

Ihor Chernetskyi

<https://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

Iryna Slipukhina

<https://orcid.org/0000-0002-9253-8021>

Fabian Andruszkiewicz

<https://orcid.org/0000-0001-5318-3793>

DOI: 10.34866/2fgb-fk44

Zastosowanie analizy wideo w zdalnym nauczaniu fizyki

Application of video analysis in remote teaching of physics

Key words: video analysis, physics, distance learning, Tracker, instrumental digital didactics.

Abstract: Distance learning in the years 2020-2021 resulted in a much greater focus on the problem of shaping the ability to use digital tools by science teachers. In this context, interest in using video analysis tools in remote teaching science subjects such as physics, mathematics, chemistry, and others has increased significantly. The research problem undertaken in the work was defined as follows: is the analysis of video recordings an effective tool for remote teaching of physics at various levels of education? *Tracker: Video Analysis and Modeling Tool* provides physical data from moving and still image processing and mathematical modeling for descriptive and predictive lab exercises and educational experiments. The principles of creating educational films suitable for analysis in this digital environment have also been generalized. In the STEM laboratory of the National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine," model video recordings of physical experiments were created, and the possibilities of their use in teaching were determined; a collection of video recordings with assigned tasks was created, and original methods of conducting educational physics experiments were developed. Video analysis is a unique technology that can not only enhance science and math lessons but also deepen students' understanding of the scientific basis of observed phenomena and processes formalized in formulas, graphical and algebraic data. Teaching methods that use video analysis were used both in formal and informal education, in distance learning (caused, inter alia, by the COVID-19 pandemic), in the all-Ukrainian online tournament in natural sciences "Open Natural Shows," in summer science schools for students, in teacher training, seminars, and educational conferences. It can be expected that video analysis in teaching physics will broaden the understanding of ways to acquire scientific knowledge and effectively shape the skills of using digital tools among all participants of the educational process.

Słowa kluczowe: analiza wideo, fizyka, nauczanie na odległość, Tracker, instrumentalna dydaktyka cyfrowa.

Streszczenie: Nauczanie na odległość w latach 2020–2021 spowodowało zdecydowanie większe ukierunkowanie uwagi na problem kształtowania umiejętności posługiwania się narzędziami cyfrowymi przez nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. W tym kontekście znacznie

wzrosło zainteresowanie w zakresie wykorzystania narzędzi do analizy nagrań wideo w zdalnym nauczaniu przedmiotów z obszaru nauk ścisłych takich jak fizyka, matematyka, chemia i inne. Problem badawczy podjęty w pracy został określony następująco: czy analiza zapisów wideo jest skutecznym narzędziem nauczania zdalnego fizyki na różnych poziomach edukacji? Oprogramowanie *Tracker: Video Analysis and Modeling Tool* umożliwia uzyskiwanie danych o wielkościach fizycznych na podstawie przetwarzania obrazów ruchomych i statycznych, a także zastosowanie modelowania matematycznego w celach opisowych i prognostycznych do wykonywania ćwiczeń laboratoryjnych i eksperymentów edukacyjnych. Uogólniono również zasady tworzenia filmów edukacyjnych nadających się do analizy w tym środowisku cyfrowym. W laboratorium STEM Narodowego Centrum „Mała Akademia Nauk Ukrainy” stworzono wzorcowe nagrania filmowe eksperymentów fizycznych oraz określono możliwości ich wykorzystania w dydaktyce, utworzono zbiór nagrań wideo wraz z przypisanymi do nich zadaniami, opracowano także oryginalne metody przeprowadzania edukacyjnych eksperymentów fizycznych. Analiza wideo to wyjątkowa technologia, która może nie tylko wzbogacić lekcje przedmiotów ścisłych i matematyki, ale także pogłębić zrozumienie przez uczniów naukowych podstaw obserwowanych zjawisk i procesów sformalizowanych w postaci formuł, danych graficznych i algebraicznych. Metody nauczania wykorzystujące analizę wideo zostały wykorzystane w edukacji formalnej i nieformalnej, w kształceniu na odległość (spowodowanym między innymi pandemią COVID-19), w ogólnoukraińskim turnieju internetowym z nauk przyrodniczych „Otwarte pokazy przyrodnicze”, w letnich szkołach naukowych dla studentów, w szkoleniach dla nauczycieli, seminariach i konferencjach pedagogicznych. Można oczekiwać, że wykorzystanie analizy wideo w nauczaniu fizyki poszerzy rozumienie sposobów zdobywania wiedzy naukowej i jest skuteczne w kształtowaniu umiejętności posługiwania się narzędziami cyfrowymi wśród wszystkich uczestników procesu edukacyjnego.

Wprowadzenie

Pilna potrzeba zdalnego i hybrydowego kształcenia w wymiarze globalnym szybko zintensyfikowała działania światowego środowiska pedagogicznego w kierunku znalezienia odpowiednich i skutecznych pomocy dydaktycznych. Ta sytuacja może być „nową normą edukacyjną”, którą należy dokładnie zbadać i rozwinąć (Lieberman, 2020). Skuteczność jego wykorzystania zależy od systematycznego podejścia do szkolenia wszystkich uczestników procesu edukacyjnego (Yeigh i Lynch, 2021). Pomyślne uczenie się na odległość wymaga specjalnego wdrożenia materiałów dydaktycznych w środowisku wirtualnym, a także przestrzegania określonych zasad (Hargis, 2020), dlatego zasób kompetencji cyfrowych nauczycieli przedmiotów ścisłych wymaga kompleksowego ich doskonalenia (Kotzebue i in., 2021). Szczególnie ważne w tym kontekście jest poszukiwanie efektywnych podejść dydaktycznych do eksperymentów edukacyjnych, pokazów, prac laboratoryjnych i zadań praktycznych.

Znaczenie rozwijania umiejętności przetwarzania danych eksperymentalnych za pomocą narzędzi cyfrowych znajduje odzwierciedlenie w nowych standardach kształcenia, dotyczących kluczowych kompetencji przedmiotów edukacji przyrodniczej, między innymi jako pokłosie pandemii Covid 19 (*State standard of general public education*, 2020).

Polskie szkolnictwo nie do końca okazało się przystosowanym do nagłego przejścia na inne formy nauczania, o czym szeroko wypowiedzieli się zarówno pracownicy systemu oświaty, rodzice, jak i młodzież (Buchner i Wierzbicka, 2020).

Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 26 stycznia 2022 r. w sprawie czasowego ograniczenia funkcjonowania jednostek systemu oświaty w związku z zapobieganiem, przeciwdziałaniem i zwalczaniem COVID-19 pośrednio wskazuje na umiejętności nauczycieli w wykorzystaniu technologii informacyjnej w zdalnym nauczaniu. W rozporządzeniu ustawodawca wyraźnie określił sposób realizacji zajęć w § 3. 1.: „W jednostce systemu oświaty, której funkcjonowanie zostało w całości lub w części ograniczone zgodnie z § 1 ust. 1, zawieszono zajęcia są realizowane z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 30c ustawy z dnia 14 grudnia 2016 r. – Prawo oświatowe” (Rozporządzenie, 2022). Zatem bez odpowiedniego przygotowania nauczycieli oraz braku odpowiednich materiałów edukacyjnych niemożliwym jest przekazywanie treści nauczania na odpowiednio wysokim poziomie. Opracowane przez autorów materiały edukacyjne w postaci nagrań wideo z przedmiotu fizyka w pewnym stopniu wypełniają powstałą lukę, powodując tym samym pozbawianie uczniów stresu związanego z brakiem notatek (Venton i Compano, 2021).

