młody TECHNIK
Istnieje od 1932 roku

CHERCHEZ LA FEMME: Grace Hopper

Admirał, która nauczyła komputery mówić po ludzku

maj 2026
www.mlodytechnik.pl

Tu przejrzysz i kupisz ten numer

NEWS 24/7
przeglądaj codziennie na swoim smartfonie

młody m.technik

Ciekawi świata są zawsze młodzi



WOJNA DRONÓW

Science fiction w „Młodym Techniku”

Krzysztof Szczechowski: Księżyc

ISSN 0462-9760 Indeks 365408
nr 05/2026 • cena: 19,90 zł
(w tym 8% VAT)

pakiet promocyjny KOCHAM SZACHY
7 e-booków z rabatem 50%















pakiet promocyjny NA WARSZTACIE
9 e-booków z rabatem 50%



















Dla prenumeratorów – 30% rabatu!
Promocja Internetowa – w formularzu zamówienia online zaznacz pole
„Jestem prenumeratorem wydawnictwa AVT, kupuję ze zniżką”
i podaj swój numer prenumeraty.

www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl a93bb99d0b



Temat okładkowy
Cztery lata wojny w Ukrainie zrewolucjonizowały technologię dronów. Małe, tanie, precyzyjne bezzałogowce stały się nową twarzą pola walki. Co ta rewolucja oznacza dla cywilizacji?

Nagroda pocieszenia

Zanim napisałem ten wstępniak, siedziałem długo przed pustym ekranem. Temat numeru – wojna dronów – jest ważny, aktualny i dobrze udokumentowany. Ale nurtowało mnie inne pytanie. Bardziej przewrotne. Takie, które trudno zadać głośno, bo brzmi cynicznie. Postanowiłem je jednak zadać, bo udawanie, że go nie ma, byłoby nieuczciwością.

Pytanie brzmi tak: czy okropna, bestialska, wieloletnia wojna w Ukrainie pozostawi po sobie jakiś innowacyjny ślad w cywilizacji? Czy zostawi – i tu zacisnąłem zęby, pisząc te słowa – coś w rodzaju nagrody pocieszenia?

Historia zna odpowiedź. I jest ona niepokojąco jednoznaczna.

Zbrodnia i wynalazek

Druga wojna światowa zabiła siedemdziesiąt milionów ludzi. Zostawiła po sobie gruzy Warszawy, Drezna i Hiroszimy. Zostawiła też radar, silnik odrzutowy, penicylinę w masowej produkcji i podstawy informatyki. Samolot odrzutowy, opracowany w pośpiechu przez inżynierów Luftwaffe i RAF-u, już dwie dekady później przewoził turystów między kontynentami. Rakiety Von Brauna, które niszczyły Londyn, wyniosły człowieka na Księżyc.

Bomba atomowa – tu argument jest najbardziej gorzki – być może zapobiegła kolejnej wojnie światowej. Osiemdziesiąt lat pokoju między mocarstwami, to w znacznej mierze zasługa wzajemnego strachu przed bronią, której nikt nie chce użyć. Odstraszanie nuklearne jest moralnym potworem i być może jedyną rzeczą, która jak dotąd działa.

Dron: od zabawki do broni

Przed lutym 2022 roku dron był zabawką bogatszych hobbystów, narzędziem filmowców i coraz powszechniejszym sprzętem w rolnictwie i logistyce. Użytecznym, ale jednak marginalnym. Cztery lata ukraińskiego frontu skompresowały dekady inżynierskiej ewolucji w kilkadziesiąt miesięcy.

Dziś drony potrafią samodzielnie identyfikować cel, latać w rojach koordynowanych przez algorytmy, przenosić ładunki i wracać do bazy. Kosztują tyle, co rower, a neutralizują sprzęt warty miliony. Miniaturyzacja, autonomia, odporność na zagłuszanie, precyzja – wszystko to rozwinęło się w warunkach, w których błąd kosztuje życie operatora lub misję wartą tygodni przygotowań. Wojna jest okrutnym, ale skutecznym egzaminatorem technologii.

Postep, ale za jaką cenę !

Już widać, co z tego wynika dla świata cywilnego. Inspekcje linii wysokiego napięcia i rurociągów. Dostawy leków do odciętych górskich wiosek. Precyzyjne opryski w rolnictwie, ograniczające zużycie chemikaliów o kilkadziesiąt procent. Monitoring pożarów lasów i powodzi w czasie rzeczywistym. Ratownicy górscy wysyłający apteczkę do rannego przed dotarciem ekipy. To nie futurologia – to dzieje się teraz.

