

„Kwartalnik Filmowy” nr 131 (2025)

ISSN: 0452-9502 (Print) ISSN: 2719-2725 (Online)

<https://doi.org/10.36744/kf.4508>

© Autor; licencja Creative Commons BY 4.0

Oryginalny artykuł naukowy; materiał recenzowany

Filip Kovčín

Państwowa Wyższa Szkoła Filmowa, Telewizyjna

i Teatralna im. Leona Schillera

<https://orcid.org/0009-0003-1933-2451>

Od korbki do cyfrowej rejestracji. Ekologia w produkcji filmowej

Keywords:

film technology;
sustainable film
production;
ecology in cinema;
rotary kinematics of
equipment;
carbon footprint;
cascading technological
dependencies

Abstract

From Hand Crank to Digital Registration: Ecology in Film Production

The author analyses the impact of film technology evolution on the environment from a historical perspective – from the cinematograph to digital systems. The central argument suggests an evolution from energy-intensive early analogue systems towards more efficient digital solutions. Historical-technical analysis is supplemented by comparative studies of production systems. The article shows cascade effects in technology, where single innovations led to multiple modifications in production processes, resulting in exponential growth in energy and material consumption. This mechanism is illustrated by the case study of *The Wizard of Oz*, where the Technicolor system caused unprecedented energy consumption. The theoretical framework is based on media infrastructure studies, media ecology, and media archaeology. The article argues for rethinking cinema history as a technical-industrial system and examines the environmental impact of digital technologies.

Słowa kluczowe:

technologia filmowa;
zrównoważona
produkcja filmowa;
ekologia w kinie;
rotacyjna kinematyka
aparatury;
śląd węglowy;
kaskadowe zależności
technologiczne

Abstrakt

Autor analizuje wpływ rozwoju technologii filmowej na środowisko w perspektywie historycznej – od kinematografu po systemy cyfrowe, stawiając tezę, że energochłonne systemy analogowe ewoluowały w kierunku efektywnych modeli cyfrowych. Proponowaną analizę historyczno-technologiczną uzupełniają zestawienia porównawcze systemów produkcyjnych. Autor przedstawia kaskadowe zależności technologiczne: kolejne innowacje pociągały za sobą wielorakie modyfikacje procesów produkcyjnych, prowadząc do wykładniczego wzrostu zużycia energii i materiałów. Mechanizm ten dobrze ilustruje studium przypadku – *Czarnoksiężnika z Oz (The Wizard of Oz)* Victora Fleminga z 1939 r. – wskazujące na bezprecedensowe zużycie energii systemu Technicolor. Wykorzystując studia nad infrastrukturą medialną, ekologię mediów i ich archeologię, autor podkreśla konieczność ekologicznej reinterpretacji historii kinematografii jako systemu techniczno-przemysłowego oraz bada oddziaływanie technologii cyfrowych na środowisko.

Historia artykułu:

Zgłoszono: 2025.06.10; recenzowano: 2025.07.07; przyjęto: 2025.08.05; opublikowano: 2025.09.30

Oświadczenie o konflikcie interesów

Autor nie zgłosił żadnego potencjalnego konfliktu interesów.

Historia kina, koncentrująca się zwykle na kwestiach estetyki, narracji lub polityki reprezentacji, rzadziej uwzględnia materialny wymiar kina jako zjawiska technologicznego, które wywiera wpływ na środowisko. Medioznawcze podejście infrastrukturalne¹ pozwala uzupełnić tę lukę przez potraktowanie kinematografii jako złożonego systemu materialno-energetycznego, uwarunkowanego przez procesy produkcji, dystrybucji i utylizacji fizycznych nośników oraz aparatury.

Badając ewolucję technologii filmowej, ekologii mediów² i ich archeologii³, wykorzystuję narzędzia studiów nad infrastrukturą medialną. Integracja tych obszarów teoretycznych pozwala przeanalizować szerszy okres czy kontekst historyczny dotyczący kinematografii jako technomaterialnego systemu obciążającego środowisko. W tekście zastosowałem triangulację metodologiczną, której elementy to: 1) analiza historyczno-technologiczna, a więc systematyczna rekonstrukcja ewolucji aparatury filmowej z uwzględnieniem parametrów technicznych, konstrukcyjnych i materiałowych oraz procesów fotochemicznych zachodzących w materiałach światłoczułych; 2) komparatystyczne zestawienie systemów produkcyjnych – porównanie rozwiązań technologicznych pod względem ich efektywności energetycznej i materiałowej; 3) studium przypadku, czyli produkcji *Czarnoksiężnika z Oz* (*The Wizard of Oz*, reż. Victor Fleming, 1939) jako reprezentatywnego przykładu energochłonności systemu Technicolor, z wykorzystaniem dostępnych danych dotyczących parametrów technicznych aparatury zdjęciowej i oświetleniowej. Ramę teoretyczną stanowi zaś esej Lisy Parks, w którym autorka opisuje *strategie ukrywania* (*concealment strategies*) dotyczące infrastruktury – (nie) świadomego zatajania materialnych podstaw funkcjonowania mediów i marginalizowania w dyskursie technologicznym jej wpływu na środowisko⁴. Mechanizm ten można precyzyjnie określić jako infrastrukturalną mimikrę – zdolność przemysłu do „wtapiania się” w krajobraz cyfrowej infrastruktury tak, by zostawić rzeczywiste koszty środowiskowe poza polem widzenia.

Interesuje mnie okres od wynalezienia kinematografu braci Lumière (1895) do współczesnych technologii cyfrowych, ze szczególnym uwzględnieniem przełomów technologicznych: transformacji z kina niemego do dźwiękowego (lata 20. XX w.), implementacji systemów barwnych (lata 30.), miniaturyzacji aparatury (lata 60. i 70.), cyfryzacji procesu produkcji (przełom XX i XXI w.) oraz upowszechnienia się pierwszych rozwiązań 4K (pierwsza dekada XXI w.).

Moja zasadnicza teza zakłada, że rozwój technologii filmowej – zazwyczaj postrzegany w kategoriach progresji narracyjno-estetycznej – ma istotny wymiar materialno-ekologiczny, który można interpretować jako nieliniarny proces transformacji od systemów o wysokiej energo- i materiałochłonności w kierunku modeli produkcji o zwiększonej efektywności środowiskowej. Proces ten charakteryzuje się stałą oscylacją między celami artystycznymi a ich konsekwencjami ekologicznymi.

Początki kina

Historia kinematografii jest nierozzerwalnie związana z procesami transformacji technologicznej, które określają nie tylko estetykę filmową, lecz także

radykałnie zmieniały metody produkcji i warunki recepcji dzieł filmowych. Kinematograf braci Lumière stanowił technologiczny artefakt o wysokim stopniu złożoności mechanicznej przy jednoczesnej prostocie „interfejsu” użytkownika. Aparat ten łączył trzy funkcje: rejestrację, projekcję oraz replikację materiału światłoczułego. Ta wielofunkcyjność antycypuje współczesne paradygmaty efektywności ekologicznej – gdyby oceniać to urządzenie według kryteriów zrównoważonego rozwoju w XXI w., należałoby je uznać za przykład optymalnej integracji funkcjonalnej przy minimalizacji technologicznej.

Aparat braci Lumière stanowił tylko część szerszego obszaru produkcji, nawet jeśli był jego kluczowym elementem. Ręcznie operowana kamera, limitowana długość taśmy oraz niewielkie przestrzenie projekcyjne sugerowałyby niski wpływ środowiskowy, jednak już w tej pierwotnej konfiguracji można wskazać czynniki bardzo problematyczne z perspektywy współczesnej świadomości ekologicznej⁵.

Od samego początku jednym z najważniejszych etapów procesu tworzenia ruchomych obrazów była chemiczna obróbka taśmy filmowej, wymagająca użycia substancji o dużym potencjale oddziaływania toksycznego. Substancje te stanowiły zagrożenie zarówno dla zdrowia personelu laboratoryjnego, jak i dla ekosystemów wodnych, do których często przenikały bez adekwatnej neutralizacji. Z perspektywy współczesnej ekologii mediów chemiczny komponent produkcji filmowej jawi się jako pierwotny element niezrównoważonego modelu eksploatacji zasobów. Projekcje filmowe również implikowały pewne konsekwencje technologiczno-środowiskowe – wczesne seanse kinematograficzne wykorzystywały tak zwane światło wapienne (*limelight*) uzyskiwane przez termiczną aktywację tlenku wapnia poprzez spalanie mieszaniny wodorowo-tlenowej. Rozwiązanie to, mimo że w historycznym kontekście innowacyjne, było źródłem lokalnej kontaminacji atmosferycznej i charakteryzowało się stosunkowo wysokim współczynnikiem konsumpcji paliw. Późniejsza elektryfikacja systemów projekcyjnych zwiększyła ich stabilność operacyjną, jednocześnie generując znaczne zapotrzebowanie energetyczne skorelowane z ówczesnymi, emisyjnymi metodami produkcji energii elektrycznej (prąd stały)⁶.

Istotnym aspektem materialności medium filmowego były także właściwości fizyczne samego nośnika. Taśmy światłoczułe, produkowane z łatwopalnego azotanu celulozy (nitrocelulozy), nie tylko stanowiły zagrożenie pożarowe, ale też miały bardzo niewielki potencjał recyklingowy. Ich produkcja wiązała się ze znacznym zużyciem surowców (bawełna, kwas azotowy, kwas siarkowy) oraz generowaniem odpadów, co nawet w tak wczesnym stadium rozwoju kina stanowiło zauważalne obciążenie środowiskowe. Problematyczność taśm celulozowych wpisywała się w szerszy obraz ówczesnych procesów przemysłowych i ich środowiskowych konsekwencji⁷. W odpowiedzi na rosnące zainteresowanie kinem wytwórnice z roku na rok zwiększały skalę kopiowania materiału filmowego, co skutkowało koncentracją odpadów chemicznych w głównych ośrodkach produkcji, takich jak Kalifornia, Berlin czy Paryż.

