzielczościach. Co dla niego kluczowe, ProRes gwarantuje, że wielokrotne renderry pośrednie nie obniżają jakości materiału, co jest ogromną zaletą w dłuższych procesach postprodukcyjnych.

Otrzymane odpowiedzi zdecydowanie pokrywają się z badaniami oraz moimi własnymi obserwacjami. Kodek ProRes, a w szczególności wersja 4444 XQ jest uważana za niezwykle ułatwiającą proces postprodukcji. Ciekawym spostrzeżeniem nieuwzględnionym wcześniej w pracy jest możliwość nadpisywania dowolnych fragmentów klipów podczas korzystania z formatu DPX. Wartym zaznaczenia jest brak zainteresowania kodekiem DNxHR.

Pytanie 2: Jakie sytuacje wymagają użycia formatu DPX? Jak wpływa to na końcowy efekt?

Pierwszy z supervisorów wyjaśnił, że stosuje DPX-y przede wszystkim w ujęciach, gdzie kluczowa jest pełna kontrola nad obrazem bez jakiegokolwiek utraty jakości. Zauważył, że obraz w tym formacie wygląda czysto i profesjonalnie, co jest szczególnie widoczne przy intensywnych efektach wizualnych. Choć klienci często nie znają technicznych szczegółów, dostrzegają różnicę – finalny obraz wydaje się „droższy” i bardziej dopracowany. To z kolei pozytywnie wpływa na ich decyzję o akceptacji wersji końcowej, zmniejszając potrzebę wprowadzania poprawek.

Drugi supervisor podkreślił, że w projektach wymagających intensywnego color gradingu lub efektów wizualnych (VFX) wybiera kodek, który zapewnia maksymalną jakość i elastyczność, co pozwala mu osiągać najlepsze rezultaty w tych zadaniach.

Trzeci supervisor wskazał, że DPX daje mu pełną kontrolę i precyzję podczas gradingu, co jest szczególnie istotne w przypadku reklam czy teledysków. Dzięki temu może w większym stopniu ingerować w finalny obraz, co może mieć znaczenie dla klienta. Zauważył również, że materiały z pełnym zakresem tonalnym, takie jak te w formacie DPX, lepiej nadają się do późniejszego przekształcania na formaty przeznaczone dla telewizji, kina czy internetu.

Respondenci zaznaczyli, że mimo znacznych korzyści płynących z użycia kodeka ProRes, decydują się na kodek DPX, w sytuacjach kiedy wymagana jest jakość pozwalająca na intensywny color grading lub niezwykle wymagające efekty wizualne. Pokrywa się to wynikami badań (tabela 4), w których to odnotowano nieznaczny spadek jakości wizualnej materiału ProRes względem materiału zapisanego w formacie DPX.

Pytanie 3: Które elementy reklamy (np. green screen, motion design, beauty work) najbardziej cierpią na redukcji kolorów (4:2:2, 8-bit) i w jakim stopniu? Kiedy warto stawiać na subsampling 4:4:4 oraz 12-bitowe formaty?

Pierwszy z supervisorów wyjaśnił, że największe problemy zauważa przy pracy z green screenem, gdzie stosowanie formatów 4:2:2 i 8-bitów powoduje trudności z precyzyjnym wycięciem krawędzi. Chroma keying staje się wtedy mniej dokładny, co prowadzi do szumów, utraty detali lub przebić koloru tła. W przypadku beauty work również napotyka ograniczenia – niska głębia kolorów utrudnia uzyskanie płynnych przejść tonalnych na skórze, a przy intensywniejszej korekcji w 8-bitach szybko pojawia się banding i artefakty. W motion designie, szczególnie przy nakładaniu grafik czy efektów z przezroczystościami, kompresja kolorów skutkuje nieestetycznymi przejściami i zniekształceniami, zwłaszcza na gradientach.

Drugi supervisor podkreślił, że największe trudności obserwuje przy green screenie, beauty work oraz gradientach. Stosowanie formatu 4:4:4 i 12-bitów jest dla niego kluczowe w przypadku precyzyjnego kluczowania czy ujęć beauty. Zauważył, że subsampling jest przydatny, gdy po zakończeniu compositingu i online'u materiał wraca na korekcję koloru, w celu wykonania finalnych poprawek – wtedy może zachowuje wszystkie informacje o kolorze i pomaga uniknąć utraty jakości.

Trzeci supervisor wskazał, że wszystkie wymienione przykłady – kluczowanie, beauty work, projekty fashion, food czy motion design – cierpią na redukcji próbkowania i niskiej głębi bitowej. Przy kluczowaniu obniżona rozdzielczość kanałów i niska głębia bitowa utrudniają pracę, powodując utratę konturu i nieprecyzyjne kluczowanie włosów, pełne artefaktów. W projektach fashion, beauty czy food'owych traci swobodę w korekcji kolorów i cieni, a banding i artefakty pojawiają się wcześniej. W motion designie łączenie elementów i warstw, szczególnie przy pracy z kanałami alfa i efektami świetlnymi, staje się trudniejsze.

Dlatego, jeśli efekt końcowy ma być najwyższej jakości i budżet na to pozwala, zawsze wybiera większy sampling i 12-bitową głębię kolorów, co na szczęście jest możliwe w większości przypadków.

Wywiady zdecydowanie potwierdzają wpływ podpróbkowania kolorów na aspekty produkcyjne i ukazują, że w profesjonalnych zastosowaniach właściwym rozwiązaniem pozostaje subsampling 4:4:4, który pozwala na niezakłóconą pracę przy profesjonalnych produkcjach. Co za tym idzie ProRes spełnia te wymagania i może być z powodzeniem stosowany w przypadku pracy na green screenie, czy przy beauty work.

Pytanie 4: Czy macie przykłady, gdzie optymalizacja workflow pozwoliła zaoszczędzić czas oraz znacząco zmniejszyć koszty wpływając na sukces projektu?