Historia nie pyta o naszą zgodę na swoje paradoksy. Zbrodnia i wynalazek szły przez nią ramię w ramię od zarania dziejów. Stal, proch, silnik parowy, lotnictwo – każdy z tych przełomów ma w swoim rodowodzie wojnę. To nie jest powód do dumy. To jest powód, by z całą determinacją szukać sposobów, żeby innowacje rodziły się bez tej strasznej ceny.

Wiesław Marciniak

eprasa.pl a93bb99ddb

PRENUMERATA

Czytaj więcej, płać mniej!



Zyskaj 15% rabatu

W prenumeracie tylko
~~238,80 zł~~

203,00 zł
/roczna prenumerata drukowana

Dlaczego warto?

- Dostawa **gratis** prosto do Twojego domu
- Tylko dla prenumeratorów: **niższe ceny** przy zakupie czasopism na UlubionyKiosk.pl
- Pakiet 2w1 (papier + e-wydania): **–80%** na równoległą e-prenumeratę PDF

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/promocje

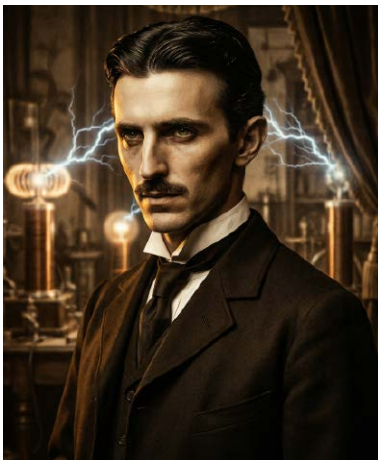
Zamów prenumeratę na **www.UlubionyKiosk.pl**
lub zeskanuj kod QR i zaprenumeruj w 1 minutę

AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03–197 Warszawa
prenumerata@avt.pl | 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
rachunek bankowy: ING Bank Śląski 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

eprasa.pl a93bb99ddb

Spis treści









Temat numeru – Wojna dronów

Laboratorium za wschodnią granicą.
Dlaczego Ukraina zmieniła wszystko, co wiedzieliśmy o dronach 25
Dlaczego Ukraina nie rozgromiła Rosji dronami?
Albo: czego zachodnia technologia nie może kupić 30
Wnętrzności latającej bomby.
Anatomia drona kamikaze – od śruby do procesora 34
FPV: od wyścigów do linii frontu.
Jak quadrocopter za trzysta dolarów stał się najgroźniejszą bronią piechoty..... 41
Oczy i uszy nad polem walki.
Drony zwiadowcze, termowizja i rozpoznawanie celów przez AI..... 46
Rój kontra armia. Algorytmy rojowe.
AI do zarządzania wieloma maszynami i wyścig obliczeniowy 52
Tarcza i miecz. Systemy antydronowe C-UAS:
od siatki na kiju do AI-jammingu i dronów przechwytujących 57
Poza niebem – roboty na ziemi i na wodzie. Lądowe pojazdy
bezzałogowe (UGV) i morskie drony (USV) na współczesnym polu walki 62
Fabryka w garażu. Jak Ukraina produkuje milion dronów
rocznie – manufaktury, druk 3D i open source na froncie..... 69
Quiz: Sprawdź co wiesz o dronach bojowych 74

B&R – badania i rozwój

Info Zoom 8
Dodaj do obserwowanych 12
Horyzonty mgłą spowite: Rewolucja w superpozycji. Obliczenia kwantowe
– czy przepaść między fizyką a inżynierią jest do przejścia?..... 13
Cherchez la femme: Grace Hopper – admirał,
która nauczyła komputery mówić po ludzku 20
Sztuczna inteligencja: Nauka języków z czatbotem (1)..... 76
Koniec i co dalej: Gotówka – ostatnie życie banknotów..... 80
Nasi idole – liderzy innowacji:
Nikola Tesla – człowiek, który zapalił świat i przegrał z własnym geniuszem 84

m.technik

Cyfrowy front: Już nie kupujesz, tylko wynajmujesz 87
Mobilne aplikacje. Test aplikacji..... 90

Fantastyka naukowa w „Młodym Techniku”