Klasyczne przeprowadzenie laboratoryjnych badań edukacyjnych (najczęściej według dostępnych instrukcji) składa się z następujących głównych etapów, które rozpoczynają się bezpośrednio w szkolnym laboratorium (sali wykładowej), a następnie kontynuowane są podczas samodzielnej pracy w domu: utworzenie eksperymentalnego stanowiska, przeprowadzenie eksperymentu, zebranie i opracowanie danych oraz wyciągnięcie wniosków.

Organizacja nauczania fizyki na odległość w szkołach średnich i uczelniach wyższych w kontekście ograniczeń COVID-19 dowiodła słabości (co było oczywiste) wdrożenia pierwszych etapów prac laboratoryjnych.

Zajęcia laboratoryjne w zdalnym nauczaniu

Prace laboratoryjne z nauk przyrodniczych w warunkach Covid-19 zostały przeprowadzone w następujących podejściach.

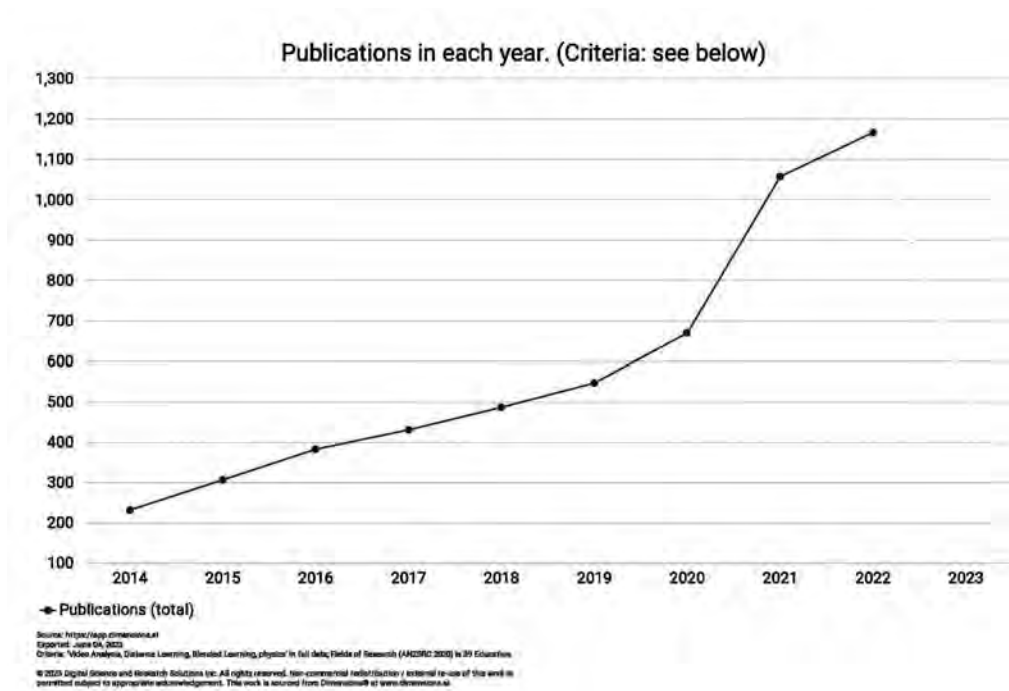
Najpopularniejszym, najprostszym i najbardziej popularnym podejściem do organizacji pracy laboratoryjnej na wszystkich poziomach edukacji jest wykorzystanie oprogramowania do symulacji eksperymentów fizycznych (Slipukhina et al., 2019). Twórcy takich zbiorów stale aktualizują swoje produkty i oferują różnorodne interaktywne modele odpowiednie do przeprowadzania wirtualnych eksperymentów (Nasbey i Raihanati, 2022); znaczna ich liczba jest publicznie dostępna, np. interaktywne symulacje PhET (<https://phet.colorado.edu/>) i ComPADRE (<https://www.compadre.org/>).

Innym sposobem jest stworzenie filmów z eksperymentów, co odzwierciedla procedurę składania zestawów eksperymentalnych w laboratorium oraz mierze-

nia wielkości fizycznych. Uzyskane dane są przekazywane uczniom i studentom do dalszego przetwarzania i rozpowszechniane na różne sposoby, najczęściej za pośrednictwem zasobów instytucji edukacyjnych lub przy wykorzystaniu platform społecznościowych.

Kolejną innowacją w badaniach przyrodniczych jest wykorzystanie elementów czujnikowych smartfonów jako urządzeń pomiarowych (Kilty i Burrows, 2020), określanej zbiorczo jako mobile-learning (m-learning). Jednak ta metoda uczenia się ma pewne ograniczenia: na przykład potrzeba jasnych instrukcji użycia różnych czujników, trudność samodzielnej interpretacji materiału graficznego, konieczność przełączania się między różnymi jednostkami itp (Slipukhina, Chernetkiy, Kurylenko, Mieniaiłow i Podlasów, 2020).

Alternatywą dla rozwiązywania szerokiego zakresu problemów dydaktycznych, wykorzystującą obserwację rzeczywistego zjawiska lub procesu, jest wykorzystanie narzędzia w postaci analizy wideo w nauczaniu zdalnym fizyki (Wee i Kwang, 2015). Materiały do nauki przeplatane analizą wideo prawdziwego eksperymentu powodują większe zainteresowanie uczniów przekazywanymi treściami i skutecznie poprawiają konceptualne zrozumienie materiału (Mufit i Fitri, 2022).



Rys. 1. Roczna liczba publikacji naukowych dla kombinacji słów kluczowych Video Analysis, Distance Learning, Blended Learning oraz Physics

Źródło: www.app.dimensions.ai.

Badanie publikacji w sieci Scopus opublikowanych w latach 2017–2021 wykazało znaczny (i oczekiwany) wzrost zainteresowania nauczaniem przedmiotów przyrodniczych z wykorzystaniem nagrań wideo w okresie obostrzeń kwarantannowych. Jednocześnie te same badania wykazały, że liczba materiałów wideo ukierunkowanych na kształtowanie myślenia badawczego jest wciąż niewielka (Puspa, Sanjaya & Allanas, 2022). Rosnące zainteresowanie nim na różnych poziomach nauczania potwierdzają statystyki uzyskane za pomocą sieci neuronowych i dotyczące używania w publikacjach naukowych kombinacji słów kluczowych „Video Analysis”, „Distance Learning”, „Blended Learning” oraz „Physics” w kategorii „Education” (rys. 1).