Podsumowując ten krótki przegląd, można stwierdzić, że choć kino od początku służyło głównie rozrywce i na tym etapie nie budziło obaw o wpływ na środowisko, jego techniczne zaplecze już wtedy wiązało się z eksploatacją zasobów



Czarnoksiężnik z Oz, reż. Victor Fleming (1939)



Czarnoksiężnik z Oz, reż. Victor Fleming (1939)

naturalnych i generowaniem zanieczyszczeń – choć nie była to kwestia szerzej dostrzegana ani komentowana. Ekspansja przemysłu filmowego spowodowała nieuchronny, wprost proporcjonalny wzrost jego oddziaływania na środowisko naturalne. Współczesna refleksja ekofilozoficzna umożliwiła reinterpretację tych zjawisk jako punktu wyjściowego analizy transformacji technologicznych zachodzących w kolejnych dekadach⁸.

Jednym z najbardziej problematycznych aspektów była wspomniana chemiczna obróbka materiału światłoczułego. Wywołanie obrazu latentnego wymagało znacznego zużycia wody oraz aplikacji substancji szczególnie toksycznych. Obróbka taśmy 35 mm implikowała wykorzystanie azotanu srebra, hydrochinonu oraz bromku potasu – związków o wysokiej szkodliwości dla środowiska i niskim potencjale biodegradacji. Proces ten ilustruje to, co Jussi Parikka opisuje jako *długą historię eksperymentowania z różnymi materiałami – od płyt szklanych po chemikalia, od selenu po krzem, od koltanu po metale ziem rzadkich*⁹. W perspektywie archeologii mediów każda era technologiczna pozostawia w środowisku swoje toksyczne ślady.

Jedynym elementem odzyskiwanym, który mógłby sprawiać wrażenie proekologicznego, było srebro ze zużytych roztworów, jednak motywacja tego działania miała charakter wyłącznie ekonomiczny. Ekstrakcja srebra generowała z kolei dodatkowe odpady, które również trafiały do środowiska bez odpowiedniego przetworzenia¹⁰. Owe wtórne odpady chemiczne często były bardziej problematyczne ekologicznie niż te początkowe, ale w historii przemysłu fotograficznego niewiele uwagi poświęcano ich unieszkodliwianiu¹¹. Przełomem technologicznym o zasadniczym znaczeniu dla fotochemicznej reprodukcji obrazu było wprowadzenie pod koniec lat 20. światłoczułego materiału panchromatycznego, charakteryzującego się wrażliwością na pełne spektrum światła widzialnego. Ta modyfikacja w strukturze taśmy implikowała potrzebę gruntownej zmiany systemów oświetleniowych¹².

Zastosowanie nowej generacji lamp umożliwiała wykorzystanie materiałów panchromatycznych w pełnym zakresie, ale wpłynęło na wzrost konsumpcji energii elektrycznej. Nowa aparatura oświetleniowa wytwarzała również hałas, co przy produkcji filmów niemych było nieistotne, natomiast zyskało na znaczeniu wraz z wprowadzeniem systemów rejestracji dźwięku synchronicznego¹³.

Kino dźwiękowe

Kolejna transformacja produkcji nastąpiła około 1927 r., gdy inżynierowie wraz z realizatorami filmowymi poszukiwali rozwiązań umożliwiających symultaniczną rejestrację obrazu i dźwięku. Wymagało to precyzyjnej regulacji prędkości przesuwu taśmy w kamerze, by zachować synchronizację obrazu z dźwiękiem. Mechanizm manualnej (niestabilnej czasowo) aktywacji kamery został zastąpiony systemem napędu elektrycznego o ściśle kontrolowanych i powtarzalnych parametrach¹⁴. To z kolei spowodowało konieczność izolacji akustycznej kamery, której praca generowała znaczny poziom hałasu.

Premiera *Śpiewaka jazzbandu* (*The Jazz Singer*, reż. Alan Crosland, 1927) okazała się momentem przełomowym w percepcji dźwięku w narracji filmowej.

Ogromny wzrost frekwencji widzów i powiązana z tym większa rentowność produkcji dźwiękowych skłoniły przemysł filmowy do przyjęcia nowego paradygmatu realizacyjnego. Tradycyjna infrastruktura wytwórni okazała się nieadekwatna wobec wymogów rejestracji dźwięku synchronicznego¹⁵, rozpoczęto więc budowę specjalnych studiów dźwiękowych (*soundstages*) z wielowarstwową izolacją akustyczną, zaprojektowanych tak, by eliminowały zakłócenia zarówno z zewnątrz, jak i wewnątrz.

Nowe przestrzenie produkcyjne stwarzały nowe problemy infrastrukturalne. Intensywna eksploatacja nowo powstałych lub zaadaptowanych hal zdjęciowych w połączeniu z użyciem materiałów łatwopalnych powodowała liczne wypadki. W samej tylko Europie w latach 1929-1938 odnotowano w studiach filmowych ponad dwadzieścia poważnych pożarów o katastrofalnych skutkach¹⁶; tragiczny bilans tych zdarzeń obejmował ofiary wśród personelu, wiele hal zostało kompletnie zniszczonych. Innowacyjne jak na owe czasy rozwiązania akustyczne często wymagały użycia materiałów łatwopalnych, jak chociażby słomiane maty i nasączone chemikaliami płyty izolacyjne, które w połączeniu z intensywnym oświetleniem studyjnym i słabą wentylacją tworzyły zagrożenie dla życia.

Odpowiedzią przemysłu filmowego były wprowadzane stopniowo innowacje technologiczne i proceduralne. Zaczęto stosować mniej łatwopalne materiały izolacyjne, zmodyfikowano systemy wentylacyjne studiów, wprowadzono separację przestrzeni zdjęciowych od laboratoriów fotochemicznych oraz bardziej rygorystyczne procedury bezpieczeństwa¹⁷. Najważniejsza zmiana polegała na rezygnacji z niestabilnej taśmy nitrocelulozowej na rzecz jej bezpieczniejszej wersji na bazie octanu celulozy. Działania te, choć motywowane względami ekonomicznymi i troską o bezpieczeństwo personelu, a nie świadomością ekologiczną, stanowiły jednak pierwszy krok ku redukcji negatywnego wpływu produkcji filmowej na środowisko naturalne.

Kino barwne/Technicolor

Ewolucja technologii rejestracji barwnej rozpoczęła się już w pierwszej dekadzie XX w., gdy wprowadzano eksperymentalne systemy polichromatyczne. Z dzisiejszej perspektywy efektywność reprodukcji kolorów w tych systemach była ograniczona¹⁸. W latach 20. zastosowano systemy dwunegatywowe, ekspozycjonowane poprzez filtry o zabarwieniu (odpowiednio do właściwego negatywu) pomarańczowo-czerwonym i niebiesko-zielonym. Filmy realizowane z wykorzystaniem tej metody charakteryzowały się limitowanym spektrum reprodukcji barwnej, choć były klasyfikowane jako produkcje kolorowe¹⁹. W latach 40. implementowano przełomowy system polichromatyczny – Technicolor. Wizja obrazu kolorowego działała na producentów i inżynierów jak potężny katalizator innowacji, skłaniając ich do forsowania rozwiązań technologicznych bez względu na koszty ekonomiczne, praktyczne i środowiskowe.

System opracowany przez Josepha Arthura Balla polegał na symultanicznej ekspozycji trzech negatywów światłoczułych w kamerze o specyficznej konfiguracji optyczno-mechanicznej. Rejestracja selektywna trzech zakresów spektralnych (czerwony, zielony, niebieski) na odrębnych emulsjach monochro-

matycznych, z zastosowaniem systemu rozdzielania światła przez pryzmat i filtry dichroiczne, umożliwiła rekonstrukcję pełnej przestrzeni barwnej²⁰. Samo wykorzystanie technologii trzytaśmowej spowodowało zwiększenie gabarytów kamery, która już w konfiguracji podstawowej przekraczała wymiary konwencjonalnej kamery monochromatycznej. Integracja systemu trzytaśmowego z konieczną izolacją akustyczną doprowadziła do konstrukcji aparatu o bezprecedensowych wymiarach (1,2 m x 1,2 m x 0,6 m) i masie przekraczającej 227 kg²¹.

Masa całego systemu (kamera w obudowie akustycznej oraz system transportu) stanowiła istotny czynnik ograniczający zakres ruchu urządzenia w porównaniu z możliwościami sprzętu rejestrującego obraz czarno-biały. Inercja aparatury barwnej była nieproporcjonalnie wyższa. Argumenty estetyczne uzasadniające statyczne ujęcia jako lepsze dla „kontemplacji barw” maskowały praktyczny problem – ciężką kamerę w obudowie dźwiękoszczelnej było trudno przesunąć²². Wpłynęło to chociażby na produkcje musicalowe, które w latach 30.²³ odnosiły znaczące sukcesy. Ruch kamery stanowił tu integralny komponent języka wizualnego obok elementów muzycznych i choreograficznych. Realizacja ujęć z kamerą w ruchu generowała więc bezprecedensowe wyzwanie, gdyż w wariacie trzytaśmowym z symultaniczną rejestracją dźwiękową wszystkie parametry operacyjne ulegały poważnemu zwiększeniu: gabaryty aparatury, ograniczenia mobilności oraz liczebność personelu.