Księżyc 92

Szkoła

Na warsztacie: Schmetterling – model halowy z napędem gumowym 95
Jak to odkryli? Nikt nie stał ze stoperem, a jednak wiemy.
Skąd wiadomo, że Wszechświat ma ponad 13 miliardów lat?..... 98
Matematyka z ludzką twarzą: Mój internetowy test z matematyki 102
Fizyka bez granic: Mechanika kwantowa – za trudna w szkole?.....108
Chemia inna niż w szkole: Wielobarwny metal, część 2.....112
MT studiuje: Elektrotechnika.....116
Klub i Szkoła Wynalazców
Szkoła Wynalazców – dozwolone do lat 15 118
Klub Wynalazców – bez ograniczeń wieku 119
Vademecum Młodego Wynalazcy.....120
Pomysły genialne, zwariowane i takie sobie.....123
Odkryj historię wynalazków:
Robotyka.....124
Klasyfikacja robotów 127

Od wydawcy..... 3
Prenumerata..... 4
Poczta..... 6
Sędziwy Technik – 100 lat temu prasa pisała..... 79

Miesięcznik „Młody Technik” (12 numerów w roku) wydawany przez Wydawnictwo AVT

Adres wydawnictwa:
03–197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11,
tel. 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00,
http://www.avt.pl, avt@avt.pl

Redaktor Naczelny:
Wiesław Marciniak
wieslaw.marciniak@avt.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@avt.pl

Kontakt z redakcją:
mt@mt.com.pl
http://www.mlodytechnik.pl
http://facebook.com/magazynMlodyTechnik

Dział Reklamy:
reklama@mt.com.pl

DTP: MAD Sp. z o.o.

Prenumerata:
www.ulubionykiosk.pl
tel. 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treści reklam i ogłoszeń zamieszczonych w numerze.

Copyright © Wydawnictwo AVT-Korporacja sp. z o.o.

eprasa.pl a93bb99ddb

Poczta

Coś Cię poruszyło? Chcesz podzielić się z Redakcją i Czytelnikami MT swoją opinią, wiedzą, komentarzem? Wyślij e-mail na adres: **redakcja@mt.com.pl** lub list na adres: **ul. Leszczynowa 11, 03–197 Warszawa**.

Duże zmiany w MT

Dzień dobry.

Mam w rękach nowy numer Młodego Technika. Dużo zmian i pytanie: pod niektórymi artykułami nie podpisały się osoby, tylko „red.". A pod innymi „De Coder" czy „Redaktor X". Czy mam rozumieć, że to artykuły wygenerowane przez AI? Obrazki generowane przez AI jestem w stanie zrozumieć, ale chciałbym mieć pewność, że za tekstami stoją ludzie z imienia i nazwiska, którzy biorą odpowiedzialność za to, co napisali....

Na plus podoba mi się większa czcionka, więcej grafik i świeże podejście do tematów. Podsumowując – wyczuwa się w nowym numerze większe zaangażowanie.

Pozdrawiam i życzę sukcesów.

Dominik Rybka

Red. Jest oczywiste, że każdy artykuł jest dziełem człowieka, co nie oznacza, że musi być podpisany imieniem i nazwiskiem. W przypadku kontrowersyjnych felietonów lub form metaforycznych autor często posługuje się pseudonimem lub nickiem. Co do generowania artykułów przez AI – istnieje sporo nieporozumień. Autorzy i redaktorzy korzystają z AI jak z doskonałego narzędzia wsparcia. AI nie zastępuje autora – podnosi jedynie poziom wymagań wobec jego pracy twórczej i odpowiedzialności za architekturę, styl i ton artykułu, a także za wiarygodność faktów, które koniecznie trzeba dokładnie sprawdzać.

Hedy Lamarr – dlaczego tak późno?

Artykuł o Hedy Lamarr z numeru kwietniowego to był dla mnie prawdziwy wstrząs. Studiowałam elektronikę i nikt ani razu nie wymienił jej nazwiska. Mówiono nam o Marconim, Tesli, Shannonie – oczywiście wyłącznie mężczyzni. Tymczasem kobieta, która wpadła na pomysł leżący u podstaw Wi-Fi i Bluetooth, była przez dekady traktowana wyłącznie jako aktorka – i to jeszcze nierzadko z nutką politowania.

To, co mnie uderza najbardziej, to fakt, że Lamarr opatentowała swój wynalazek w 1942 roku – podczas drugiej wojny światowej, jako odpowiedź na problem zagłuszania torpedowych sygnałów radiowych. Marynarka wojenna USA przez lata ignorowała patent, który wygasł zanim technologię zaczęto stosować komercyjnie. Nie zobaczyła z niego ani centa.