Obecnie trudno oszacować znaczenie analizy wideo dla badań w fizyce eksperymentalnej i innych dyscyplinach przyrodniczo-technicznych. Łącząc pełnowymiarowy eksperyment i cyfrowe przetwarzanie jego danych, analiza wideo pomaga porównywać abstrakcyjne pojęcia fizyczne z rzeczywistymi zjawiskami i procesami „z życia” i może być skutecznie wykorzystywana w różnych innowacyjnych metodach nauczania, kształtujących umiejętności badawcze uczniów (Artiningsih i Nurohman, 2020) i rozwijanie krytycznego myślenia (Allain, 2016). Unikalne doświadczenie, które wykazało skuteczność analizy wideo z wykorzystaniem tabletów w nauczaniu fizyki i chemii dzieci w wieku 4–6 lat (!), zostało potwierdzone w ramach trzyletniego programu doskonalenia zawodowego nauczycieli przedszkoli w Szwecji (Redfors, Fridberg, Jonsson, Thulin, 2022). Jak zwracają uwagę Souza oraz Feistel (2022), zdecydowana większość badań pedagogicznych nad wykorzystaniem analizy wideo w nauczaniu przedmiotów ścisłych i przyrodniczych skupia się na uczniach szkół średnich, gdzie mechanika jest jednym z głównych obszarów badań w fizyce, a treści wideo są wykorzystywane w ramach sekwencji działań wspólnie z innymi strategiami, zwłaszcza symulacjami komputerowymi i praktyką eksperymentalną. To samo badanie wykazało, że tworzenie filmów wideo przez samych uczniów i nauczycieli może motywować i przyciągać ich uwagę, zainteresowanie nauką oraz sprawić, że staną się aktywnymi podmiotami procesu edukacyjnego, zwłaszcza w dobie dzisiejszych czasów, kiedy wielu młodych ludzi udostępnia na przykład osobiste treści za pośrednictwem portali społecznościowych.

Badania nad wpływem analizy wideo w kontekście technologii klasy odwróconej, przeprowadzone przez Ihekoronye, Akinyemi i Aremu (2023), wykazały jej skuteczność w poprawie postaw, zwiększaniu osiągnięć i rozwijaniu umiejętności rozwiązywania problemów u studentów fizyki, co również potwierdzają w swoich badaniach Nasbey i Raihanati (2022). Technologia analizy wideo zjawisk naturalnych i stworzonych przez człowieka jest obecnie często wykorzystywana do rozwijania umiejętności inżynierskich uczniów i działa jako część podejścia STEM do nauczania i uczenia się fizyki w szkołach średnich i na uniwersytetach (Thy, Iwayama, 2022). Jak zauważają Defrianti i in. (2021), technologia analizy wideo z wykorzystaniem programu Tracker (i podobnych) jest skuteczna w przezwyciężaniu problemu słabego zrozumienia pojęciowego, co zostało wykazane w materiałach edukacyjnych dotyczących badania pędu oraz momentu pędu.

Strategia instruktażowa wykorzystująca analizę wideo może być skuteczną metodą do długoterminowego stosowania, ale wymaga starannych i systematycznych badań, oraz gotowości nauczycieli do jej wdrażania w procesie edukacyjnym. Fakt ten potwierdzają badania Tugirinshuti, Mugabo i Banuza (2021, 2022), którzy wśród takich czynników ograniczających zidentyfikowali strach przed niepowodzeniem w korzystaniu z nowych technologii, brak czasu, znaczną liczbę uczniów w klasach licealnych oraz trudności w ocenianiu. W tym kontekście istotną rolę odgrywają systematyczne szkolenia nauczycieli, powodujące nabycie umiejętności tworzenia własnych edukacyjnych materiałów wideo, wraz z metodyką ich wykorzystania, zwłaszcza w kształceniu na odległość (Horobets, Kryvonos, Voznyuk, 2022).

W dobie masowego wykorzystywania różnych gadżetów, w szczególności smartfonów, uczestnicy procesu edukacyjnego mogą tworzyć filmy wideo dotyczące zjawisk i procesów lub korzystać z ogromnej ilości dostępnych zasobów internetowych – agregatorów wideo do badań edukacyjnych, takich jak The LivePhoto Physics Project (<https://www.rit.edu/cos/livephoto/>).

Oprogramowaniem do analitycznego przetwarzania materiału wideo mogą być różne bezpłatne lub komercyjne programy, które są stale aktualizowane: Coach Logic (<https://www.coach-logic.com/>), Physics ToolKit (<http://ptk60.com/>), Data Point (<http://www.stchas.edu/faculty/gcarlson/physics/datapoint.htm>) i inne. Ponadto zestawy do ćwiczeń laboratoryjnych wiodących światowych marek, takich jak Vernier (<https://www.vernier.com/product/logger-pro-3/>), Pasco (<https://www.pasco.com/>) czy Phywe (<https://www.phywe.com/>), zwykle zawiera oprogramowanie do analizy wideo.

Funkcje dydaktyczne aplikacji *Tracker*: doświadczenia praktyczne

Na szczególną uwagę w kontekście doskonałości i dostępności zasługuje system Tracker: Video Analysis and Modeling Tool, wykorzystywany w szczególności do analizy wideo, modelowania matematycznego i fizycznego (<https://www.physlets.org/tracker/>). Ten soft jest wieloplatformowy i kompatybilny z Windows, iOS, Linux, oraz pozwala na korzystanie z różnych typów plików wideo i cechuje go mały obszar zajętej pamięci na dysku (140 Mb) o znacznych możliwościach. Ponadto Tracker ma oprogramowanie typu open source, które pozwala na szybkie jego ulepszenie (aktualna wersja 6.0.6), na przykład uzupełnianie swojej biblioteki własnymi rozwiązaniami użytkownika.

Największą wartością dydaktyczną aplikacji Tracker jest obecność systemu analizy danych tabelarycznych z aproksymacją wyników, zgodnie z matematycznym modelem procesu (Sartika, Wahyudi, Abdurrahman, 2019). Istniejące moduły analityczne Data Tool i Data Builder można połączyć z wideo i umożliwić przechwytywanie i przetwarzanie danych eksperymentalnych. Jest to ważne, na przykład w celu wyeliminowania niektórych powszechnie błędnych przekonań, porównując hipote-

zy, własne modele mentalne i matematyczne z rzeczywistych filmów wideo (Laws, Teese, Jackson, Willis i Koenig, 2017).

Znacząca skuteczność dydaktyczna Trackera została zauważona w wielu badaniach pedagogicznych na całym świecie (Sastri et al., 2021). Obiekty i przedmioty, które można badać na podstawie tego oprogramowania, mogą być dość zróżnicowane: od badania kinematyki (Muliyati, Septiningrum, Ambarwulan, Astra, 2019), (na przykład, badanie przyspieszenia swobodnego spadania na różnych planetach (Sari, Widodo, Madlazim, 2022), charakterystyk dynamicznych (Utari, Prima, 2019) i praw mechanicznych (Syepudin, Badriah, Warga, Kartini, Zikbal, 2018), (wykorzystujących sprzęt laboratoryjny, pojazdy i roboty [(Hockicko, Trpišová, Ondruš, 2014)] do badania zjawisk optycznych, takich jak analiza spektralna (Brown, 2010). Udowodniono również skuteczność Tracker w kształtowaniu kompetencji badawczych studentów (Asbanu, 2021).

Jednak pomimo znacznej liczby opracowań na temat wykorzystania analizy wideo w nauczaniu fizyki skuteczne wdrożenie technologii analizy wideo w fizyce i innych naukach przyrodniczych wymaga systematycznego kształcenia nauczycieli (Asrizal, Yohandri i Kamus, 2018): od umiejętności tworzenia wysokiej jakości zapisów wideo do umiejętności wykorzystywania narzędzi analitycznych, służących do przetwarzania danych. Wykorzystanie analizy wideo w nauczaniu na odległość zarówno fizyki, jak i innych nauk przyrodniczych wymaga również szeregu wysokiej jakości materiałów dydaktycznych, co tłumaczy się przede wszystkim różnorodnością badanych zjawisk i procesów.