Analogiczny problem dotyczył systemów oświetleniowych. Przy aparaturze Technicolor wykorzystywano materiał światłoczuły o ekstremalnie niskiej czułości, co wymagało stosowania potężnych źródeł światła na planie filmowym. Taśma światłoczuła używana w tym systemie charakteryzowała się czułością około 5 ASA (obecnie ISO), co nawet w ówczesnej perspektywie stanowiło wartość znacznie niższą wobec czułości materiału monochromatycznego oscylującego w przedziale 20-50 ASA. Taśma monochromatyczna charakteryzowała się więc cztero- albo i dziesięciokrotnie wyższą wrażliwością na światło. W skrajnych przypadkach filmy realizowane w Technicolorze wymagały więc nawet dziesięć razy więcej światła niż filmy czarno-białe.

Sama czułość taśmy filmowej była tylko częścią problemu. System Technicolor dodatkowo wykorzystywał układ optyczny za obiektywem – pryzmat dzielący obraz na dwie wiązki, kierując 1/3 światła na negatyw za filtrem zielonym, a pozostałe 2/3 na dwa negatywy za filtrem magentowym. Ten podział oznaczał, że do każdej z trzech taśm docierała tylko część źródłowego światła padającego na obiektyw. W takim układzie optycznym straty światła były większe w porównaniu do standardowej kamery czarno-białej. By to zniwelować, trzeba było zastosować wielokrotnie silniejsze oświetlenie. Personel techniczny i artystyczny musiał więc przez długi czas przebywać w skrajnych warunkach środowiskowych – w wysokiej temperaturze przy słabej cyrkulacji powietrza.

Kaskadowe implikacje

Przykładem ekstremalnych wyzwań związanych z procesem realizacyjnym w Technicolorze była produkcja *Czarnoksiężnika z Oz*. Skomplikowane kostiumy aktorów (Lew, Strach na wróble, Blaszyński drwal, Zła czarownica, Latające mały)

i ich charakteryzacja stawały się nieznośne przy oświetleniu wymaganym przy realizacji w tej technologii. Temperatura powietrza w hali zdjęciowej dochodziła do 38°C. Harold Rosson, autor zdjęć, tak mówił o pracy na planie: *Musieliśmy użyć każdej lampy, jaką tylko dorwaliśmy w ręce. (...) Było straszliwie gorąco. Jak to mówili – można było usmażyć jajko na łysinie aktora, gdy włączono wystarczająco dużo lamp łukowych*²⁴.

Analizując kadry z *Czarnoksiężnika z Oz*, możemy dostrzec, że w scenach zbiorowych używano obiektywów o szerszym kącie widzenia, które ze względu na swoją konstrukcję nie są z reguły jasne. W planowaniu oświetlenia trzeba było więc uwzględnić dodatkowy czynnik ograniczający: mniejszą ilość światła padającego na taśmę światłoczułą²⁵.

Wszystko to uruchamiało kaskadę współzależnych problemów technicznych i środowiskowych: technologia Technicolor wymagała specjalnego negatywu o bardzo niskiej czułości, co z kolei wymuszało zastosowanie ogromnej liczby silnych lamp. Użycie trzech taśm negatywowych do rejestracji koloru sprawiało, że kamera miała znacząco więcej elementów mechanicznych do przesuwu taśmy, czego konsekwencją była jej bardzo głośna praca. Przy realizacji filmu dźwiękowego oznaczało to konieczność użycia dźwiękoszczelnej obudowy. Konstrukcja tej obudowy musiała również uwzględnić niestosowany wcześniej skomplikowany układ optyczny, co wiązało się z kolejnym zwiększeniem gabarytów i masy całego układu. To radykalnie zmniejszało ruchomość kamery i wymagało większego personelu do obsługi.

Duże jednostki oświetleniowe wykorzystywane w owym czasie generowały znaczny hałas: charakterystyczne buczenie, syczenie i trzaskanie towarzyszące spalaniu łuku węglowego. W związku z tym wszystkie lampy musiały znajdować się w specjalnie skonstruowanych dźwiękoszczelnych obudowach ze skierowanymi ku górze otworami odprowadzającymi ciepło. To powodowało nagromadzenie się bardzo gorącego powietrza pod sufitem.

Wysokie temperatury miały też bezpośredni wpływ na pracę aktorów, którzy potrzebowali specjalnej charakteryzacji odpornej na ciepło, co z kolei wydłużało czas spędzany w charakteryzatorni. Połączenie wysokiej temperatury z uciążliwymi przygotowaniem do zdjęć wymuszało częste przerwy techniczne. Konsekwencją była duża liczba dni zdjęciowych, co wielokrotnie zwiększało budżet filmu w porównaniu do produkcji czarno-białych²⁶.

Powyżej przedstawiłem jedynie część kaskadowych zależności związanych z realizacją filmu barwnego w technologii Technicolor w latach 30. – nie rozwinąłem wątku procesu obróbki negatywowego materiału światłoczułego czy wytwarzania kopii barwnych. Zarys ten wystarczy jednak, by ukazać złożoność działających tu mechanizmów i ewidentne konsekwencje środowiskowe w postaci zwiększonej emisji zanieczyszczeń. Opisane problemy ilustrują zjawisko, które Nicole Starosielski określa jako *widoczność infrastrukturalną (infrastructural visibility)*²⁷, ujawniające się wtedy, gdy zwykle ukryte koszty systemów technologicznych stają się bardzo widoczne z racji przekroczenia granic wydajności tych systemów. Stosowana przy systemie Technicolor 227-kilogramowa kamera i temperatury sięgające 38°C pozwalają dostrzec materialną rzeczywistość ówczesnej technologii barwnej – estetyczna innowacja wymagała radykalnej rekonfiguracji całego systemu produkcyjnego, który jednak dla widza w kinie pozostaje niewidoczny.

Badanie kosztów energetycznych produkcji filmowej w technologii Technicolor dostarcza wymiernych danych o jej wpływie na środowisko. *Czarnoksiężnika z Oz* kręcono około 130 dni, a zdjęcia odbywały się tylko w studio. Informacje o metodach pracy przy innych filmach z epoki umożliwią obliczenie faktycznego zużycia energii podczas jego realizacji²⁸.

Typowy plan zdjęciowy w systemie Technicolor w studiach takich jak MGM w latach 30. wykorzystywał od 10 do 20 potężnych węglowych lamp łukowych. Każda z nich miała moc rzędu 20-25 kW, co dawało łączną moc całego zestawu oświetleniowego między 250 kW (przy minimalnej konfiguracji 10 lamp) a 500 kW (przy maksymalnej konfiguracji 20 lamp), ze średnią mocą instalacji około 450 kW. Jeśli założymy, że lampy pracowały przez 10 godzin dziennie, to przy mocy 450 kW zużycie energii elektrycznej mogło dochodzić do 4500 kWh. Dla porównania: przeciętna czteroosobowa rodzina w Polsce pobiera obecnie około 3500 kWh energii elektrycznej w ciągu całego roku²⁹. Jeden dzień zdjęciowy filmu kręconego w Technicolorze pochłaniał tyle energii, ile przeciętna polska rodzina zużywa w ciągu 15 miesięcy. Wiedząc, że zdjęcia do *Czarnoksiężnika z Oz* trwały około 130 dni, można obliczyć, że produkcja tego jednego filmu wymagała około 600 tys. kWh energii elektrycznej, co wystarczyłoby owej przykładowej rodzinie na zasilanie wszystkich urządzeń domowych przez okres dłuższy niż półtora wieku (uśredniając – około 150-170 lat). Tę ilość energii spożytkowano wyłącznie na potrzeby oświetlenia – nie wliczam tu energii zasilającej inne aspekty produkcji, postprodukcji, kopiowanie materiałów, dystrybucji i wyświetlanie filmu. Powyższe liczby wskazują na bezprecedensową energochłonność produkcji filmowej w tym systemie i w tamtym czasie. Zużycie energii na tak wysokim poziomie podczas realizacji jednego tylko filmu mogłoby stanowić ciekawy punkt odniesienia dla badań nad postępowaniem efektywności energetycznej.

Aby poszerzyć rozumienie procesu produkcyjnego kina przełomu lat 30. i 40., warto przyjrzeć się kontekstowi środowiskowemu kreacji ówczesnych efektów specjalnych. Przykładem niech będzie oniryczna scena z *Czarnoksiężnika z Oz* na polu makowym, w której jako substytut spadających płatków śnieżnych wykorzystano... azbest³⁰. Niegdyś uważany za cudowny materiał, dziś jest całkowicie zakazany ze względu na krytyczne zagrożenie dla zdrowia. Użycie azbestu jako środka inscenizacyjnego odzwierciedla praktyki filmowe lat 30. To swoiste świadectwo poziomu ówczesnej świadomości ekologicznej, zdrowotnej i środowiskowej.

Nowe kino barwne/Eastmancolor

W 1952 r. korporacja Kodak zaprezentowała nowy wariant negatywu Eastmancolor – jednotaśmowy materiał polichromatyczny, który miał zastąpić trójnegatywowy system Technicolor. Eastmancolor, poza oczywistymi korzyściami logistycznymi, umożliwiał realizację materiału barwnego przy wykorzystaniu standardowej aparatury filmowej, bez konieczności implementacji specjalnie do tego przeznaczonych konstrukcji charakterystycznych dla Technicoloru. Eastmancolor, choć pierwotnie miał ograniczoną stabilność archiwizacyjną, oferował znacznie większą wszechstronność realizacyjną – pozwalał

na swobodniejsze filmowanie w różnych lokalizacjach i warunkach. Miał także coraz lepsze parametry czułości, co dodatkowo rozszerzało jego możliwości zastosowania w produkcji filmowej³¹.