Pierwszy z supervisorów podał przykład projektu dla dużej sieci fastfoodowej, gdzie pracował nad digital menu boardami, wykorzystując ujęcia kręcone kamerą Phantom – w zwolnionym tempie, w wysokich rozdzielczościach i z dużą ilością danych. Początkowo planował używać formatu DPX, ale szybko zorientował się, że po korekcji kolorów materiał zajmowałby ogromną przestrzeń dyskową, co znacząco spowolniłoby dalszą pracę. Zdecydował się więc na ProRes 4444 XQ, który oferował dobrą jakość przy mniejszym obciążeniu dysków i sieci. Dzięki tej zmianie przyspieszył wymianę materiału między działami, uniknął konieczności dokupowania dodatkowej przestrzeni dyskowej i zapewnił komfort pracy, nie tracąc przy tym na jakości wizualnej. To przykład, w którym wybór odpowiedniego kodeka realnie przełożył się na oszczędność czasu, kosztów i płynność procesu.

Drugi supervisor wskazał, że w swojej pracy przy materiałach w rozdzielczości 4K przejście z DPX na ProRes 4444 XQ znacznie przyspieszyło obróbkę ujęć i pozwoliło mu zaoszczędzić mnóstwo czasu.

Trzeci supervisor nie podał konkretnego przykładu.

Supervisorzy jednoznacznie wskazali na znaczne korzyści płynące z wprowadzenia kodeków takich jak ProRes 4444 XQ do workflow postprodukcyjnego. W tym znaczną optymalizację kosztów i czasu postprodukcji. Wskazuje to na znaczny potencjał zmian w przepływie pracy z udziałem kodeka ProRes, który zgodnie z przeprowadzonymi badaniami daje mierzalną poprawę wydajności, przy zmniejszeniu zapotrzebowania na przestrzeń dyskową.

Pytanie 5: Jakie są największe wyzwania przy łączeniu elementów 3D z materiałem live-action w reklamach? Jak można zoptymalizować procesy z nimi związane?

Pierwszy z supervisorów wyjaśnił, że największym wyzwaniem, z którym się spotyka, jest realistyczne dopasowanie elementów 3D do ujęcia, szczególnie pod kątem trackingu, oświetlenia, perspektywy i kolorystyki. Nawet najmniejsze rozbieżności sprawiają, że element 3D wygląda sztucznie, jakby był „doklejony”. Często napotyka trudności związane z brakiem odpowiednich danych z planu zdjęciowego, takich jak niedokładne trackery, brak HDRI czy referencji świetlnych, co znacząco utrudnia oświetlenie i integrację 3D z obrazem. Zauważył, że dobrze zaplanowany pipeline i skuteczna komunikacja z planem zdjęciowym są kluczowe, aby uniknąć czasochłonnych poprawek na późniejszych etapach.

Drugi supervisor podkreślił, że dla niego największym wyzwaniem jest dopasowanie oświetlenia i perspektywy. W jego pracy pomaga stosowanie dobrego HDRI, fotogrametrii i precyzyjnego trackowania. Zauważył, że wysokiej jakości render 3D jest kluczowy, ponieważ ułatwia integrację i ogranicza czas poświęcony na poprawki w procesie compositingu.

Trzeci supervisor wskazał, że jednym z głównych wyzwań, które napotyka przy łączeniu elementów 3D z materiałem live-action w reklamach, jest osiągnięcie spójności wizualnej. Kluczowe jest idealne dopasowanie światła, koloru i perspektywy. Problemem bywa trackowanie, zwłaszcza gdy ujęcie na planie nie było odpowiednio przygotowane. Zdarzały się ujęcia, które były niemal niemożliwe do precyzyjnego trackowania z powodu złego oświetlenia, ruchu kamery czy motion blur. Często problemem jest brak wiedzy reżysera, niedostateczny nadzór nad procesem na planie lub brak dokładnych ustaleń przed zdjęciami. Z jego doświadczenia wynika, że najlepsze efekty osiąga, gdy procesy 3D i compositingu są zsynchronizowane z planem zdjęciowym, a nie traktowane jedynie jako „postprodukcja na końcu”. Im wcześniej ma wpływ na pipeline, tym mniej problemów pojawia się w finalnym renderze.

Niniejsza praca traktuje o optymalizacji przepływu pracy, co okazuje się jednym z najważniejszych zagadnień podczas łączenia elementów 3D z materiałem z planu. Supervisorzy zaznaczają potrzebę planowania workflow, które podkreśla rolę compositingu idącego w parze z planem zdjęciowym. Ciekawym spostrzeżeniem jest często obserwowany

brak przykładania należytej uwagi do planowania i optymalizacji procesu postprodukcji na etapie rozwoju projektów. Potwierdza to wagę analizowanego zagadnienia.

Pytanie 6: Jakie nowe technologie widzicie jako kluczowe dla przyszłości postprodukcji reklamowej w ciągu najbliższych 5 lat?

Pierwszy z supervisorów wskazał, że widzi ogromny potencjał w sztucznej inteligencji (AI), która już teraz wspiera procesy takie jak rotoskopia, tracking, denoise'owanie czy upscale. W najbliższych latach AI może przejąć jeszcze więcej żmudnych, technicznych zadań, co pozwoli mu skrócić czas pracy i skupić się na bardziej kreatywnych aspektach. Zauważył również, że renderowanie w chmurze staje się coraz istotniejsze, szczególnie przy dużych projektach 3D lub w przypadku krótkich terminów. Dzięki temu może rozproszyć obciążenie i pracować szybciej bez konieczności inwestowania w lokalny sprzęt. Coraz większą rolę odgrywają także wirtualne produkcje i ekrany LEDowe, które zastępują green screen w reklamach, oferując lepszą kontrolę nad oświetleniem i ułatwiając integrację z postprodukcją. Obserwuje również rozwój narzędzi real-time, takich jak Unreal Engine, które umożliwiają szybkie tworzenie previzów, testowanie animacji na żywo i coraz częściej znajdują zastosowanie w gotowych produkcjach reklamowych.