Zatem celem niniejszej pracy będzie zapoznanie się z doświadczeniami autorów dotyczącymi wykorzystania aplikacji Tracker do analizy nagrań z prac laboratoryjnych oraz rozwiązywania zadań problemowych z obszaru zagadnień fizyki ogólnej. Ważnym przy tym wszystkim stają się kompetencje zawodowe nauczycieli, jak również umiejętności matematyczne uczniów i studentów niezbędne dla ilościowego przetwarzania danych eksperymentalnych.

Metodologia badawcza

Naukowe podejście do badań charakteryzuje się systematycznym gromadzeniem danych w celu uzyskania możliwie jasnego i bezstronnego obrazu jakiegoś aspektu (Tolmie, McAteers, Muij, 2011). Problem badawczy podjęty w pracy został określony następująco: czy analiza zapisów wideo jest skutecznym narzędziem nauczania zdalnego fizyki na różnych poziomach edukacji.

Otwarte bazy bibliograficzne (Scopus, Web of Science, Google Scholar, Research Gate, Dimensions) posłużyły do określenia stanu badań nad wykorzystaniem analizy wideo w nauczaniu na odległość i blended learning oraz uogólniania doświadczeń pedagogicznych dotyczących problemu badawczego. Badania podejść dydaktycznych, tworzenie map technologicznych i metod wykorzystania analizy wideo do zajęć laboratoryjnych i praktycznych prowadzono w laboratorium STEM „MANLab”

Narodowego Centrum „Mała Akademia Nauk Ukrainy” (NC „MANU”) przez ponad 3 lata, a działania te uzyskały aprobatę w edukacji formalnej i pozaformalnej, zwłaszcza w kontekście COVID-19.

Ważnymi źródłami pozwalającymi na uzyskanie danych o skuteczności wybranych metod analizy wideo były: ogólnoukraiński internetowy turniej przyrodniczy „Otwarty pokaz przyrodniczy” (2019–2021) oraz letnie szkoły przyrodnicze dla uczniów. Opracowane podejścia dydaktyczne przedstawiono edukatorom na kursach doskonalenia nauczycieli, seminariach i konferencjach, które odbywały się z udziałem specjalistów z laboratorium STEM „MANLab” NC „MANU”. Szacunkowe dane dotyczące penetracji zasobów www.stemua.science oparte są na informacji z globalnej sieci www.cloudflare.com.

Technologiczne wyzwania w tworzeniu dydaktycznych filmów z fizyki

Tworzenie edukacyjnych filmów wspomagających proces nauczania fizyki jest zasadniczym determinantem dydaktycznego sukcesu (Yulkifli, Ramli, 2018).

W laboratorium STEM „MANLab” Narodowego Centrum „MANU” powstało wiele nagrań wideo z eksperymentów, przydatnych dla prac laboratoryjnych w mechanice, fizyce molekularnej, optyce, fizyce atomowej i jądrowej. Wiele z tych danych (ponad 30 prac laboratoryjnych i ponad 20 nagrań wideo) są dostępne w sekcji „Instrumentalna dydaktyka cyfrowa” (www.stemua.science)

Przy opracowywaniu autorzy uwzględnili potrzebę tworzenia:

- filmów dydaktycznych, przydatnych do wykonywania jak największej liczby prac laboratoryjnych, zgodnie z programami kształcenia formalnego;
- szczegółowych instrukcji dotyczących zbierania i analizy danych dla każdego takiego szkolenia;
- „nietradycyjnych” metod eksperymentalnych przystosowanych do korzystania z Tracker, które mogą być wykorzystywane zarówno w edukacji formalnej, np. w przedmiotach do wyboru, jak i w pozaformalnej (letnie szkoły naukowe);
- materiałów dydaktycznych niezbędnych w pracy z wideonagraniami.

Należy zauważyć, że wykorzystanie programów do analizy wideo w nauczaniu fizyki stwarza elastyczne podejście do organizacji procesu edukacyjnego. Z jednej strony uczniowie mogą przeprowadzić eksperyment i na jego podstawie stworzyć nagranie wideo, nadające się do dalszej analizy, a z drugiej – skorzystać z wideo przygotowanego wcześniej przez prowadzącego zajęcia. Umożliwia to zastosowanie analizy wideo w nauczaniu fizyki w systemie stacjonarnym, na odległość lub blended learning.

Przede wszystkim należy zauważyć, że ważnym czynnikiem, który decyduje o wiarygodności wyników, ich zgodności (w granicach błędów) ze znanymi prawami fizycznymi, jest wysoka jakość materiału wideo przewidziana do obróbki w aplikacji Tracker lub innych podobnych programach. Uzyskane doświadczenie wskazuje na główne warunki jego powstania: wykorzystanie widea z optyką wysokiej jakości;

utrzymanie kontrastu barw poruszającego się obiektu i tła; dobór optymalnej szybkości klatek, zależnej od rodzaju badanego zjawiska (zwykle 30–1000 klatek na sekundę); bezruch urządzenia do nagrywania wideo podczas doświadczenia oraz ukazanie całego zestawu eksperymentalnego w jednym kadrze; położenie płaszczyzny ruchu obiektu obserwacji prostopadle do kierunku urządzenia rejestrującego wideo.

Przebieg prac badawczych odbywa się zgodnie z pewnym algorytmem postępowania. Jego głównymi etapami są: określenie klatek kluczowych oraz częstotliwości ich wyświetlania, segmentu jednostki, położenia układu współrzędnych, ręcznego lub automatycznego śledzenia położenia obiektów w każdej klatce, doboru odpowiednich parametrów do badań, analiza graficzna lub tabelaryczna, przetwarzanie danych eksperymentalnych w warunkach modelu matematycznego, odpowiadającego badanemu zjawisku, oraz dobór odpowiednich współczynników w celu dopasowania zachowania modelu do zarejestrowanego eksperymentu.

Zastosowania aplikacji *Tracker* do celów dydaktycznych

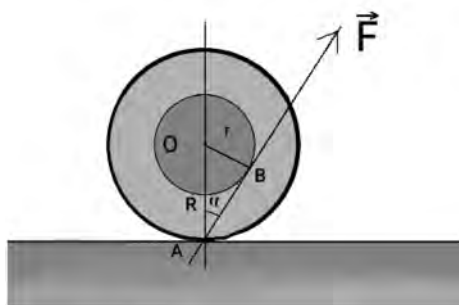
Na konkretnych przykładach nagrań wideo ukazano możliwości wykorzystania aplikacji *Tracker* w nauczaniu fizyki (Jesus, 2017). W większości przypadków analizę wideo wykorzystywano do opisu zjawisk mechanicznych (Romadhon et al., 2021), w tym mechaniki płynów (Syifa, Hartono, Sulhadi, 2022), aczkolwiek zwraca się również uwagę na wykorzystanie równań kinematycznych i praw dynamiki do opisu procesów rzeczywistych (Yulkifli, Ramli, 2018).

Oglądając film, uczniowie nabywają wiedzę i umiejętności z pewnych zagadnień fizycznych wchodzących w ramowe programy nauczania fizyki. Obejmuje to na przykład badanie momentu bezwładności obracającego się ciała (Nurfadilah, Maruto, 2020).

Rozważono koncepcję rozwiązania problemu z obszaru fizyki, polegającą na badaniu ruchu szpuli podczas ciągnięcia jej za wolny koniec nitki. Film, znajdujący się w dziale „Instrumentalna dydaktyka cyfrowa” zasobu www.stemua.science, pokazuje ruch szpuli, która jest ciągnięta przez wolny koniec nawiniętej na niej nici [<https://cutt.ly/BLvHCqb>].