Pojawienie się taśmy Eastmancolor stanowiło punkt zwrotny w rejestracji barwnej, przekształcając sam kolor w filmie ze spektaklu w naturalny element opowiadania wizualnego. W trzytaśmowym systemie Technicoloru barwa funkcjonowała jako manifestacja technologicznego zwycięstwa nad ograniczeniami materialnymi. W przypadku Eastmancoloru chromatyczność stanowiła integralną część przedstawianego świata – mniej inscenizowaną, bardziej organiczną. W kontekście ekologii mediów transformacja ta miała znaczenie kluczowe: obraz wielobarwny przestał funkcjonować jako wysoce energochłonny, ewoluował zaś w kierunku rejestracji światła zastanego³².

Ewolucja od taśm azotanowych do Eastmancoloru ilustruje to, o czym Sean Cubitt mówi jako nieprzerwanej zależności mediów, a w tym kontekście fotografii i kinematografii, od procesów przemysłowych: *Papier, atrament i prasy drukarskie wymagały drewna, metali, produktów zwierzęcych, ognia i energii. Prasa masowa XIX w. potrzebowała pary; telegraf – przewodów i generatorów elektrycznych; fotografia i kinematografia – srebra oraz tworzyw sztucznych pochodzących z ropy i węgla*³³. Choć każda generacja technologii obiecywała czystsza alternatywę, przemysł filmowy pozostawał nierozzerwalnie związany z laboratoriami i stosowanymi w nich procesami opartymi na chemii.

Miniaturyzacja sprzętu

Równolegle z ewolucją materiałów światłoczułych postępowała transformacja aparatury rejestrującej. Jeszcze w latach 20. wprowadzono na rynek pierwsze kamery 16 mm jako amatorski odpowiednik profesjonalnego sprzętu. Jednak dopiero po pojawieniu się telewizji gwałtownie wzrosło zapotrzebowanie na lekkie kamery i nowe materiały światłoczułe, które umożliwiałyby rejestrację rozgrywających się poza studio zdarzeń, przy mniejszych kosztach niż w przypadku kamer 35 mm. W pierwszej połowie lat 60. nastąpił skok kwantowy – zaimplementowano na szeroką skalę kamery formatu 16 mm – Eclair NPR (1963) i Arriflex 16BL (1965) oraz nieco później Aaton LTR (1973) – łączące lekkość konstrukcyjną, ergonomię operacyjną oraz minimalizację emisji akustycznej³⁴.

Ta technologiczna metamorfoza kamer 16 mm stanowiła istotny krok w kierunku kina ekologicznego, mimo że początkowe motywacje były raczej ekonomiczne niż środowiskowe – mniejsze kamery oznaczały niższe zużycie surowców i energii. Afektywny wymiar tej transformacji ujawnił się natomiast w całkowicie nowym modelu relacji między filmowcem a tym, co rejestrowane (czego doskonałą ilustracją może być film *Chłodnym okiem / Medium Cool*, reż. Haskell Wexler, 1969/). Nowa technologia umożliwiała bardziej bezpośrednie zaangażowanie się w filmowaną rzeczywistość, dzięki czemu widz także mógł doświadczyć intensywnego poczucia „bycia tam” i mentalnego przekroczenia granicy między rejestracją a uczestnictwem³⁵.

Transformacje technologiczne przyczyniły się do rozwoju nowych paradygmatów estetyczno-produkcyjnych, takich jak *cinéma vérité* czy *direct cinema*.

Ukoronowaniem tej trajektorii rozwojowej była stworzona przez Panavision w 1972 r. kamera Panaflex – pierwsza w pełni funkcjonalna, lekka, cicho pracująca kamera 35 mm przeznaczona dla produkcji, w których symultanicznie nagrywano obraz i dźwięk. Zaprojektowana przez Alberta Mayera, emigranta z Jugosławii, całkowicie zrekonfigurowała metodykę produkcji filmowej na taśmie 35 mm w Stanach Zjednoczonych. Rewolucyjność ta polegała na nowatorskim podejściu do mechaniki kamery i zintegrowaniu izolacji akustycznej z kompaktowym korpusem kamery, bez potrzeby dodatkowej obudowy dźwiękoszczelnej. Tym samym łączyła w sobie cechy poszukiwane przez filmowców: pełną dźwiękoszczelność umożliwiającą rejestrację synchronicznego dźwięku oraz wyjątkową mobilność operacyjną. Te udogodnienia pozwoliły na znaczącą redukcję zarówno niezbędnej aparatury technicznej, jak i liczebności ekipy filmowej, co zdemokratyzowało proces produkcji oraz dało twórcom nowe możliwości estetyczne³⁶.

Kamera Panaflex nie stanowiła więc wyłącznie kolejnego urządzenia rejestrującego, ale nieintencjonalną materializację paradygmatu zrównoważonej produkcji filmowej. Medium filmowe przestało być uzależnione od energochłonnej infrastruktury przemysłowej stosowanej w studiach filmowych – wystarczała nieduża, cicha kamera, pozwalająca na radykalną redukcję zużycia zasobów. W latach 70. zapewne nie postrzegano tej zmiany jako ewidentnie proekologicznej, co nie zmienia faktu, że przyczyniła się do znaczącego obniżenia kosztów środowiskowych.

Cyfryzacja produkcji

Zanim świat przeszedł niemal całkowicie na rozwiązania cyfrowe, przez dziesięciolecie towarzyszyły nam systemy analogowe. Dotyczyło to również elektroniki telewizyjnej, która początkowo nie miała znaczącego wpływu na kino ze względu na niewystarczającą rozdzielczość obrazu i jakość dźwięku, lecz stanowiła nieodzowny pomost technologiczny do przyszłej cyfryzacji kinematografii. Szerokie ekrany panoramiczne w kinach były odpowiedzią na boom telewizyjny lat powojennych, antycypując dążenia telewizji do wysokiej jakości obrazu. Równoległe postępująca cyfryzacja audio (płyty CD od 1982 r., taśmy DAT od 1987 r.) wyprzedziła digitalizację telewizji, wskazując kierunek i metody przejścia z rejestracji analogowej do cyfrowej.

Przełomem okazało się pojawienie się standardu wysokiej rozdzielczości (*High Definition*) pod koniec lat 80. – Japonia wprowadziła komercyjne nadawanie analogowego sygnału HDTV (MUSE/Hi-Vision) już w 1989 r. Analogowe systemy HD uświadomiły zarówno producentom, jak i autorom potencjał rozwiązań wykorzystujących wysoką rozdzielczość, kierując myślenie branży w stronę przyszłego cyfrowego kina HD. Połączenie tych dwóch paradygmatów nastąpiło w pierwszej dekadzie XXI w., gdy pojawiły się urządzenia rejestrujące obraz filmowy na cyfrowym nośniku elektronicznym w jakości HD. Kamery Sony HDW-F900 oraz F950, stosowane przez George'a Lucasa podczas realizacji filmu *Gwiezdne wojny: Część II – Atak klonów* (*Star Wars: Episode II – Attack of Clones*, 2002), stanowiły pierwszy dostępny system akwizycji obrazu w wysokiej rozdzielczości z częstotliwością rejestracji 24 klatek na sekundę, charakterystycznej dla kon-



„Niepamięć”, reż. Joseph Kosinski (2013)

wencjonalnego materiału filmowego. Ten parametr umożliwił, po raz pierwszy w historii mediów audiowizualnych, pełną symulację czasowych i kinetycznych właściwości klasycznego materiału światłoczułego w medium cyfrowym. W ten sposób technologia cyfrowa osiągnęła wreszcie to, co Jean-Luc Godard definiował jako *prawdę 24 klatek na sekundę*³⁷.

Rejestracja cyfrowa oznaczała porzucenie klasycznego materiału światłoczułego, procesów obróbki fotochemicznej oraz likwidację laboratoryjnych ciemni. Zmiana ta zaś pozwoliła wyeliminować toksyczne aktywatory chemiczne, odpady z materiałów światłoczułych oraz konieczność transportu materiałów między odległymi lokalizacjami³⁸.

O ile w epoce klasycznej obraz filmowy funkcjonował jako fotochemiczny ślad światła na emulsji światłoczułej, o tyle obraz cyfrowy stanowi pochodną potencjałów elektrycznych, algorytmów i struktur danych. W wymiarze ekonomicznym rejestracja obrazu na matrycy światłoczułej znacząco różni się od naświetlania emulsji fotochemicznej – w przypadku tej pierwszej nie ma konieczności oszczędzania materiału. Liczba dubli w praktyce wiąże się tylko z dodatkowym miejscem na dysku, a nie z fizycznym zużyciem taśmy. Mimo że cyfryzacja wymaga energii elektrycznej do przetwarzania danych, w kontekście produkcji filmowej, w bilansie ekologicznym, stanowi znaczącą poprawę względem klasycznych metod produkcji.

Przełomowa zmiana technologiczna nastąpiła w grudniu 2007 r. wraz z wprowadzeniem przez amerykańskie przedsiębiorstwo RED Digital Cinema kamery RED ONE, będącej pierwszym systemem akwizycji obrazu w rozdzielczości HD dostępnym dla szerszej grupy odbiorców. Koszt jej zakupu był zdecydowanie niższy niż w przypadku dostępnych do tego czasu urządzeń profesjonalnych. Ponad czterokrotny wzrost rozdzielczości względem dotychczasowego standardu przy jednoczesnej demokratyzacji dostępu do wysokiej jakości sprzętu (Sony F900 – około 100 000 \$, RED ONE – około 25 000 \$) stanowił punkt zwrotny w ewolucji mediów audiowizualnych. Transformacja ta była przełomowa również z perspektywy ekologii mediów: system RED ONE umożliwił realizację w niewielkich zespołach produkcyjnych, praktycznie bez generowania odpadów. Dodatkowo oferował coś, czego nie posiadała kamera F900 czy F950 – dużą matrycę wielkości Super 35 mm. To sprawiło, że filmowcy, poza tanim produktem, otrzymali „kamień filozoficzny” kina: *film look*.