Drugi supervisor podkreślił, że szczególnie docenia AI, zwłaszcza w zadaniach takich, jak cleanup, generowanie tła, tworzenie animatów czy szybkich mockupów, co znacząco usprawnia proces.

Trzeci supervisor zauważył, że AI i renderowanie w chmurze automatyzują powtarzalne czynności w jego pracy. Silniki takie jak Unreal Engine czy generatywne AI pozwalają mu tworzyć więcej i szybciej, co przekłada się na niższe koszty. Dzięki tym narzędziom postprodukcja reklamowa staje się mniej technicznym etapem, wykonywanym na końcu produkcji, a bardziej kreatywnym procesem, który można wdrażać już na wczesnych etapach tworzenia reklamy, pod warunkiem że uda się zachować spójność i wysoką jakość efektu końcowego.

Obecna sytuacja w branży filmowo-reklamowej potwierdza opisane w pracy tendencje na rynku. AI już pozwala generować obrazy i tła, które po odpowiedniej obróbce są używane przy dostarczaniu do emisji wysokobudżetowych kampanii reklamowych. Analizowane zagadnienie AI jest postrzegane w środowisku jako kluczowe dla przyszłości postprodukcji reklamowej.

Pytanie 7: Jakie kompetencje z zakresu AI stają się obecnie wymogiem przy zatrudnianiu w VFX w reklamie? Które narzędzia AI faktycznie oszczędzają czas, a które są wciąż zbyt niedojrzałe?

Pierwszy z supervisorów zauważył, że coraz częściej oczekuje się znajomości narzędzi AI wspomagających takie procesy jak rotoskopia, clean-up czy tracking. Przykłady to Runway,

Roto Brush 3.0 w After Effects, narzędzia w Nuke czy DaVinci Resolve do denoisowania lub generowania map głębi. Zauważył, że zrozumienie ich działania i ograniczeń jest już dużym atutem na rynku pracy. Jednak narzędzia AI do generowania całych assetów 3D czy złożonych animacji wciąż uważa się za niedojrzałe lub ryzykowne w kontekście produkcyjnym, ponieważ często brakuje im kontroli i powtarzalności. Podobnie narzędzia do generowania całych ujęć reklamowych są użyteczne do testów i tworzenia pomysłów, ale rzadko nadają się do uzyskania finalnego efektu.

Drugi supervisor stwierdził, że znajomość AI nie jest jeszcze kluczowa, ale zdecydowanie byłaby mile widziana. Najczęściej korzysta z takich narzędzi jak Runway, Sora, Luma czy Midjourney, które wspierają różne etapy pracy w VFX.

Trzeci supervisor, choć nie jest aktywny na rynku pracy, zauważył, że najprawdopodobniej w branży kreatywnej praktycznie każdy próbował różnych rozwiązań AI. Nowe narzędzia pojawiają się bardzo często. Wśród usprawnień, które AI wnosi do jego pracy, wymieniał wsparcie w maskowaniu, rotoskopii czy innych zadaniach tego typu. Generatywne AI ułatwia mu tworzenie referencji obrazkowych, co znacząco poprawia komunikację z reżyserem i klientem. Ponadto narzędzia generatywne wspierają go w tworzeniu rozszerzeń planu czy ramki (set/frame extension), choć obecnie nie zawsze ma nad nimi pełną kontrolę, jakiej by oczekiwał. Zauważył, że metoda prób i błędów przy użyciu tych narzędzi często prowadzi do ciekawych i nieoczekiwanych efektów.

Pierwszy supervisor pośrednio potwierdził analizowane statystyki (rys. 14), mówiące o znaczącej luce w dostępności wykwalifikowanych pracowników z umiejętnościami z obszaru AI na rynku pracy, sygnalizując, że samo zrozumienie ograniczeń i sposobu działania już jest dużym atutem na rynku pracy. Natomiast trzeci supervisor potwierdził obserwacje opisane we wcześniejszym rozdziale, mówiąc, że nie zawsze ma pełną kontrolę nad narzędziami AI. Zauważył, że metoda prób i błędów przy użyciu tych narzędzi często prowadzi do nieoczekiwanych efektów.

Pytanie 8: Czy generatywne AI jest wykorzystywane w Waszych projektach do tworzenia wstępnych assetów 3D lub tekstur? Jak wpływa to na workflow?

Pierwszy z supervisorów wyjaśnił, że coraz odważniej korzysta z narzędzi generatywnej AI, takich jak Stable Diffusion czy Midjourney. Używa ich do tworzenia wstępnych wersji assetów 2D i tekstur, a także coraz częściej do finalnych tła, na przykład po kluczowaniu green screena lub do podmiany nieba w ujęciach. Choć generowanie assetów 3D za pomocą AI jest jeszcze na wczesnym etapie rozwoju, narzędzia te dostarczają mu cennych inspiracji i materiałów referencyjnych. Największą zaletą we workflow jest przyspieszenie pracy – szybciej generuje pierwsze pomysły i koncepty, łatwiej wprowadza zmiany i iteruje. Dzięki temu może szybciej przejść do konkretnych zadań, a w przypadku tworzenia tła praca staje się znacznie bardziej efektywna.

Drugi supervisor zauważył, że generatywna AI bardzo przyspiesza procesy. Używa jej do generowania assetów, wykonywania cleanupów, rozszerzania kadrów oraz upscale'u ujęć, co znacząco usprawnia workflow.

Trzeci supervisor, odnosząc się do wcześniejszych uwag, potwierdził, że korzysta z generatywnej AI, która przyspiesza procesy i pozwala na swobodne eksperymentowanie na wczesnym etapie produkcji.