Uczniowie oglądając film wyciągają następujące wnioski dotyczące szpuli: 1. szpula nie obraca się, jeśli siła naciągu jest skierowana w taki sposób, że jej linia działania przechodzi przez punkt kontaktu ze stołem, który jest chwilowym środkiem obrotu; 2) przy zmniejszaniu kąta siły naciągu szpula obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara i przesuwa się w prawo, a przy zwiększaniu – przeciwnie do ruchu wskazówek zegara i przesuwa się w lewo. Wynika to z faktu, że linie działania wszystkich sił, z wyjątkiem siły naciągu nici, która faktycznie określa kierunek ruchu, przechodzą przez punkt styku szpuli ze stołem (chwilowy środek obrotu), i dlatego ich momenty są zerowe (Mungan, 2001).

W przypadku rozwiązania ilościowego sugeruje się rozważenie sytuacji, w której szpula jest w stanie spoczynku lub ślizga się. W pierwszej kolejności tworzony jest model graficzny zjawiska (ryc. 2), który wskazuje punkty: 1) styku krawędzi szpuli z powierzchnią (A) oraz nitki z jej wewnętrzną częścią (B); 2) rzut osi obrotu na płaszczyznę figury (O).



Rys. 2. Graficzny model ruchu szpuli dla odpowiedniego zadania wideo

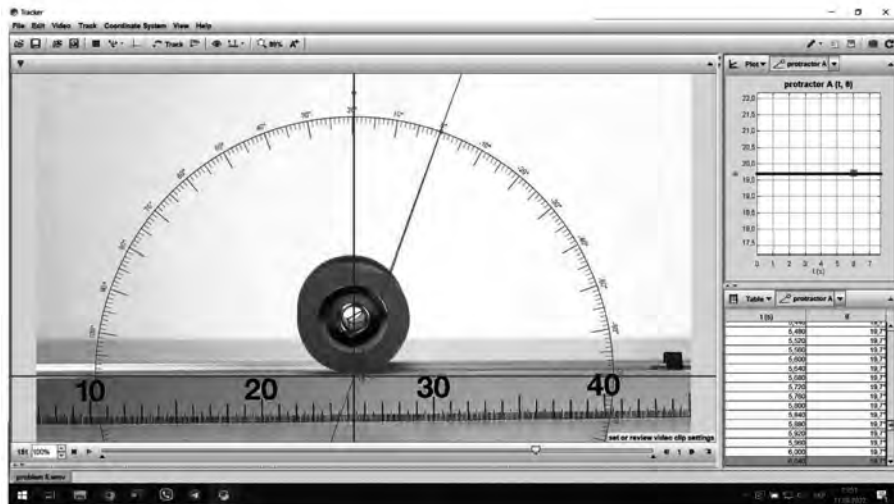
Źródło: www.stemua.science.

Stwierdzono, że trójkąt AOB jest prostokątny o bokach $OB = r$, który jest promieniem wewnętrznym cewki, a $OA = R$ – jego promieniem zewnętrznym. Ich stosunek określa znany stosunek: $R / r = 1 / \sin \alpha$. Dlatego kluczowym celem takiego zadania wideo jest określenie kąta α , który można uzyskać za pomocą aplikacji Tracker. Aby to zrobić, należy pobrać zapis wideo z www.vpd.stemua.science i wybrać kadr, w której szpula będzie ślizgać się po powierzchni stołu bez obracania. Narzędzia programu łączą początek układu współrzędnych z punktem styku szpuli z powierzchnią stołu (ryc. 3). Aby zmierzyć kąt α , który w tym przypadku był równy 20° , należy użyć opcji *Track – Measuring tools – Protractor*. Kolejne operacje matematyczne prowadzą do wniosku, że $R / r = 1 / \sin 20^\circ = 1 / 0,342 = 2,92 \approx 3$.

Jak wiadomo, prace laboratoryjne na lekcjach fizyki mają na celu eksperymentalne przetestowanie pewnych wzorców i praw, które zazwyczaj opisywane są zależnościami matematycznymi.

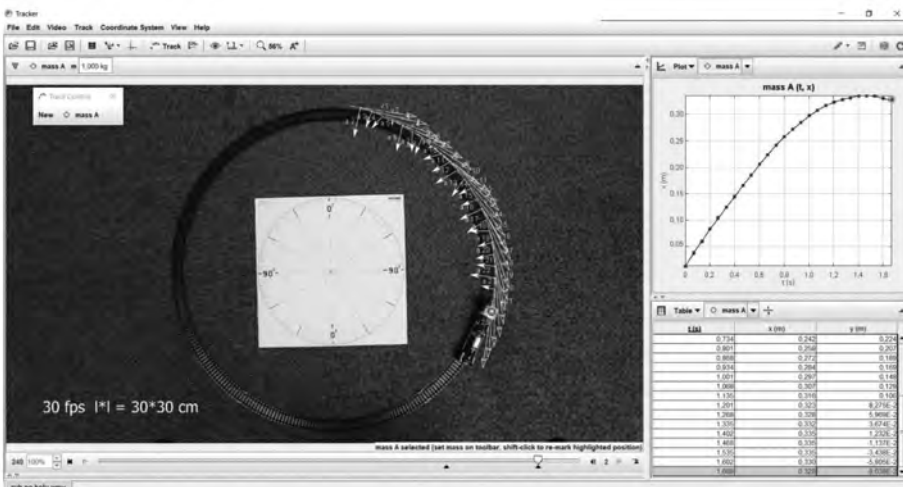
Kolejnym rozważanym przykładem pracy laboratoryjnej jest ćwiczenie mające na celu zbadanie kinematycznej charakterystyki ruchu ciała jednostajnego po okręgu: zależności czasowe współrzędnych $x(t)$, $y(t)$, średnie wartości rzutów liniowych (v), prędkości kątowych (ω) oraz przyspieszenie dośrodkowe (a). W tym celu nagrano film z ruchu zabawki – pociągu, przy tworzeniu którego wykorzystano powyższe zasady. Aplikacja Tracker zawiera narzędzia wystarczające do „śledzenia” pozycji określonych punktów ciała i dalszej analizy. W szczególności w menu głównym istnieje możliwość wyświetlania chwilowych wektorów prędkości liniowej i przyspieszenia odśrodkowego. Na rys. 4 przedstawiono okna Tracker: po lewej stronie – kadr wi-

deo ruchu określonego punktu materialnego (oznaczenie czerwone) oraz chwilowych wartości prędkości liniowej (żółte wektory) i przyspieszenie odśrodkowe (białe wektory); po prawej stronie automatycznie wyświetlane są dane o wielkościach kinematycznych, przedstawione w formie graficznej i tabelarycznej.



Rys. 3. Okno aplikacji Tracker z narzędziem do pomiaru kąta

Źródło: opracowanie własne.