RED ONE jako pierwsza kamera z dużym przetwornikiem posiadała zintegrowany z korpusem rejestrator operujący pamięcią stałą. Oznaczało to, że na poziomie dużego przetwornika Super 35 mm i rozdzielczości 4K można było stosować względnie tanie karty wielokrotnego użycia (swoisty recykling). Te same nośniki były już dostępne na rynku fotograficznym. W konsekwencji postprodukcja cyfrowa mogła być realizowana na komputerze przenośnym lub domowej stacji roboczej – w odróżnieniu, na przykład, od rozwiązania HD Sony, gdzie dodatkowy profesjonalny sprzęt (jak magnetowid HD) był warunkiem *sine qua non* dowolnej produkcji wykorzystującej ten system. Archiwizacja materiału nie wymagała kontrolowanych warunków mikroklimatycznych i specjalistycznych archiwów, a jedynie szeroko dostępnych nośników danych elektronicznych.

Proces zainicjowany przez firmę RED uruchomił akcelerację na rynku sprzętu profesjonalnego. W kolejnej dekadzie wielu producentów zwiększyło rozdzielczość przetworników w swoich kamerach. Następnym krokiem była fizyczna zmiana wielkości przetwornika na format pełnoklatkowy (*full frame*), co przy okazji wsparło podniesienie czułości ISO. Wystarczy porównać współczesną kamerę pracującą na wartościach ISO 3200 z ISO 5 (wtedy ASA) z 1939 r., by natychmiast zrozumieć radykalną różnicę w czułości.

Dwie strony technologii

Profesjonalny sprzęt otworzył nowe możliwości twórcze, ale jednocześnie dążenie do coraz wyższych rozdzielczości spowodowało lawinową zmianę konfiguracji sprzętowych w studiach postprodukcyjnych. Rozdzielczość 4K w kamerach przestała wystarczać, a pojawienie się wyraźnej ścieżki rozwojowej ku kolejnym standardom – 5K, 6K, 8K – wymuszało systematyczne modernizacje całych linii postprodukcyjnych.

Na wzroście rozdzielczości problem się nie kończy. Niezależnie od parametrów samych kamer równie istotny czynnik energetyczny stanowią metody tworzenia efektów wizualnych. Współczesne technologie filmowe ujawniają szerszy paradoks pozornej dematerializacji – technologie wydają się coraz bardziej efektywne, ale ich rzeczywiste potrzeby energetyczne często pozostają ukryte. Dobrym przykładem są dwie różne metody tworzenia efektów specjalnych zastosowane w odstępie kilku lat.

W filmie *Niepamięć* (*Oblivion*, reż. Joseph Kosinski, 2013), ze zdjęciami Claudia Mirandy, do stworzenia iluzji stacji kosmicznej w chmurach wykorzystano system 21 projektorów Barco o mocy 20 kW każdy. Projektory rzutowały obraz na specjalnie zaprojektowaną cykloramę do przedniej projekcji o wymiarach 152 m x 13 m (powierzchnia 1976 m²), co wraz z 11 serwerami medialnymi (11 kW), 51 lampami Kino Flo (25,5 kW) oraz konsolami sterującymi z chłodzeniem (10 kW) generowało łączne zapotrzebowanie energetyczne 466,5 kW. Podczas ośmiogodzinnego dnia zdjęciowego system pochłaniał 3732 kWh – równowartość 13-miesięcznego zużycia energii przez przeciętne polskie gospodarstwo domowe.

Kilka lat później, przy produkcji serialu *Mandalorian* (Disney+, 2019-), ze zdjęciami głównie Greiga Fräsera i Barry'ego Idoine, zastosowano ściany LED. Technologia ta jest określana jako *energooszczędna w porównaniu do tradycyjnych systemów oświetlenia, jak i do tworzenia efektów specjalnych*³⁹. System StageCraft wykorzystywany w *Mandalorianie* składał się z 1326 indywidualnych paneli LED na ścianach (331,5 m²), sufitu LED (308,9 m²) oraz dodatkowych ekranów mobilnych (66,9 m²), co daje łączną powierzchnię około 708 m². W typowych warunkach pracy cała instalacja pobiera około 212,4 kW mocy (przy założeniu zużycia około 300 W/m²). Oznacza to, że podczas ośmiogodzinnego dnia zdjęciowego system pochłania 1699 kWh energii – tyle, ile owo przykładowe gospodarstwo w ciągu sześciu miesięcy. Porównanie efektywności energetycznej w obu przypadkach wyglądałoby następująco: *Niepamięć* – 466,5 kW na 1976 m², co daje 236 W/m²; *Mandalorian* – 212,4 kW na 708 m², co daje 300 W/m².

Projektory zastosowane w *Niepamięci* zużywają mniej prądu na metr kwadratowy, ale powierzchnia świecenia była niemal trzy razy większa niż w *Mandalorianie*. Wynikało to z konieczności oddania właściwej perspektywy stacji kosmicznej wobec tła podczas zmian pozycji kamery. Mniejsza powierzchnia ujawniałaby niedokładności w interpretacji przestrzeni. To przyczyna mniej korzystnych końcowych wyników całego systemu (konieczność zastosowania większej powierzchni tła). W *Mandalorianie* ten problem nie istniał – zmiana pozycji kamery była sprzężona z generowaną na żywo zmianą perspektywy projektowanego na ścianie LED obrazu tła. Stąd mniejsza powierzchnia ściany LED w porównaniu z projekcją w *Niepamięci*.

Czarnoksiężnik z Oz (1939), *Niepamięć* (2013), *Mandalorian* (2019-2020) reprezentują technologie przełomowe w danym momencie historycznym. By je porównać, zastosowałem metodę normalizacji czasowej: transponując czas produkcji tak, by wszystkie produkcje trwały 100 dni, otrzymujemy następujące rezultaty: *Czarnoksiężnik z Oz*: 462 000 kWh – ok. 131 lat dla przeciętnej polskiej rodziny; *Niepamięć*: 373 000 kWh – ok. 106 lat, *Mandalorian*: 170 000 kWh – ok. 48 lat.

Wykorzystane w *Mandalorianie* ściany LED używają zatem o 54 proc. mniej energii niż metoda projekcji z filmu *Niepamięć* i o 63 proc. mniej niż system Technicolor. Możemy więc przyjąć, że w ciągu 85 lat obniżono zużycie energii o niemal 2/3. Mimo tak radykalnej różnicy w zużyciu energii porównanie to ujawnia złożoność problemu pozornej dematerializacji w kinematografii. Poprawa efektywności jednostkowej ilustruje zjawisko określane *efektem odbicia bezpośredniego* (*geological rebound effect*)⁴⁰, o którym wspomina Steve Sorrell – pozorne oszczędności energetyczne często prowadzą do zwiększenia skali wykorzystania technologii, co może doprowadzić do wzrostu łącznego zużycia zasobów naturalnych.

Technologie cyfrowe rzeczywiście zwiększają efektywność względną, jednak ich skala zastosowania sprawia, że bezwzględne obciążenie środowiskowe nadal pozostaje znaczące. Ściany LED ilustrują specyficzną formę tego, co Francesco Casetti nazywa *barierą medialną* (*protective media*)⁴¹, ale w odwrotnym kierunku. Casetti w odniesieniu do ekranu jako zjawiska materialnego podziału mówi o podziale między bezpiecznym wnętrzem a niebezpiecznym zewnętrzem. Transponując tę logikę, możemy powiedzieć, że w przypadku technologii filmowych ekran w swoisty sposób ukrywa przed nami to, co znajduje się za nim – centra danych, render farmy i infrastrukturę energetyczną. W przenośni – to ekran chroni nas przed widzeniem materialnych kosztów.

Jeśli porównamy realizację wykorzystującą ścianę LED z bardziej tradycyjną produkcją z *green screen*, ujawnimy dodatkową złożoność problemu energetycznego. Podczas gdy samo kręcenie na zielonym tle zużywa znacznie mniej energii (uśredniając, około 40 000 kWh na 100 dni produkcji), intensywna postprodukcja VFX może generować ogromne zapotrzebowanie energetyczne. Badania Filmakademie Baden-Württemberg potwierdzają, że wirtualna produkcja z LED może zużywać około jednej trzeciej energii potrzebnej dla porównywalnej tradycyjnej produkcji z użyciem *green screen* i *offline renderingiem*⁴².

Jeszcze bardziej problematyczna jest ekspansja sztucznej inteligencji w produkcji filmowej. Nie wszystkie zastosowania AI generują takie samo zapotrzebowanie energetyczne. Badacze z Carnegie Mellon University wykazali znaczące róż-



Mandalorian (Disney+, 2019-)

nice między poszczególnymi jej zadaniami⁴³. Podczas gdy wytwarzanie tekstu czy odpowiadanie na proste pytania użytkowników zużywa relatywnie mało energii, zadania związane z kreacją obrazów i materiałów wideo są dużo bardziej energochłonne. W sprzężeniu z produkcją filmową systemy AI mogą być wykorzystywane do najbardziej energointensywnych zadań (renderowanie sekwencji wideo, przygotowanie efektów specjalnych w wysokiej rozdzielczości, tworzenie wirtualnych aktorów); zapotrzebowanie energetyczne może wówczas wielokrotnie przekroczyć wartości związane z użyciem innej nowoczesnej technologii (np. ściany LED). Według najnowszych raportów (2025 r.), 4,4 proc. całej energii w USA trafia obecnie do centrów danych⁴⁴, a wskaźnik emisji CO₂ związany z energią elektryczną przez nie używaną jest o 48 proc. wyższy niż średnia amerykańska⁴⁵. Zapotrzebowanie na energię w centrach danych w Ameryce Północnej gwałtownie wzrosło z 2688 megawatów na koniec 2022 r. do 5341 megawatów na koniec 2023 r. Wzrost ten był napędzany w głównej mierze przez wykorzystanie generatywnej AI.