Supervisorzy potwierdzają badany w pracy znaczny wzrost produktywności dzięki AI w branży medialno rozrywkowej. Ponadto zwracają uwagę, na możliwości eksperymentowania, która może się przełożyć na wzrost kreatywności podczas przygotowywania projektów.

Pytanie 9: Jakie błędy w organizacji workflow najczęściej prowadzą do opóźnień lub przekroczenia budżetu w produkcjach reklamowych?

Pierwszy z supervisorów wskazał, że opóźnienia i przekroczenia budżetu w produkcjach reklamowych wynikają z kilku kluczowych problemów. Po pierwsze, niejasny brief i brak wizualizacji powodują konieczność wielokrotnych iteracji w postprodukcji. Po drugie, nierealistyczne harmonogramy postprodukcji, zakładające zbyt krótkie terminy na złożone efekty wizualne bez uwzględnienia poprawek, generują dodatkowe trudności. Po trzecie, słaba komunikacja między planem zdjęciowym a zespołem VFX, na przykład brak referencji oświetlenia czy markerów trackingu, prowadzi do problemów w postprodukcji. W końcu późne zmiany w koncepcji VFX lub długie oczekiwanie na akceptację klienta dodatkowo komplikują proces.

Drugi supervisor zauważył, że problemem jest brak standaryzacji plików i chaotyczna komunikacja. Szczególnym wyzwaniem jest zmiana montażu po rozpoczęciu prac nad online i compositingiem. Aby temu zaradzić, stosuje jasną strukturę folderów i regularne spotkania produkcyjne, co pomaga uporządkować proces.

Trzeci supervisor podkreślił, że opóźnienia wynikają z braku technicznego przygotowania przed zdjęciami – na planie często nikt nie myśli o potrzebach postprodukcji, co wydłuża cały proces. Często spotyka się z nierealistycznymi harmonogramami, gdzie oczekuje się szybkich i tanich efektów na poziomie blockbustarów. Problemem jest też brak komunikacji na każdym etapie produkcji, co prowadzi do przeszacowania potrzebnych zasobów. Tworzy się wtedy zbyt duże pliki, tekstury czy rendery, które często okazują się niepotrzebne, marnując czas i energię. Kluczem pozostaje dobra komunikacja od najwcześniejszych etapów przygotowań, ustalenie wszystkich szczegółów na początku i ich regularna kontrola w trakcie produkcji.

Wskazując na błędy, które prowadzą do opóźnień lub przekroczenia budżetu w produkcjach reklamowych pojawia się niejednokrotnie wątek nierealistycznych harmonogramów,

w przypadku których oczekuje się szybkich i tanich efektów na niezwykle wygórowanym poziomie. Rozwiązaniem tego problemu z pewnością może być optymalizacja procesów zarówno w produkcji, jak i postprodukcji filmowej. Warto jednak zaznaczyć, że równie ważnymi problemami poruszonymi w ankiecie były: niejasny brief, brak wizualizacji, czy problemy z komunikacją. Przeprowadzone analizy dowodzą, że poruszane w niniejszej pracy zagadnienia mają kluczowe znaczenie. Niemniej jednak uzyskane wyniki wskazują również na istnienie wielu aspektów, które pozostają otwarte i wymagają dalszych działań optymalizacyjnych oraz szczegółowych badań w przyszłości.

Pytanie 10: Czy konkurencja na rynku VFX w Polsce rośnie, jak sugerują dane GUS (wzrost liczby podmiotów o 40% w latach 2015–2021)? Jak małe studia mogą się wyróżnić?

Pierwszy z supervisorów stwierdził, że warto inwestować w budowanie silnej marki osobistej lub firmowej, poprzez aktywną obecność w mediach społecznościowych, udział w festiwalach i konkursach branżowych oraz rozwijanie sieci kontaktów w przemyśle filmowym i reklamowym. Pomaga to się wyróżnić i budować rozpoznawalność.

Drugi supervisor zauważył, że nietyczne zachowania tak jak notoryczne nadgodziny, praca w weekendy i wyzyskiwanie pracowników poprzez bezpłatne nadgodziny, może faktycznie pomóc niektórym domom produkcyjnym osiągnąć klientów kosztem etyki zawodowej.

Trzeci supervisor, choć nie jest pewien, czy konkurencja rośnie, z pewnością zauważa, że budżety na projekty maleją. Żeby się wyróżnić, stawia na jakość – „dobra robota zawsze się obroni”, w związku z tym nie stosuje półśrodków i wykazuje pełne zaangażowanie podczas realizowanych projektów. Każdy z nich traktuje jak swoją wizytówkę, nawet jeśli jest niskobudżetowy. Jego zdaniem, sukces nie wymaga krzykliwego wyróżniania się. Kluczowe jest szanowanie swojej pracy, klienta i siebie samego. Na koniec dnia to nie AI, nowa technologia czy efektowne logo w mediach społecznościowych budują sukces, ale relacje międzyludzkie, na których opiera się ta branża.

Ciekawymi spostrzeżeniami podzielili się supervisorzy w odniesieniu do wzrostu konkurencji w branży medialnej oraz prężnego rozwoju technologii AI. Zaznaczyli, że analizowane aspekty technicznej optymalizacji procesu produkcji to nie wszystko. Zwrócili uwagę, że relacje międzyludzkie i wzajemny szacunek, którym powinni się kierować kontrahenci, mają niebagatelne znaczenie. W odniesieniu do prognoz dotyczących zastąpienia powtarzalnych czynności grafików przez AI warto pamiętać, że umiejętności miękkie mogą zyskiwać jeszcze bardziej na znaczeniu.

Pytanie 11: O jak wysokich oszczędnościach mówimy, jeśli chodzi o postprodukcję z użyciem AI?