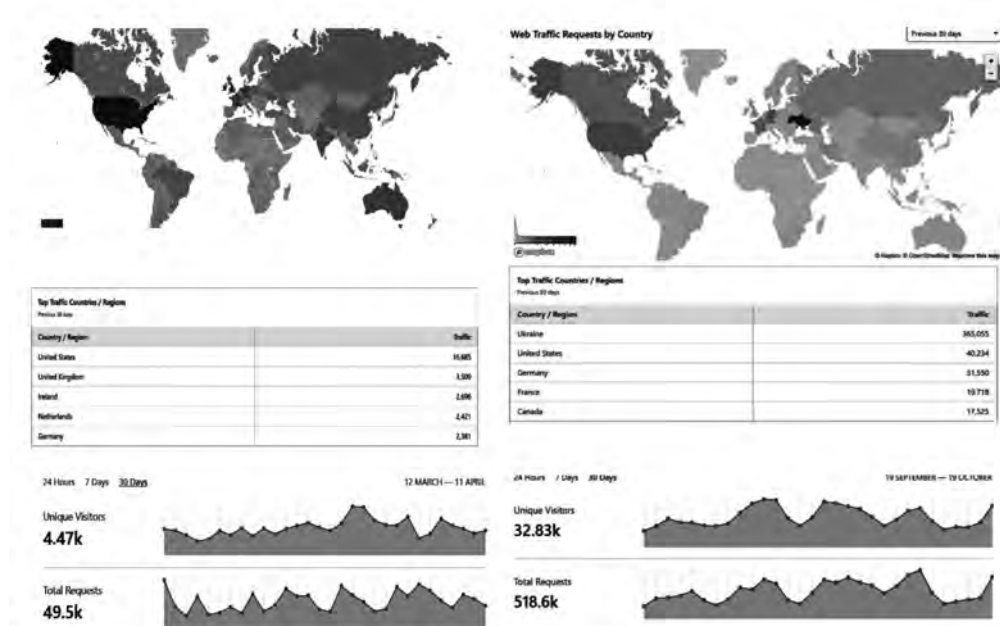
Rys. 4. Kadr z fragmentu nagrania wideo instrukcji wykonywania pracy laboratoryjnej przy użyciu narzędzi Tracker

Źródło: opracowanie własne.

Ważną funkcją aplikacji *Tracker* jest możliwość stworzenia matematycznego modelu ruchu w postaci równania z późniejszym powiązaniem go z badanym procesem. Takie podejście przyczynia się do kształtowania przez uczniów umiejętności stosowania naukowej metody badawczej do analizy rzeczywistych, niezidealizowanych procesów.

Opracowane nagrania wideo i prace laboratoryjne znalazły zastosowanie w nauce zdalnym i blended learning, w edukacji formalnej i pozaformalnej na różnych poziomach kształcenia.

Jaskrawym przykładem praktycznego zastosowania ww. dokonań jest ich wykorzystanie w ogólnoukraińskim turnieju „Otwarty Pokaz Przyrodniczy”, który funkcjonuje od 2011 roku i w którym rocznie bierze udział ok. 2,5 tys. uczniów, będących członkami 250–300 zespołów z całego kraju. Zadania wideo, prezentowane na tym konkursie intelektualnym, stopniowo ewoluowały od obserwacji zjawisk zarejestrowanych na wideo do pomiaru wielkości fizycznych z późniejszym konstruowaniem modeli matematycznych w oparciu o wykorzystanie Tracker.



Rys. 5. Web trafik www.stemua.science według kraju (powyżej); liczba odwiedzin witryn internetowych w roku 2022 w okresie marzec–kwiecień (po lewej), marzec–kwiecień 2022 (po prawej)

Źródło: www.cloudflare.com.

W eliminacjach tego turnieju w roku 2021 spośród dwudziestu zadań uczestnikom zaproponowano wykonanie zadania polegającego na znalezieniu współczynnika tarcia ślizgowego na podstawie analizy wideo procesu ruchu ciała na płaszczyźnie

pochyłej [https://www.youtube.com/watch?v=OiTtb_hQ1P8], a w roku 2022 – zadanie określenia siły naciągu smyczy dla psa w zależności od jej długości [<https://www.youtube.com/watch?v=3vy78kkgXB0>]. Zadania te z powodzeniem ukończyło 80% uczestniczących zespołów.

Portal laboratorium STEM „MANLab” – www.stemua.science, którego zawartość jest na bieżąco aktualizowana o różne metody nauczania nauk przyrodniczych (Shapovalov, Shapovalov, Andruszkiewicz, Volkova, 2020), stał się kluczowym zbiorem, przedstawiającym aktualne dane dotyczące metod nauczania fizyki oraz innych nauk przyrodniczych z wykorzystaniem analizy wideo.

Na rys. przedstawiono statystyczne dane wykorzystania www.stemua.science w 2022 roku w okresie marzec–kwiecień (4,5 tys. unique visitor) oraz wrzesień–październik (ok. 33 tys. unique visitor), uzyskane za pomocą globalnej sieci www.cloudflare.com.

Do najaktywniejszych użytkowników portalu, oprócz Stanów Zjednoczonych, dołączyły Niemcy, Kanada i Francja, Wielka Brytania, Irlandia i Holandia, co przekonująco dowodzi istotności tego obszaru badań i zainteresowania międzynarodowej pedagogicznej społeczności.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pokazały, że powyższe opracowania wskazane są do zastosowania w nauczaniu fizyki oraz innych nauk przyrodniczych w zdalnym systemie kształcenia. Oprogramowanie Tracker jest ważnym narzędziem dydaktycznym o szerokim zakresie możliwości przydatnym do analizy zjawisk i procesów fizycznych. Opracowanie materiału wideo może być również wykorzystane jako uzupełnienie podstawowego procesu edukacyjnego z fizyki w szkolnictwie średnim, a także w kształceniu specjalistów w szkolnictwie wyższym oraz na kursach doskonalenia nauczycieli. Ważnym jest również to, że do badań uczniowie i studenci mogą wykorzystywać już istniejące materiały prezentowane w zasobach aplikacji Tracker lub w agregatorach takich filmów albo tworzyć własne, co znacznie zwiększa swobodę i motywację do badań, promuje kreatywność w korzystaniu z metod naukowych.

Pomocnym materiałem dydaktycznym dla wszystkich uczestników procesu kształcenia może być podręcznik *Fizyka. Stosowane techniki instrumentalnej dydaktyki cyfrowej* opracowany na podstawie przeprowadzonych badań i określający główne założenia teoretyczne i techniki oparte na wykorzystaniu aplikacji Tracker (Chernetsky, Slipukhina, Polikhun, 2020).

Należy również zauważyć, że kluczowym problemem w kontekście wprowadzenia analizy wideo w zdalnym nauczaniu fizyki i blended learning pozostaje przygotowanie nauczycieli do nowych wyzwań w tym obszarze.

Odpowiednie przygotowanie nauczycieli pozwoli na optymalne możliwości wykorzystania przez nich nowych rozwiązań i nowoczesnych środków dydaktycznych, jak również uczyni ten proces ciekawym i interesującym dla uczniów. Jednakże zdalne nauczanie niesie ze sobą pewne zalety i wady. Do zalet można zaliczyć indywidualizację przyswajania wiedzy, znoszącą barierę czasu i przestrzeni, swobodne korzystanie z multimediów, możliwość wykonywania doświadczeń on-line na zdalnych lekcjach z fizyki, możliwość równoczesnego wykonywania pracy zarobkowej, nabywanie umiejętności diagnozowania, analizowania i syntezy, wypracowywania samodyscypliny w procesie uczenia się, dostęp on-line do naukowców oraz prowadzenie z nimi dyskusji i wiele innych. Wadami natomiast zdalnego nauczania fizyki będą pewne ograniczenia np. w kontaktach między uczącymi się i nauczycielem, brakiem natychmiastowej reakcji nauczyciela na popełniane błędy, brakiem bezpośredniego nadzoru, schematu kształcenia, co ściśle jest związane z samomotywowaniem się do nauki.