Paradoksy rozwoju technologii cyfrowych w wymiarze ekologicznym dobitnie ilustruje decyzja firmy Microsoft z września 2024 r. o zawarciu dwudziestoletniego kontraktu na zakup energii z reaktora Three Mile Island – miejsca najpoważniejszej awarii nuklearnej w historii USA. Reaktor ma zostać ponownie uruchomiony wyłącznie w celu zasilania centrów danych związanych z Microsoft⁴⁶. Nieuchronna ekspansja AI na polu produkcji doskonale obrazuje wspomniany metabolizm medialny. Podobne spostrzeżenia ma Giovanna Fossati w kontekście archiwów filmowych, zwracając uwagę na materialność aparatury: kamer, projektorów i nośników danych – niezależnie od tego, czy dotyczy to filmów klasycznych, czy cyfrowych⁴⁷. Streaming i dystrybucja cyfrowa to kolejne elementy, które mają świadczyć o „dematerializacji” kina, a przecież one także generują wysokie koszty środowiskowe. Globalne zużycie energii elektrycznej przez centra danych wzrosło do 460 TWh (terawatogodzin) w 2022 r., co czyni centra danych jedenastym największym konsumentem energii elektrycznej na świecie⁴⁸.

Rozproszenie odpowiedzialności

Przejsie od kinowej do domowej konsumpcji treści audiowizualnych wprowadza dodatkowy mechanizm rozproszenia odpowiedzialności środowiskowej. Niedgdy jeden projektor kinowy obsługiwał setki widzów, a dzis setki indywidualnych urzadzonych – telewizorów, smartfonów, laptopów czy projektorów domowych – wraz z infrastrukturą centrów danych umozliwiają tę samą konsumpcję kulturową. Proces ten przypomina znany z innych branż mechanizm przenoszenia odpowiedzialności środowiskowej z producentów na konsumentów. Podobnie jak w przypadku opakowań produktów – producenci je wytwarzają, ale to konsumenci są rozliczani z utylizacji – platformy streamingowe przerzucają koszty energetyczne swojej działalności na miliony odbiorców. Indywidualny użytkownik postrzega swój telewizor czy projektor jako urządzenie o niewielkim zużyciu energii, podczas gdy łączna infrastruktura niezbędna do dostarczenia treści generuje zapotrzebowanie energetyczne o skali niemalże krajowej.

Mechanizm rozproszenia odpowiedzialności wpisuje się w szerszą logikę ukrywania materialnych podstaw technologii cyfrowych. Shannon Mattern, odwo-

łując się do Lisy Parks, podkreśla, że naszym obowiązkiem jako infrastrukturalnych obywateli/użytkowników jest świadomość systemów, które nas otaczają i które finansujemy i używamy, oraz że powinniśmy opracować sposoby wizualizacji i rozwijania umiejętności czytania infrastruktur oraz relacji, które kształtują się poprzez nie i wokół nich⁴⁹. Jennifer Gabrys opisuje ten stan jako paradoks, w którym elektronika *wyduje się pozbawiona substancji materialnej, podczas gdy media cyfrowe materializują się w charakterystyczny sposób – często właśnie dlatego, że wydają się pozornie tak niematerialne*⁵⁰.

Czy to oznacza, że przemysł filmowy nauczył się ukrywać swoje koszty energetyczne w rozproszonej infrastrukturze, czy to my ich po prostu jeszcze nie widzimy? A może niczym mąta wykorzystująca swoje chromatofory potrafi doskonale dopasować się do otoczenia i dlatego wydaje nam się, że tych kosztów nie ma? Czy może wpływ przemysłu na środowisko stanowi osobliwy przypadek zasady nieoznaczoności i w momencie próby jego zbadania po prostu znika? Ta zdolność do „znikania” złożonej infrastruktury jest właśnie istotą infrastrukturalnej mimikry – sprawia ona, że rzeczywiste koszty środowiskowe pozostają niewidoczne mimo wzrastającej skali produkcji. Zjawiska te pokazują, że teza o postępującej efektywności środowiskowej technologii cyfrowych wymaga zasadniczego zniuansowania. O ile nowoczesne technologie mogą być relatywnie bardziej efektywne w ujęciu jednostkowym, o tyle ich masowa adopcja i integracja z systemami AI oznacza rozrost całkowitego zapotrzebowania energetycznego.

Alternatywne modele produkcji

Przykładem alternatywnego modelu produkcyjnego jest projekt Cinebus zainicjowany przez autora zdjęć Sławomira Idziaka – mobilne studio filmowe pomyślane jako integralna przestrzeń realizacji pełnego spektrum procesów produkcyjnych: od preprodukcji, przez akwizycję materiału audiowizualnego, po finalną postprodukcję⁵¹. System ten charakteryzuje się wysokim stopniem samodzielności infrastrukturalnej oraz redukcją konieczności translokacji zasobów technicznych i ludzkich, co bezpośrednio przekłada się na minimalizację śladu węglowego. W 2021 r. Cinebus został wyposażony w panele słoneczne, redukując tym samym zapotrzebowanie na energię podczas realizacji filmowych⁵². Zakłada możliwość realizacji filmu „tu i teraz”, bez rozbudowanej infrastruktury przemysłowej. W tym kontekście Cinebus jest swoistą realizacją postulatu Huntera Vaughana i Pietiariego Kääpy, którzy zauważają, że *realizacja zorientowanych proekologicznie procesów zarządzania cyfrowego i logistyki produkcyjnej jest na tyle środowiskowo świadoma i odpowiedzialna, na ile dana organizacja na to pozwala*⁵³. Innym przykładem alternatywnej rekonfiguracji modelu produkcyjnego jest polski film *Jedna dusza* (reż. Łukasz Karwowski, zdj. Adam Bajerski, 2023), zrealizowany przy użyciu minimalnego zestawu filmowego – zaledwie dwóch mobilnych kamer i podstawowego sprzętu dźwiękowego. Kluczowe decyzje realizacyjne i logistyczne przy tej produkcji były podporządkowane celowi redukcji śladu węglowego. Sekwencje realizowane w kopalni, na głębokości ośmiuset metrów pod ziemią, wykorzystywały atuty dobranych kamer – ekstremalnie wysoką czułość matrycy. W tak trudnych warunkach zdjęciowych stosowano wyłącznie światło lamp górniczych obecnych na planie aktorów i ekipy – zarówno ze względów



Jedna dusza, reż. Łukasz Karwowski (2023)

estetycznych, jak i produkcyjnych. W lokalizacjach wewnętrznych zaimplementowano technologię *green screen*, by w postprodukcji umożliwić kompozycję krajobrazu śląskiej aglomeracji. Zrezygnowano z komputerowego generowania elementów scenografii na rzecz nowatorskich rozwiązań wykorzystujących płaskie fotografie obiektów. Eliminowało to konieczność realizacji materiału zdjęciowego w rozproszonych lokalizacjach, redukowało koszty transportu, wynajmu pomieszczeń, adaptacji scenograficznej w obiektach, użycia generatorów prądu i tym podobne. Film został zakwalifikowany do oficjalnej selekcji FFFF w Gdyni oraz najważniejszego światowego festiwalu autorów zdjęć Camerimage, co stanowi empiryczną weryfikację hipotezy, że minimalizm technologiczny nie musi implikować kompromisu artystycznego.

Projekty Cinebus i film *Jedna dusza* można potraktować jako przykłady połączenia w praktyce filmowej celów materialnych, estetycznych i ekologicznych. Minimalizm tego rodzaju, choć inspirujący, nie sprawdza się przy produkcjach wielobudżetowych, gdzie skala efektów wizualnych, liczba lokalizacji i złożoność logistyczna uniemożliwiają redukcję zasobów. Pietari Kääpä ostrzega przed idealizowaniem małych gestów ekologicznych, które mogą przesłaniać systemowe problemy przemysłu filmowego.

Odpowiedzialność kina

Od XIX-wiecznych wapiennych systemów oświetlenia, przez procesy barwnego systemu Technicolor, po petabajty danych, kinematografia zawsze była czymś więcej niż tylko filmem, funkcjonując jako kompleksowy system energetyczno-materialny o określonym wpływie na środowisko. Z perspektywy trzeciej dekady XXI w. materialność ta staje się coraz bardziej widoczna. Przyczyną jest przede wszystkim implementacja technologii umożliwiających produkcję przy zredukowanej infrastrukturze, jak i rosnącej świadomości ekologicznej. Należy jednak pamiętać, o czym wspominają Vaughan i Kääpä, że *kwestie środowiskowe długo były traktowane przez przemysł filmowy jako „miły dodatek”, pozostawiając niezależnych konsultantów ekologicznych na dole hierarchii branżowej, która marzę zysku traktuje priorytetowo, nad szerszym zaangażowaniem w wartości środowiskowe*⁵⁴. Historia technologii filmowej to jednocześnie historia dematerializacji i redukcji masy. Aparatura o wadze 227 kg przekształciła się w urządzenia liczące kilkaset gramów. Studio, niegdyś konsumujące energię małego miasta, dziś może funkcjonować w przestrzeni domowej. Ta transformacja to nie tylko postęp technologiczny, ale i fundamentalne przesunięcie matrycowe (sic!). Obraz cyfrowy cechuje się zredukowaną materialnością, trudnością w długoterminowym jego zachowaniu oraz podatnością na entropię cyfrową, a jednocześnie umożliwia mobilność, decentralizację oraz efektywność na polu zużycia energii, kosztów operacyjnych i emisji zanieczyszczeń. Jednak, jak argumentuje Laura Marks, mimo korporacyjnych nadziei na większą efektywność energetyczną technologii IT oszczędności te mogą zostać zniwelowane w wyniku rosnącego zużycia energii przez same te technologie⁵⁵.