Pierwszy z supervisorów wyjaśnił, że efektywność AI zależy od zadania. Przy prostych operacjach, takich jak rotoskopia, clean-up czy szybki previz, potrafi skrócić czas pracy

nawet o 50–70%. Na przykład zadanie, które grafik wykonywał przez 2–3 dni, dzięki AI może zostać zrealizowane w kilka godzin, choć wymaga to późniejszych poprawek. Jeśli chodzi o koszty, zauważa oszczędności zwłaszcza przy większych projektach, takich jak kampanie z wieloma wersjami spotów. Dzięki AI można zredukować liczbę godzin pracy zespołu, co przekłada się na oszczędności rzędu od kilku do kilkunastu tysięcy złotych na jednym projekcie. Jednak AI nie zastępuje całkowicie zespołu – wspiera go, a przy bardziej skomplikowanych zadaniach wciąż potrzebuje ręcznej kontroli, poprawek i kreatywnych decyzji człowieka.

Drugi supervisor zauważył, że AI znacząco przyspiesza niektóre operacje, ale nadal wymaga to kontroli. Trudno mi dokładnie określić, jak duże są to oszczędności, ponieważ zależy to od specyfiki projektu.

Trzeci supervisor stwierdził, że trudno mu oszacować oszczędności, bazując na dotychczasowych projektach. Zauważa jednak, że AI przynosi większe korzyści na etapie preprodukcji, gdzie storyboardy i mood boardy może przygotować praktycznie każdy, bez potrzeby angażowania rysowników. W postprodukcji AI przyspiesza pracę, ale nie w takim stopniu, by mówić o znaczących oszczędnościach czasu czy pieniędzy. Jego zdaniem, AI bardziej wpływa na jakość pracy i efekt końcowy niż na drastyczne obniżenie kosztów.

Spostrzeżenia podane przez jednego z respondentów, szacują oszczędność czasu na poziomie 50-70%, dzięki czemu potwierdzają opisywany w pracy trend rozwoju AI oraz analizowane statystyki. Jednak zgodnie z obserwacjami AI wymaga ludzkiej kontroli. Statystyki te budzą jednak nadzieję na znaczną optymalizację procesów w niedalekiej przyszłości, tak jak obecnie zostało przyspieszone generowanie przewizualizacji.

Pytanie 12: Jakie problemy napotykacie w związku z użyciem narzędzi AI w workflow postprodukcyjnym?

Pierwszy z supervisorów wskazał, że napotyka kilka kluczowych problemów związanych z generatywną AI. Po pierwsze, brak powtarzalności – AI potrafi wygenerować świetny wynik raz, ale odtworzenie go przy poprawkach jest trudne. Po drugie, niska jakość detali, na przykład w rotoskopii, gdzie AI gubi się na krawędziach, włosach czy przezroczystościach. Po trzecie ograniczona kontrola – trudno mi precyzyjnie dostosować efekt do konkretnego briefu czy stylu. Ponadto AI generuje nieprzewidywalne błędy takie, jak zniekształcenia czy artefakty, które muszą zostać ręcznie poprawione. W końcu integracja z głównym pipeline'em bywa problematyczna, ponieważ niektóre narzędzia AI działają oddzielnie, co utrudnia płynną wymianę plików i wersji.

Drugi supervisor zauważył, że generowanie obrazów za pomocą AI zużywa dużo kredytów, a uzyskanie dobrego efektu często wymaga wielu prób. Zauważył również, że często narzędzia AI nie radzą sobie z tym, co naprawdę potrzebuję osiągnąć w projekcie.

Trzeci supervisor podkreślił, że głównym problemem, z którym się zmagają, jest brak kontroli nad generatywną AI. Często opiera się na metodzie prób i błędów, a każda poprawka ze strony klienta staje się wyzwaniem, ponieważ nie może precyzyjnie wprowadzić korekty. Jego zdaniem, obecne narzędzia generatywnej AI przypominają Termomix – wrzucamy dane, uruchamiamy proces i coś otrzymujemy, czasem nawet zadowolające, ale nie mamy nad tym pełnej kontroli. Uważa, że jeśli powstanie model AI, który umożliwi realizację projektu w sposób zbliżony do obecnego „ludzkiego” workflowu – od pomysłu, przez kolejne etapy i poprawki, aż do finalnego produktu – to zrewolucjonizuje rynek pracy i cały system produkcji treści audiowizualnych.

Jak się okazuje problematyka opisywana w rozdziale 3.2.1, jest obecna w aktualnym procesie postprodukcji. Zostało potwierdzone, że pełne możliwości generatywnej sztucznej inteligencji znajdują zastosowanie w momencie udostępnienia użytkownikom większej kontroli nad generowanym materiałem.

Pytanie 13: Jakie optymalizacje wprowadzilibyście do procesu postprodukcji, które znacząco by go usprawniły?

Pierwszy z supervisorów wskazał, że kluczowe dla poprawy efektywności jest kilka elementów. Po pierwsze, standaryzacja plików wejściowych – zauważył, że największe opóźnienia często wynikają z bałaganu w materiałach źródłowych. Jasne wytyczne dla planu zdjęciowego, dotyczące kodeków, przestrzeni barwnych czy nazewnictwa, znacznie ułatwiają proces. Po drugie, lepsza komunikacja między działami – szybki przepływ informacji między reżyserem, kolorystą, działem compositingu i montażystą pozwala unikać niepotrzebnych poprawek i powtórek. Po trzecie, automatyzacja powtarzalnych zadań, takich jak batchowe renderowanie, eksport wersji językowych, backupy czy konwersje formatów, które mogą powierzyć AI lub prostym skryptom. Ponadto większa integracja narzędzi, na przykład spójny pipeline między DaVinci Resolve, After Effects i Nuke, pomaga ograniczyć błędy i konwersje między formatami, które często pochłaniają najwięcej czasu. W końcu, dla cięższych projektów 3D stosuje renderowanie w chmurze, co skraca czas oczekiwania i odciąża lokalne maszyny.

Drugi supervisor stwierdził, że na chwilę obecną nie przychodzą mu do głowy nowe pomysły na poprawę efektywności procesu.