Wdrożenie analizy wideo w nauczaniu i uczeniu się fizyki może jednakże napotkać na pewne trudności związane między innymi z dodatkowymi szkoleniami nauczycieli i uczniów w zakresie narzędzi programowych, dostępem do filmów wysokiej jakości, które odpowiadają konkretnym koncepcjom, prawom i zjawiskom fizycznym, zwłaszcza tych, które rejestrują precyzyjne pomiary i szczegóły eksperymentów. W tym kontekście ważnymi czynnikami technicznymi wpływającymi na jakość pomiarów z wykorzystaniem analizy wideo stają się rozdzielczość, liczba klatek na sekundę oraz zniekształcenia obrazu. Kalibracja wideo i zapewnienie dokładnych pomiarów to złożony proces, który wymaga wiedzy technicznej i specjalistycznych narzędzi.

Kolejnym utrudnieniem jest wprowadzenie analizy wideo do procesu nauczania przedmiotów przyrodniczych w szkołach podstawowych i ponadpodstawowych. Wymaga to z jednej strony dodatkowego czasu potrzebnego na przetworzenie otrzymanych danych wizualnych i numerycznych oraz wykonanie obliczeń, co jest dość trudne do osiągnięcia w ramach ograniczonego czasu trwania zwykłej lekcji; z drugiej strony nauczyciele muszą znaleźć odpowiednią równowagę między tradycyjnymi metodami nauczania a czynnościami związanymi z analizą wideo, upewniając się, że kluczowe pojęcia są skutecznie przekazywane za pomocą wideo bez uszczerbku dla głębszego ich zrozumienia. Ponadto ocena wyników uczenia się uczniów i udzielanie informacji zwrotnych może być dość trudne. Może to wymagać dodatkowych kryteriów i wskaźników ocen, a terminowe i konstruktywne przekazywanie informacji zwrotnych na temat uzyskanych danych i ich interpretacji może okazać się czasochłonnym procesem.

Sprostanie tym wyzwaniom jest bezpośrednio związane z zapewnieniem nauczycielom odpowiednich szkoleń i dostępu do wszelkich materiałów dydaktycznych, wspieraniem współdziałania między nauczycielami a pracownikami naukowymi, opracowywaniem standaryzowanych protokołów analizy wideo oraz badaniem in-

nowacyjnych technologii uczenia się, które upraszczają proces przy jednoczesnym zachowaniu dokładności i autentyczności.

Z uwagi na rozwijającą się problematykę edukacji cyfrowej, wspomagającej proces nauczania, wskazane są dalsze, bardziej szczegółowe badania w tym obszarze. Ukazany materiał w treści artykułu posiada charakter eksperymentu i wskazanym byłoby wprowadzenie tej metody na szerszą skalę w nauczaniu zdalnym, w obszarze nauk przyrodniczych i ścisłych, w odniesieniu do zróżnicowanych poziomów nauczania i uczenia się.

Bibliografia

1. Allain, R. (2016). *Detecting fake videos. Physics and Video Analysis*, <https://doi.org/10.1088/978-1-6817-4067-6ch7>.
2. Artiningsih, A., Nurohman, S. (2020). Analysis of investigative skills based on the use of Tracker video analysis for 21st century skill. *Journal of Science Education Research*, 3, <https://doi.org/10.21831/jser.v3i2.30621>.
3. Asbanu, D. E. (2021). Application of scientific guided inquiry assisted video analysis tracker to improve science generic skills. *International Journal of Current Science Research and Review*, 04(12), <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v4-i12-12>.
4. Asrizal, A., Yohandri, Y., Kamus, Z. (2018). Studi Hasil Pelatihan Analisis Video dan tool pemodelan tracker pada guru MGMP Fisika Kabupaten Agam. *Jurnal Eksakta Pendidikan (JEP)*, 2(1), 41, <https://doi.org/10.24036/jep/vol2-iss1/84>.
5. Brown, D. (2021, 19 lipiec). *Spectroscopy using the tracker video analysis program*. [Wpis na blogu]. Pobrane z: https://www.physlets.org/tracker//download/AAPT_spectroscopy_poster.pdf.
6. Buchner, A., Wierzbicka, M. (2020). *Edukacja zdalna w czasie pandemii. Raport II*. Spółdzielnia Otwartej Edukacji Centrum Cyfrowe, https://centrumcyfrowe.pl/wp-content/uploads/sites/16/2020/11/Raport_Edukacja-zdalna-w-czasie-pandemii.-Edycja-II.pdf.
7. Chernetsky, I., Slipukhina, I., Polikhun, N. (2021, 22 lipiec). *Physics. Applied methods of instrumental digital didactics: educational and methodical manual*. Kyiv: National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine". [Wpis na blogu]. Pobrane z: https://stemua.science/wp-content/uploads/2022/04/FINISH_physics_last.pdf.
8. Defrianti, R., Mufit, F., Gusnedi, Hidayat, Z. (2021). Design of cognitive conflict-based teaching materials integrating real experiment video analysis on momentum and impulse materials to improve students' concept understanding. *Pillar of physics education*, 14(2), 97, <https://doi.org/10.24036/11155171074>.
9. Hargis, J. (2020). What is effective online teaching and learning in higher education? *Academia Letters*, Article 13, <https://doi.org/10.20935/AL13>.
10. Hockicko, P., Trpišová, B., Ondruš, J. (2014). Correcting students' misconceptions about automobile braking distances and video analysis using Interactive Program tracker. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), s. 763–776, <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9510-z>.
11. Horobets, S., Kryvonos, Voznyuk. (2022). Skills of working with photo and video materials as a component of teacher's ICT competence in distance learning. *Zhytomyr Ivan Franko State University Journal. Pedagogical Sciences*, 4(111), s. 283–290, [https://doi.org/10.35433/pedagogy.4\(111\).2022.283-290](https://doi.org/10.35433/pedagogy.4(111).2022.283-290).