Analiza najnowszych rozwiązań technologicznych ujawnia fundamentalną sprzeczność między pozorną efektywnością a rzeczywistym oddziaływaniem środowiskowym. Porównanie ściany LED (*Mandalorian*) z przednią projekcją (*Niepa-*

mięć) potwierdza istotny postęp w efektywności energetycznej – redukcję o 54 proc. na poziomie jednostki produkcyjnej. Jednocześnie jednak eksplozja zastosowań AI w postprodukcji, jak również infrastruktura streamingowa generują nowe, ukryte przed użytkownikami koszty energetyczne, które mogą przewyższać wszystkie dotychczasowe oszczędności.

Mechanizm rozproszenia odpowiedzialności środowiskowej – przeniesienia rzeczywistych kosztów energetycznych z centralizowanych studiów filmowych na konsumentów – to kontynuacja historycznego procesu transferu kosztów środowiskowych. Od chemikaliów w laboratoriach filmowych lat 20., przez emisję ciepła z lamp używanych przy realizacjach stosujących system Technicolor w latach 30., po współczesne centra danych – materialne konsekwencje są praktycznie niewidoczne dla końcowych użytkowników. Rozproszenie odpowiedzialności utrudnia również implementację rozwiązań systemowych – gdy koszty środowiskowe pozostają niewidoczne dla odbiorców, brakuje presji społecznej, by wprowadzić rzeczywiste zmiany w modelach produkcji. To tłumaczy, dlaczego dyskusje o ekologii w filmie koncentrują się na widocznych aspektach produkcji – jak transport ekipy czy segregacja odpadów na planie – ignorując kwestie infrastruktury energetycznej całego systemu.

W 1939 r. światowa produkcja filmowa ograniczała się do kilkuset, może tysiąca produkcji rocznie, współczesna kinematografia wytwarza ponad 9500 filmów rocznie na całym świecie. Miniaturyzacja sprzętu i cyfryzacja, zamiast redukować zużycie energii, zwiększyły skalę produkcji. Współczesne kino nie podlega dematerializacji, lecz re-materializacji o nowej, bardziej dyspersyjnej topografii: pozorna, niemal nieistniejąca „chmura” cyfrowa okazuje się wysoce materialna w swojej infrastrukturze. Od korbki Lumière’ów do algorytmów AI, kinematografia konsekwentnie ewoluuje w kierunku większej efektywności względnej przy jednoczesnym wzroście skali bezwzględnej. Miniaturyzacja aparatury filmowej i cyfryzacja procesów produkcji przeniosły obciążenie energetyczne do infrastruktur ukrytych, podczas gdy łączne zapotrzebowanie energetyczne przemysłu wzrasta wykładniczo.

Można założyć, że przyszłość medium filmowego zależy od rozwiązania zawiłości technologicznej: jak pogodzić artystyczne ambicje z materialnymi ograniczeniami planety, zachowując jednocześnie etyczną odpowiedzialność za środowiskowe konsekwencje decyzji twórczych. Odpowiedź prawdopodobnie leży nie w kolejnych przełomach technologicznych, lecz w rekonfiguracji samego pojęcia „efektywności” kina, gdzie konieczna będzie transpozycja od maksymalizacji produkcji do optymalizacji relacji między trzema E: estetyką, etyką a ekologią.

W kontekście powyższego postulowałbym wprowadzenie systemu indeksów energetycznych dla poszczególnych produkcji filmowych. Podobnie jak obecnie funkcjonują systemy klasyfikacji wiekowej czy oznaczenia jakości dźwięku, transparentny wskaźnik rzeczywistego zużycia energii przez film mógłby wpływać zarówno na decyzje produkcyjne, jak i wybory konsumentów. Taki indeks energetyczny powinien uwzględniać wszystkie etapy cyklu życia filmu: zużycie energii czy zasobów podczas preprodukcji i produkcji (sprzęt filmowy, logistyka), postprodukcję (renderowanie, centra danych), dystrybucję (streaming, centra danych platform) oraz przewidywaną konsumpcję energii przez użytkowników końcowych. Każdy film mógłby zatem otrzymać kategorię energetyczną –

np. od A (bardzo niskie zużycie) do G (bardzo wysokie zużycie) – uwidocznioma na plakatach, w platformach streamingowych i materiałach promocyjnych.

Wprowadzenie takiego systemu mogłoby zainicjować pozytywną rywalizację między producentami o najniższe wskaźniki energetyczne, stymulować innowacje w zakresie energooszczędnych technologii filmowych oraz – co najważniejsze – przełamać infrastrukturalną mimikrę współczesnej kinematografii i przywrócić widoczność materialnych kosztów w epoce pozornej dematerializacji. Widzowie zyskaliby narzędzie do podejmowania świadomych wyborów, a branża filmowa zostałaby postawiona przed koniecznością rzeczywistego rozliczenia się ze środowiskowych konsekwencji swojej działalności. Indeks energetyczny filmu stanowiłby pierwszy krok w kierunku rekonfiguracji myślenia ekologicznego, energetycznego i etycznego, czyniąc niewidoczne koszty środowiskowe kina znów widocznymi i tym samym – możliwymi do zweryfikowania.

-
- ¹ Zob. *Signal Traffic: Critical Studies of Media Infrastructures*, red. L. Parks, N. Starosielski, University of Illinois Press, Urbana – Chicago 2015.
- ² Zob. S. Cubitt, *EcoMedia*, Rodopi, Amsterdam 2005.
- ³ Zob. J. Parikka, *A Geology of Media*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2015.
- ⁴ L. Parks, *Around the Antenna Tree: The Politics of Infrastructural Visibility*, „Flow Journal”, 6.03.2009, <https://www.flowjournal.org/2009/03/around-the-antenna-tree-the-politics-of-infrastructural-visibility> (dostęp: 21.08.2025).
- ⁵ Zob. D. Worster, *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*, Cambridge University Press, Cambridge 1994.
- ⁶ Zob. R. Fielding, *A Technological History of Motion Pictures and Television*, University of California Press, Berkeley 1983.
- ⁷ Zob. J. Parikka, dz. cyt.
- ⁸ Zob. P. Kääpä, *Environmental Management of the Media: Policy, Industry, Practice*, Routledge, London – New York 2018.
- ⁹ J. Parikka, dz. cyt., s. 25.
- ¹⁰ Zob. L. P. Padhye, T. Jasemizad, S. Bolan, O. V. Tsyusko, J. M. Unrine i in., *Silver Contamination and Its Toxicity and Risk Management in Terrestrial and Aquatic Ecosystems*, „Science of The Total Environment” 2023, t. 871.
- ¹¹ Zob. *Silver Recovery Systems and Waste Reduction in Photoprocessing*, The North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance, <https://p2infohouse.org/ref/01/00048.htm> (dostęp: 6.06.2025).
- ¹² Zob. *Cosmetics and Skin: Panchromatic Make-up*, <https://www.cosmeticsandskin.com/cdc/panchromatic.php> (dostęp: 6.06.2025).
- ¹³ Zob. D. Bordwell, J. Staiger, K. Thompson, *The Classical Hollywood Cinema: Film Style and Mode of Production to 1960*, Columbia University Press, New York 1985, s. 538.
- ¹⁴ D. Crafton, *The Talkies: American Cinema's Transition to Sound, 1926-1931*, University of California Press, Berkeley 1997, s. 54.
- ¹⁵ Tamże, s. 15.
- ¹⁶ S. Street, *This Studio Is Dangerous!: Hazards of Working in British Film Studios in the 1930s and 1940s*, „Historical Journal of Film, Radio and Television” 2025, t. 45, nr 3, s. 5.
- ¹⁷ Tamże, s. 12-13.
- ¹⁸ H. T. Kalmus, *Technicolor Adventures in Cinemaland*, „Journal of the Society of Motion Picture Engineers”, grudzień 1938, s. 567.
- ¹⁹ R. W. Haines, *Technicolor Movies: The History of Dye Transfer Printing*, McFarland and Company, Jefferson 1993, s. 5-6.
- ²⁰ B. Salt, *Film Style and Technology: History and Analysis*, Starword, London 1983, s. 198-199.
- ²¹ <https://www.eastman.org/technicolor/technology/three-strip-camera> (dostęp: 6.08.2025).
- ²² D. Bordwell, J. Staiger, K. Thompson, dz. cyt., s. 597.
- ²³ Zob. E. F. Hanssen, *Early Discourses on Colour and Cinema, Origins, Functions, Meanings*, Stockholm University, Stockholm 2006.
- ²⁴ A. Harmetz, *The Making of The Wizard of Oz*, Hyperion, New York 1998, s. 230.
- ²⁵ Wyższa wartość nominalna przysłony oznacza większą głęboką ostrości, a co za tym idzie – mniej światła padającego na materiał światłoczuły.
- ²⁶ A. Harmetz, dz. cyt., s. 230.
- ²⁷ N. Starosielski, *Warning: Do Not Dig: Negotiating the Visibility of Critical Infrastructures*, „Journal of Visual Culture” 2012, t. 11, nr 1, 2012, s. 38-57.