Trzeci supervisor zasugerował, że idealnym rozwiązaniem byłoby wprowadzenie jednego uniwersalnego formatu zapisu dla wszystkich kamer oraz jednego uniwersalnego profilu kolorystycznego, co znacznie uprościłoby proces postprodukcji.

Jeden z supervisorów podkreślił istotę poruszanych w pracy zagadnień oraz wyraził chęć wprowadzenia standaryzacji, w tym kodeków oraz automatyzacji z pomocą AI podkreślając tym samym znaczenie analizowanych zagadnień.

4.2 Wnioski

Analiza odpowiedzi udzielonych przez ekspertów z dziedziny postprodukcji reklamowej, pozwala na sformułowanie szeregu wniosków dotyczących kluczowych aspektów organizacji pracy, wyboru technologii oraz wyzwań w branży VFX. Respondenci zgodnie wskazują na znaczenie odpowiedniego doboru kodeków, takich jak ProRes 4444 XQ i DPX, w zależności od specyfiki projektu. ProRes ceniony jest za szybkość pracy, kompatybilność i zachowanie wysokiej jakości przy mniejszym obciążeniu infrastruktury, co przekłada się na optymalizację kosztów i czasu, szczególnie w projektach wymagających intensywnego compositingu czy color gradingu. DPX znajduje zastosowanie w sytuacjach wymagających pełnej kontroli nad obrazem, np. przy zaawansowanym gradingu, wyjątkowo wymagających efektach oraz szczególnie przy mniejszej ilości plików kamerowych.

W kontekście technicznych ograniczeń respondenci podkreślają problemy związane z redukcją kolorów (np. 4:2:2, 8-bit), które negatywnie wpływają na precyzję kluczowania green screenu, beauty work czy motion designu, powodując artefakty, banding czy utratę detali. Stosowanie formatów 4:4:4 i 12-bitowych jest zalecane w projektach wymagających najwyższej jakości, zwłaszcza w reklamach fashion czy teledyskach, gdzie swoboda korekcji kolorystycznej jest kluczowa. Optymalizacja workflow, np. poprzez wybór odpowiedniego kodeka czy standaryzację plików, pozwala znacząco zredukować czas i koszty, jak pokazują przykłady projektów foodowych, gdzie przejście na ProRes 4444 XQ przyspieszyło wymianę materiałów i ograniczyło zapotrzebowanie na zasoby dyskowe.

Wyzwania w łączeniu elementów 3D z materiałem live-action koncentrują się na trudnościach z realistycznym dopasowaniem oświetlenia, perspektywy i trackingu, wynikających często z niedostatecznej dokumentacji planu zdjęciowego. Respondenci wskazują na konieczność lepszej komunikacji między działami i wcześniejszego planowania pipeline'u, co minimalizuje czasochłonne poprawki. W odniesieniu do nowych technologii, narzędzia AI, takie jak Runway czy Roto Brush, oraz renderowanie w chmurze postrzegane są jako przyszłościowe, automatyzujące powtarzalne zadania i przyspieszające procesy kreatywne, np. generowanie tekstur czy previzów. Jednak generatywne AI, mimo przyspieszania pracy nad wstępnymi assetami, boryka się z brakiem powtarzalności,

ograniczoną kontrolą nad detalami i trudnościami w integracji z głównym pipeline'em, co ogranicza ich zastosowanie w finalnych efektach.

Kompetencje w zakresie AI stają się coraz bardziej pożądane w branży, choć nie są jeszcze wymogiem – znajomość narzędzi wspierających rotoskopię czy clean-up jest atutem, podczas gdy generowanie złożonych assetów 3D pozostaje niedojrzałe. Błędy w organizacji workflow, takie jak niejasne briefy, brak standaryzacji czy słaba komunikacja, prowadzą do opóźnień i przekroczenia budżetów, co podkreśla znaczenie precyzyjnego planowania i regularnych konsultacji między działami.

Podsumowując, efektywna postprodukcja reklamowa wymaga zbalansowanego podejścia do wyboru technologii, standaryzacji procesów i integracji nowych narzędzi, takich jak AI, przy jednoczesnym zachowaniu ścisłej komunikacji i planowania. Oszczędności czasowe i kosztowe osiągane dzięki optymalizacji i automatyzacji, muszą być równoważone z zapewnieniem najwyższej jakości wizualnej, która pozostaje kluczowym czynnikiem sukcesu w oczach klientów.

Podsumowanie

Zebrane w pracy licencjackiej dane o procesach optymalizacji workflow w branży VFX pozwoliły na sformułowanie szeregu wniosków, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu kodeków oraz nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja na optymalizację procesów produkcyjnych.

W kontekście technologicznym praca koncentruje się na roli kodeków, takich jak ProRes 4444 XQ, DNxHR i DPX, w optymalizacji workflow. ProRes jest preferowany ze względu na wysoką jakość, kompatybilność i mniejsze wymagania dyskowe w porównaniu do bezstratnego DPX, co potwierdzają testy wydajności w oprogramowaniu jak After Effects, gdzie ProRes osiąga o 17% lepszą wydajność niż DNxHR. Jednak DPX pozostaje niezastąpiony w projektach wymagających maksymalnej precyzji, np. przy intensywnym color gradingu. Wybór kodeka wpływa nie tylko na jakość wizualną, ale także na koszty – przejście na ProRes pozwala zaoszczędzić do 75% przestrzeni dyskowej w porównaniu do DPX, co w dużych projektach reklamowych przekłada się na znaczące oszczędności budżetowe.