12. Jesus, Vitor. (2017). *Experiments and Video Analysis in Classical Mechanics* (Series title: Undergraduate Lecture Notes in Physics), <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52407-8>.
13. Kilty, T.J., Burrows, A.C. (2020). Systematic Review of Outdoor Science Learning Activities with the Integration of Mobile Devices. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 12(2), s. 33–56, <https://doi.org/10.4018/ijmbl.2020040103>.
14. Kotzebue, L., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann T., Thyssen, C. (2021). The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences* 11(12):775, <https://doi.org/10.3390/educsci11120775>.
15. Laws, P.W., Teese, R.B., Jackson, D.P., Willis, M.C., Koenig, K. (2017). Using online interactive physics-based video analysis exercises to enhance learning. *Scientia in Educatione*, 8, <https://doi.org/10.14712/18047106.747>.
16. Lieberman, M. (2021, 9 wrzesień). *Like It or Not, K-12 Schools Are Doing a Digital Leapfrog During COVID-19*. Education Week. [Wpis na blogu]. Pobrane z: <https://www.edweek.org/technology/like-it-or-not-k-12-schools-are-doing-a-digital-leapfrog-during-covid-19/2020/06>.
17. Mufit, F., Fitri, A.D. (2022). The analysis of experiment video on cognitive conflict-based teaching materials to enhance momentum-impulse concepts understanding. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 8(2), 293–304, <https://doi.org/10.21009/1.08211>.
18. Muliwati, D., Septiningrum, A.D., Ambarwulan, D., Astra, I.M. (2020). The development of Guided Inquiry Student Worksheet using tracker video analysis for kinematics motion topics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1491(1), 012062, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1491/1/012062>.
19. Mungan, C.E. (2001). Acceleration of a pulled spool. *The Physics Teacher*, 39(8), s. 481–485, <https://doi.org/10.1119/1.1424598>.
20. Nasbey, H., Raihanati, R. (2022). Developing a video education on the topic of modern physics based on Problem Based Learning (PBL) assisted Phet Online Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377(1), 012067, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012067>.
21. Nurfadilah, Sulisworo, D., Maruto, G. (2020). *Tracker application to determine the moment of inertia in a video-based laboratory to improve students' learning activity*. Proceedings of the International Conference on Community Development (ICCD 2020), <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201017.119>.
22. Puspa, R.W., Sanjaya, L.A., Allanas, E. (2022). Trends of video instructional in Physics learning: A literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377(1), 012073, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012073>.
23. Redfors, A., Fridberg, M., Jonsson, A., Thulin, S. (2022). Early years physics teaching of abstract phenomena in preschool – supported by children's production of tablet videos. *Education Sciences*, 12(7), s. 427, <https://doi.org/10.3390/educsci12070427>.
24. Romadhon, D.R., Rahiem, M.D., Faeruz, R., Dewi, R.S., Lubis, A.B., Kartanegara, M. (2021). *The utilization of Tracker video analysis app to measure Centripetal Force for Physics Teaching*. 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), <https://doi.org/10.1109/citsm52892.2021.9588883>.
25. Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 26 stycznia 2022 r. w sprawie czasowego ograniczenia funkcjonowania jednostek systemu oświaty w związku z zapobieganiem, przeciwdziałaniem i zwalczaniem COVID-19. Dz. U. Warszawa, dnia 26 stycznia 2022 r. Poz. 186.
26. Sari, D.P., Widodo, W., Madlazim, M. (2022). Sciences Practicum in the COVID-19 pandemic era by using a video tracker. *Jurnal inovasi pendidikan dan sains*, 2(3), s. 75–81, <https://doi.org/10.51673/jips.v2i3.621>.

27. Sartika, Y., Wahyudi, I., Abdurrahman, A. (2019). Using guided inquiry learning with Tracker application to improve students' graph interpretation ability. *Tadris: Jurnal Keguruan Dan Ilmu Tarbiyah*, 4(1), s. 17–25, <https://doi.org/10.24042/tadris.v4i1.3060>.
28. Sastri, O.S.K.S., Swathi, Deepa, S., Sharma, S. (2021). Video analysis of double pendulum using tracker. *Journal of Research: The Bede Athenaeum*, 12(1), s. 33–42, <https://doi.org/10.5958/0976-1748.2021.00004.7>.
29. Shapovalov, Y.B., Shapovalov, V.B., Andruszkiewicz, F., Volkova, N.P. (2021, 9 wrzesień). *Analyzing of main trends of STEM education in Ukraine using stemua.science statistics. 7th Workshop on Cloud Technologies in Education (CTE2019)*, CEUR, 2643, s. 448–461. [Wpis na blogu]. Pobrane z: <https://1drv.ms/w/s!AuzOS5B-GNet0DYv0euxJu9u2-fu>.
30. Slipukhina, I., Chernetskiy, I., Kurylenko, N., Mienailov, S., Podlasov, S. (2021). *Instrumental Digital Didactics of Physics Study in the Aspect of M-learning* (pp. 3–21), https://doi.org/10.1007/978-3-030-77592-6_1
31. Slipukhina, I., Kuzmenkov, S., Kurilenko, N., Mienailov, S. Sundenko H. (2021, 12 wrzesień). *Virtual educational physics experiment as a means of formation of the scientific worldview of the pupils: ICT in Education, Research, and Industrial Applications. 15 th Int. Conf. ICTERI 2019. Volume I: Main Conference. Kherson, Ukraine, June 12–15, 2019*, s. 318–333. Pobrane z: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/>.
32. Souza, W., Feistel, R. (2022). *Produção científica sobre a utilização de vídeos no ensino de física: uma revisão em periódicos nacionais*. In book: *Ciências da Natureza e Matemática: relatos de ensino, pesquisa e extensão (Volume 4) / MT Ciência* Publisher: Fundação UNI-SELVA, <https://www.researchgate.net/publication/365842944>.
33. State standard of general public education (2020, 17 grudzień). *The concept of secondary school of Ukraine*. Pobrane z: http://osvita.ua/legislation/Ser_osv/76886/.
34. Syepudin M.R., Badriah R.S., Warga R.M., Kartini T., Zikbal W. (2018). Menganalisis sudut Pendulum Pada Bidang miring Menggunakan software tracker video. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 3(2), s. 14–20, <https://doi.org/10.15575/jotalp.v3i2.6553>.
35. Syifa, N.H., Hartono, H., Sulhadi, S. (2022). Determination of terminal velocity and fluid viscosity using falling ball viscometer with video tracker application. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, 10(2), s. 75–80, <https://doi.org/10.24252/jpf.v10i2.22242>.
36. Ihekoronye, C.P., Akinyemi, A.L., Aremu, A. (2023). Effect of two modes of simulation-based flipped classroom strategy on learning outcomes of private universities' pre-degree physics students in southwestern Nigeria. *Journal of Global Research in Education and Social Science*, s. 11–18, <https://doi.org/10.56557/jogress/2023/v17i38230>.
37. Thy, S., Iwayama, T. (2022). Investigation of pendulum damping using an angle sensor and video analysis: Combination of viscous and dry friction. *Physics Education*, 57(6), 065026, <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac93df>.
38. Tugirinshuti, G.J., Mugabo, L.R., Banuza, A. (2021). Integrating video-based multimedia in teaching physics in context of Covid-19 in Rwandan Secondary Schools. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 20(12), s. 49–63, <https://doi.org/10.26803/ijlter.20.12.4>.
39. Tugirinshuti, G.J., Mugabo, L.R., Banuza, A. (2022). Teacher pedagogical beliefs and resistance to the effective implementation of video-based multimedia in the physics classroom. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(5), s. 463–477, <https://doi.org/10.26803/ijlter.21.5.23>.

40. Utari, S., Prima, E.C. (2019). Analisis Hukum Kekekalan Momentum Model tumbukan Kelereng Dengan Gantungan ganda menggunakan analisis video tracker. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 5(2), 83, <https://doi.org/10.25273/jpfk.v5i2.4145>.
41. Venton, B.J., Pompano, R.R. (2021b). Strategies for enhancing remote student engagement through active learning. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413(6), s. 1507–1512, <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03159-0>.
42. Wee, L.K., Kwang, L. (2015). Video Analysis and Modeling Performance Task to Promote Becoming Like Scientists in Classrooms. *American Journal of Educational Research*. 3, <https://doi.org/10.12691/education-3-2-14>.
43. Yeigh, T., Lynch, D. (2021). *Is Online Teaching and Learning Here to Stay? Academia Letters*, <https://doi.org/10.20935/AL24>.
44. Yulkifli, Y., Ramli, R. (2018). The use of tracker application to Enchance Physics Teachers in senior high school in making laboratory video. *Pelita Eksakta*, 1(1), s. 31, <https://doi.org/10.24036/pelitaeksakta/vol1-iss1/9>.

Ihor Chernetskyi

Narodowe Centrum „Mała Akademia Nauk Ukrainy”

Iryna Slipukhina

Narodowe Centrum „Mała Akademia Nauk Ukrainy”

Fabian Andruszkiewicz

Uniwersytet Opolski