- ²⁸ A. Harmetz, dz. cyt., s. 208, 228.
- ²⁹ Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2022 r.*, Warszawa 2023, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2022-roku,12,1.html> (dostęp: 6.06.2025).
- ³⁰ Zob. np.: K. Burwick, *The Snow In „The Wizard of Oz” Was 100% Pure Asbestos*, <https://www.imdb.com/news/ni63227618> (dostęp: 16.08.2025).
- ³¹ B. Flueckiger, *Timeline of Historical Colors in Photography and Film*, 2012, <https://filmcolors.org/timeline-entry/1310> (dostęp: 6.06.2025).
- ³² S. Street, K. M. Johnston, P. Frith, C. Rickards, *From the Margins to the Mainstream?: The Eastmancolor Revolution and Challenging the Realist Canon in British Cinema*, „Cinéma&Cie. Film and Media Studies Journal” 2019, t. 19, nr 32, <https://riviste.unimi.it/index.php/cinemaetie/article/view/16199> (dostęp: 13.08.2025).
- ³³ S. Cubitt, *Finite Media: Environmental Implications of Digital Technologies*, Duke University Press, Durham – London 2017, s. 6.
- ³⁴ *How Television Used to Be Made*, <https://www.adaptvhistory.org.uk/16mm> (dostęp: 6.06.2025).
- ³⁵ Zob. M. Coëgnarts, P. Kravanja, *Embodied Cognition and Cinema*, Leuven University Press, Leuven 2015.
- ³⁶ Zob. M. B. Yilmaz, E. Lotman, A. Karjus, P. Tikka, *An Embodiment of the Cinematographer: Emotional and Perceptual Responses to Different Camera Movement Techniques*, „Frontiers in Neuroscience” 2023, t. 18, nr 7.
- ³⁷ Aforyzm Jean-Luca Godarda, por. np. D. Parkinson, *Where to Begin with Jean-Luc Godard: The Early Stuff*, British Film Institute, 3.12.2015, <https://www.bfi.org.uk/features/where-begin-jean-luc-godard-early-stuff>.
- ³⁸ Zob. N. Kadner, *The Ultimate Guide to Using the Revolutionary Camera*, Peachpit Press, Berkeley 2010.
- ³⁹ M. Burns, *Rise of the Machines: Special Report/Lightning*, „British Cinematographer”, <https://britishcinematographer.co.uk/lightning> (dostęp: 16.08.2025).
- ⁴⁰ S. Sorrell, *The Evidence for Direct Rebound Effects*, w: *Energy Efficiency and Sustainable Consumption*, red. H. Herring, S. Sorrell, Palgrave Macmillan, Basingstoke 2009, s. 23.
- ⁴¹ F. Casetti, *Protective Media*, w: *Technics: Media in the Digital Age*, red. N. Baer, A. van den Oever, Amsterdam University Press, Amsterdam 2024, s. 153.
- ⁴² Filmakademie Baden-Württemberg, *Virtual Production Sustainability Report*, 2022; <https://animationsinstitut.de/en/blog/campus/detail/green-screens-green-pixels-and-green-shooting> (dostęp: 19.07.2025).
- ⁴³ S. Luccioni, Y. Jernite, E. Strubell, *Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?*, „FAcCT’24: Proceedings of the 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency”, Rio de Janeiro 2024, s. 85-99.
- ⁴⁴ U.S. Department of Energy, *United States Data Center Energy Usage Report*, Washington D.C. 2025, <https://www.energy.gov/doe-data-centers-2023> (dostęp: 7.08.2025).
- ⁴⁵ G. Guidi, F. Dominici, J. Gilmour, K. Butler, E. Bell i in., *Environmental Burden of United States Data Centers in the Artificial Intelligence Era*, arXiv, 2024, <https://arxiv.org/abs/2411.09786> (dostęp: 7.08.2025).
- ⁴⁶ N. Sherman, *Microsoft Chooses Infamous Nuclear Site for AI Power*, „BBC News”, 20.09.2024, <https://www.bbc.com/news/articles/cx25v2d7zexo> (dostęp: 6.08.2025).
- ⁴⁷ G. Fossati, A. van den Oever, *The Twenty-First-Century Post-Cinematic Ecology of the Film Museum*, w: *Post-cinema: Cinema in the Post-art Era*, red. D. Chateau, J. Moure, Amsterdam University Press, Amsterdam 2020, s. 136-137.
- ⁴⁸ 1 terawatogodzina (TWh) to 1 miliard kilowatogodzin (kWh). Zużycie 460 TWh zajęłoby przeciętnej rodzinie 131 milionów lat (dla porównania: dinozaury wyginęły ok. 66 milionów lat temu).
- ⁴⁹ S. Mattem, *Infrastructural Tourism*, „Places Journal”, lipiec 2013, <https://placesjournal.org/article/infrastructural-tourism> (dostęp: 6.08.2025).
- ⁵⁰ J. Gabrys, *Digital Rubbish: A Natural History of Electronics*, The University of Michigan Press, Ann Arbor 2011, s. 2
- ⁵¹ <https://filmspringopen.eu/cinebus> (dostęp: 6.06.2025).
- ⁵² <https://filmspringopen.eu/nowe-panele-sloneczne-w-cinebusie> (dostęp: 6.06.2025).
- ⁵³ H. Vaughan, P. Käätä, *Film and Television Production in the Age of the Climate Crisis*, Palgrave Macmillan, Cham 2022, s. 15.
- ⁵⁴ Tamże, s. 12.
- ⁵⁵ L. U. Marks, J. Clark, J. Livingston, D. Oleksijczuk, L. Hilderbrand, *Streaming Media’s Environmental Impact*, „Media+Environment” 2020, t. 2, nr 1.

Filip Kovčín

Reżyser, montażysta filmowy (PSM), scenarzysta, supervisor technologiczny nadzorujący efekty specjalne i postprodukcję filmów fabularnych i dokumentalnych. Koproducent i producent towarzyszący filmów dokumentalnych i fabularnych. Wykłada w PWSFTviT w Łodzi. Publikował artykuły dotyczące technologii filmowej, analizy filmów i montażu w kwartalnikach „Film & Tv Kamera” oraz „FilmPRO”. Współautor (wraz z dr. Piotrem Kucią i Jerzym Rudzińskim) dwóch książek o cyfrowej technologii filmowej: *Oświecenie* (2021) oraz *Iluminacja* (2022). Pierwsza z nich, wydana również w języku angielskim, stanowi też oficjalne wydawnictwo British Society of Cinematographers (BSC). Twórca programów telewizyjnych, reklam i teledysków. Zdobywca nagród Yach Film oraz Fryderyk, a także Złotej Płyty przyznawanej przez ZPAV (Związek Producentów Audio i Video w Polsce) za album *Yugoton*.

Film director and film editor (PSM – Polish Society of Editors), also working as a screenwriter and technical supervisor overseeing special effects and post-production for feature films and documentaries. Co-producer and associate producer of documentary and feature films. Academic lecturer at the Lodz Film School (Poland). He published articles on film technology, film analysis, and editing in the quarterly magazines *Film & TV Kamera* and *FilmPRO*. Co-author, together with Dr Piotr Kucia and Jerzy Rudziński, of two books on digital film technology: *Oświecenie [Enlightenment]* (2021) and *Iluminacja [Illumination]* (2022). The former has also been published in English and is currently distributed by the official publishing house of the British Society of Cinematographers (BSC). Creator of television and music programmes, commercials, and music videos. Recipient of numerous awards for music videos, including Poland's most prestigious music awards YachFilm and Fryderyk. Winner of the Gold Record awarded by ZPAV (Association of Audio and Video Producers in Poland) for the album *Yugoton*, for artistic contribution.

f.kovcin@filmschool.lodz.pl

Bibliografia

Casetti, F. (2024). Protective Media. W: N. Baer, A. van den Oever (red.), *Tèchnics: Media in the Digital Age* (ss. 153–167). Amsterdam: Amsterdam University Press.

- Cubitt, S.** (2005). *EcoMedia*. Amsterdam: Rodopi.
- Cubitt, S.** (2017). *Finite Media: Environmental Implications of Digital Technologies*. Durham – London: Duke University Press.
- Gabrys, J.** (2011). *Digital Rubbish: A Natural History of Electronics*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Harmetz, A.** (1998). *The Making of The Wizard of Oz*. New York: Hyperion.
- Kääpä, P., Vaughan, H.** (2022). *Film and Television Production in the Age of the Climate Crisis*. Cham: Palgrave Macmillan.
- Marks, L. U., Clark, J., Livingston, J., Oleksijczuk, D., Hilderbrand, L.** (2020). Streaming Media's Environmental Impact. *Media+Environment*, 2 (1). <https://doi.org/10.1525/001C.17242>
- Mattern, S.** (2013, lipiec). Infrastructural Tourism. *Places Journal*. <https://placesjournal.org/article/infrastructural-tourism>
- Parikka, J.** (2015). *A Geology of Media*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Parks, L.** (2009, 6 marca). Around the Antenna Tree: The Politics of Infrastructural Visibility. *Flow Journal*. <https://www.flowjournal.org/2009/03/around-the-antenna-tree-the-politics-of-infrastructural-visibilitylisa-parks-uc-santa-barbara>
- Parks, L., Starosielski, N.** (red.). (2015). *Signal Traffic: Critical Studies of Media Infrastructures*. Urbana – Chicago: University of Illinois Press.
- Sorrell, S.** (2009). The Evidence for Direct Rebound Effects. W: H. Herring, S. Sorrell (red.), *Energy Efficiency and Sustainable Consumption* (ss. 23-46). Basingstoke: Palgrave Macmillan.
- Starosielski, N.** (2012). Warning: Do Not Dig: Negotiating the Visibility of Critical Infrastructures. *Journal of Visual Culture*, 11 (1), ss. 38-57. <https://doi.org/10.1177/1470412911430465>