Znaczenie infrastruktury technicznej, w tym macierzy dyskowych, uwypukla różnice w wydajności między SSD a HDD, gdzie macierze SSD oferują nawet 10-krotnie szybszy odczyt, przyspieszając transkodowanie i wymianę danych. Tego rodzaju optymalizacje sprzętowe, w połączeniu z odpowiednim doбором kodeków, są kluczowe dla redukcji wąskich gardeł w procesie postprodukcji. Jednocześnie badania wskazują na rosnące znaczenie AI, która już teraz rewolucjonizuje branżę poprzez automatyzację zadań, takich jak rotoskopia, clean-up czy generowanie wstępnych assetów 2D i tekstur za pomocą narzędzi jak Stable Diffusion, czy Runway. AI skraca czas pracy nawet o 50–70% w prostych zadaniach, co potwierdzają wywiady z superwizorami, choć ograniczenia, takie jak brak powtarzalności, niska kontrola nad detalami czy trudności z integracją z oprogramowaniem branżowym, wciąż hamują jej zastosowanie w bardziej złożonych procesach, takich jak generowanie assetów 3D czy pełnych ujęć reklamowych.

Wywiady z ekspertami branży VFX wskazują również organizacyjne wyzwania, takie jak niejasne briefy, brak standaryzacji plików czy słaba komunikacja między działami, które prowadzą do opóźnień i przekroczenia budżetów. Sugerowane rozwiązania, w tym

standaryzacja formatów, automatyzacja powtarzalnych zadań czy renderowanie w chmurze, wskazują na potrzebę holistycznego podejścia do optymalizacji, łączącego technologie z lepszym zarządzaniem procesami. W kontekście rynkowym praca odnotowuje wzrost konkurencji w polskim sektorze VFX (o 40% w latach 2015–2021 według GUS), co zmusza mniejsze studia do wyróżniania się poprzez wysoką jakość, budowanie relacji z klientami i aktywność w mediach branżowych.

Ponadto warto wskazać na dynamiczny rozwój generatywnej AI, napędzany spadkiem kosztów modeli (280-krotnie w latach 2022–2024) i wzrostem inwestycji (o 60% w Europie w 2023). Potencjalne funkcje AI w produkcji audiowizualnej obejmują generowanie scenariuszy, storyboardów, wideo, dubbingu czy awatarów, co może zrewolucjonizować zarówno preprodukcję, jak i postprodukcję, choć brak spójności generowanych treści wideo pozostaje wyzwaniem. Rozwój narzędzi takich jak ComfyUI z ControlNet, oferujących większą kontrolę nad generowaniem dzięki mapom głębi czy detekcji krawędzi, sugeruje przyszłe możliwości precyzyjniejszej integracji AI w kreatywnych procesach.

Podsumowując, optymalizacja postprodukcji filmowo-reklamowej wymaga zintegrowanego podejścia, łączącego dobór odpowiednich kodeków i infrastruktury sprzętowej, implementację AI w zadaniach wspierających oraz doskonalenie komunikacji i planowania. Choć AI i nowe technologie oferują znaczące oszczędności czasowe i kosztowe, ich pełny potencjał zostanie zrealizowany dopiero wraz z rozwojem bardziej kontrolowanych i zintegrowanych rozwiązań, co w połączeniu z tradycyjnymi metodami zarządzania workflow zapewni wysoką jakość wizualną i efektywność produkcji.

Bibliografia

- Brown B., *Cinematography: theory and practice: imagemaking for cinematographers and directors*, Routledge, Taylor & Francis Group, New York London 2016
- Case D., *Film technology in post production 2nd edition*, Focal Press, Oxford [U.K.] 2001
- Chui M., Hazan E., Roberts R., Singla A., Smaje K., Sukharevsky A., Yee L., Zimmel R., The economic potential of generative AI: The next productivity frontier, czerwiec 2023, s. 12, <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#/>
- Gil Y., Perrault R., Fattorini L., Parli V., Maslej N., *Chapter 1: Research and Development*, w: *Artificial Intelligence Index Report 2025*, red. N. Maslej, Stanford University, Stanford 2025
- Goulekas K., *Visual Effects in a Digital World: A Comprehensive Glossary of over 7000 Visual Effects Terms*, Morgan Kaufmann, San Francisco CA 2001
- Hendrykowski M., *Słownik terminów filmowych wyd. 1*, Ars nova, Poznań 1994
- Kalbarczyk K., *Artyści, technicy, magicy. Cyfrowe efekty wizualne*, „Ekrany 3-4(49-50)/2019”
- Motkowska-Wójcik M., Tarnowska G., Popielewicz I., Wieliczuk R., *Zmiany strukturalne grup podmiotów gospodarki narodowej w rejestrze REGON, 2024 r.*, GUS [online], marzec 2025. Dostępny w internecie: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/podmioty-gospodarcze-wyniki-finansowe/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow/zmiany-strukturalne-grup-podmiotow-gospodarki-narodowej-w-rejestrze-regon-2024-r-,1,29.html>
- Pinaya W.H., Graham M.S., Kerfoot E., Tudosi P.D., Dafflon J., Fernandez V., Sanchez P., Wolleb J., Da Costa P.F., Patel A., Chung H., *"Generative AI for medical imaging: extending the MONAI framework"*, w: arXiv preprint, red. Pinaya W.H., Graham M.S., Kerfoot E. i in., arXiv, 2023, arXiv:2307.15208, <https://arxiv.org/abs/2307.15208>
- Rickitt R., *Special Effects The History And Technique*, Billboard Books, 2000
- Roumeliotis K. I., Tselikas N. D., *ChatGPT and Open-AI Models: A Preliminary Review*, Future Internet 2023, 15(6), 192, <https://doi.org/10.3390/fi15060192>
- Savage T., *Understanding Digital Black and White Photography*, Crowood, England 2016
- Sęk-Koniarska E., *Etapy postprodukcji Digital Intermediate*, PWSFTViT, Łódź 2016
- Singla A., Sukharevsky A., Yee L., Chui M., Hall B., *The state of AI: How organizations are rewiring to capture value*, marzec 2025, s. 12, <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai#/>
- Szlubowska A., *Przemysły kultury i kreatywne w 2023 r.*, GUS [online], 27 marca 2025. Dostępny w internecie: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/kultura-turystyka-sport/kultura/przemysly-kultury-i-kreatywne-w-2023-r-,21,7.html>
- Tozer E. P. J., *Broadcast engineer's reference book*, Elsevier/Focal Press, Amsterdam; Boston Mass 2004
- Tricart C., *3D Filmmaking*, Routledge, 2016
- Weynand D., Piccin V., Weise M., *How Video Works. 3rd edn.*, Focal Press, New York 2016

Źródła informacji

Best Overall Image Quality: Analog knowledge brought to the digital domain, ARRI Learn & Help, <https://www.arri.com/en/learn-help/arri-camera-technology/best-overall-image-quality>

Chroma subsampling, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_subsampling

Codecs FAQ, Microsoft Support, <https://support.microsoft.com/en-us/windows/codecs-faq-392483a0-b9ac-27c7-0f61-5a7f18d408af>

Colour banding, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Colour_banding

Container format, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Container_format

Depth map, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_map

Di Placido D., *Coca Cola's AI-Generated Ad Controversy, Explained*, „Forbes” 2024, <https://www.forbes.com/sites/danidiplacido/2024/11/16/coca-colas-ai-generated-ad-controversy-explained/>

Green P., *Film scanning*, The Digital Intermediate Internet Guide, <http://www.digital-intermediate.co.uk/film/filmscanning.htm>

Kong D., *Compare 50 Intermediate Codecs on One Page*, frame.io insider, 13 lutego 2017, <https://blog.frame.io/2017/02/13/compare-50-intermediate-codecs>

Mehta I., Lunden I., *ElevenLabs, the hot AI audio startup, confirms \$180M in Series C funding at a \$3.3B valuation*, TechCrunch, 30 stycznia 2025, <https://techcrunch.com/2025/01/30/elevenlabs-raises-180-million-in-series-c-funding-at-3-3-billion-valuation>

Neural network (machine learning), [https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network_\(machine_learning\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network_(machine_learning))

Pramudita D. A., *Film or Digital? Breaking Down Hollywood's Choice of Shooting Medium*, The Pudding [online], sierpień 2018. Dostępny w internecie: <https://pudding.cool/2018/08/filmordigital/>

PugetBench for Creators, Puget Systems, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators>

PugetBench for DaVinci Resolve, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators/davinci-resolve>

PugetBench for Premiere Pro, <https://www.pugetsystems.com/pugetbench/creators/premiere-pro>

PugetBench for Premiere Pro 0.98 Testing Methodology, <https://www.pugetsystems.com/blog/2023/05/18/pugetbench-for-premiere-pro-0-98-testing-methodology>

RCraig09, *AI / Search term. Google Trends (2 February 2025). "Worldwide / 2004 - present / All categories / Web Search"*, Wikipedia, 2 lutego 2025, https://en.m.wikipedia.org/wiki/History_of_artificial_intelligence

The Execution of Mary Stuart, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/The_Execution_of_Mary_Stuart

The Most Popular Cinema Cameras, Y.M.Cinema Magazine, 29 maja 2024, <https://ymcinema.com/2024/05/29/the-most-popular-cinema-cameras>

Video Codecs, Glossary, <https://getstream.io/glossary/video-codecs>

Filmografia

The Execution of Mary Stuart, reż. A. Clark, USA, 1895.

Tatarak, reż. A. Wajda, Polska, 2009.

Zbiory Biblioteki PWSFTviT w Łodzi

Spis tabel

Tabela 1 Lista kodeków.	18
Tabela 2 Wyniki PugetBench for Premiere Pro.	20
Tabela 3 Wyniki testów wydajności pracy w After Effects z kodekami pośrednimi.	22
Tabela 4 Porównanie różnic wizualnych pomiędzy kodekami intermediate.	24
Tabela 5 Porównanie rozmiaru plików zakodowanych z pomocą kodeków pośrednich.	25
Tabela 6 Porównanie cen przestrzeni dyskowej w 2025 roku.	25
Tabela 7 Zestawienie szybkości zapisu.	27
Tabela 8 Wpływ generatywnej sztucznej inteligencji na produktywność według funkcji w biznesie.	33

Spis rysunków

Rys. 1 Kadr z filmu „The Execution of Mary Stuart”.	4
Rys. 2 Uproszczony schemat etapów powstawania cyfrowych efektów wizualnych.	5
Rys. 3 Liczba podmiotów zaliczanych do przemysłów kultury i kreatywnych.	8
Rys. 4 Przebieg procesu postprodukcji negatywu.	10
Rys. 5 Sposób rejestracji zdjęć filmowych w USA w latach 2006 - 2017.	11
Rys. 6 Porównanie kompresji wewnątrzklatkowej z międzyklatkową.	13
Rys. 7 Kompresja wewnątrzklatkowa.	14
Rys. 8 Banding koloru.	15
Rys. 9 Przykładowe kontenery wraz z zawartością.	15
Rys. 10 Podpróbki koloru.	17
Rys. 11 Academy Awards dominujące kamery: 2021-2024.	23
Rys. 12 Cannes Film Festival dominujące kamery: 2021-2024.	23
Rys. 13 Częstotliwość wyszukiwania frazy "AI" w wyszukiwarce Google 2005 - 2025.	30
Rys. 14 Trudności w zatrudnianiu na stanowiska związane ze sztuczną inteligencją.	31
Rys. 15 Rodzaje treści tworzonych przez gen. AI w organizacjach respondentów.	34
Rys. 16 Struktura sześcienna.	37
Rys. 17 Mapa głębi: ciemne elementy bliżej.	37
Rys. 18 Obraz przed preprocesorem.	37
Rys. 19 Detekcja krawędzi.	37
Rys. 20 Obraz przed preprocesorem.	38
Rys. 21 Estymacja ludzkiej postawy.	38