Mam prośbę: zróbcie cykl o kobietach, które zmieniły technikę, a historia o nich zapomniała. Henrietta Leavitt, Grace Hopper, Rosalind Franklin, Katherine Johnson. Materiału nie zabraknie – wystarcza na lata.

inż. Katarzyna Mroczkowska

Red. Dziękujemy – i przyznajemy rację. Rubryka „Cherchez la femme" powstała właśnie z myślą o takich historiach. Lista zaproponowanych przez Panią postaci trafia prosto do planu redakcyjnego na kolejne numery. Historia Leavitt już czeka w kolejce.

Temat numeru trafił za blisko

Temat numeru o psychologii relacji człowiek–AI przeczytałem z niepokojem, bo pośrednio opisał moją własną sytuację. Mam 19 lat, studiuję informatykę i przez ostatnie pół roku rozmawiałem z chatbotem codziennie przez kilka godzin. Nie z żadnego konkretnego powodu – po prostu było łatwiej niż z ludźmi.

Artykuł o teorii CASA – że mózg traktuje komputer jak człowieka, nawet gdy wie, że to maszyna – opisał dokładnie to, czego doświadczałem. Czytałem o „iluzji kompanii" Sherry Turkle i rozpoznałem to uczucie z własnego życia. To było niekomfortowe. I potrzebne.

Dziękuję za odwagę poruszenia tego tematu w piśmie technicznym. Łatwiej byłoby napisać kolejny tekst o parametrach nowych modeli. Zamiast tego zapytaliście o coś ważniejszego.

[imię i adres znane redakcji]

Gwiezdny piec i moi uczniowie

Uczę fizyki w liceum od dwudziestu trzech lat. Od lat szukam tekstów, które pozwolą mi wytłumaczyć uczniom fuzję jądrową w sposób, który nie ogranicza się do wzoru i suchych liczb. Artykuł „Gwiezdny piec" z numeru kwietniowego to był strzał w dziesiątkę. Przyniosłem go do klasy, przeczytaliśmy razem – i po raz pierwszy w tym roku szkolnym wywiązała się spontaniczna dyskusja trwająca dłużej niż przerwa.

Jeden z uczniów zapytał: skoro Słońce świeci od 4,5 miliarda lat i ma paliwo na kolejne tyle, to dlaczego tak trudno jest nam odtworzyć ten proces na Ziemi? Udało mi się wyjaśnić ciepło

eprasa.pl a93bb99ddb

i ciśnienie w centrum gwiazdy, efekt tunelowy i problem utrzymania plazmy – a wszystko to dlatego, że artykuł zadał dobre pytania, zanim podał odpowiedzi. Tego właśnie brakuje w podręcznikach.

Prośba: czy MT mógłby pomyleść o serii materiałów przeznaczonych wprost do użytku w szkole? Nie uproszczonych – ale napisanych tak, żeby pobudzały ciekawość, a nie ją gasiły. Subskrybuję MT od lat i co roku kupuję kilka egzemplarzy dla szkolnej biblioteki.

Michał Zając

Deepfake dotknął mojej rodziny

Artykuł o deepfake'ach i manipulacji tożsamością powinien być lekturą obowiązkową w każdej szkole. Piszę, bo nie jest to dla mnie temat akademicki. Kilka miesięcy temu mój 15-letni syn stał się ofiarą tzw. deepfake porn – ktoś użył jego zdjęć z mediów społecznościowych do wygenerowania kompromitujących materiałów rozesłanych po klasie. Policja potwierdza, że takich przypadków jest coraz więcej – i że prawo nie nadąża.

Czytałem w artykule o tym, jak technologia deepfake stała się dostępna dla każdego użytkownika smartfona. Jako ojciec mogę to potwierdzić: sprawca miał 14 lat i użył darmowej aplikacji. Żadnych umiejętności technicznych. Pięć minut. Moje pytanie do Redakcji i Czytelników: gdzie leży granica między edukacją technologiczną a uczeniem dzieci narzędzi, które mogą krzywdzić?

Nie chcę zakazywać technologii. Chcę rozmowy o tym, co robimy jako społeczeństwo, zanim to stanie się normą. MT jest pismem czytanym przez młodych ludzi – i myślę, że ma moc inicjowania takich rozmów.

Rafał K.

Red. Niestety, listów na podobny temat dostaliśmy więcej.



Wspomnień czar – ELWAT-1

Szanowny Panie Profesorze,

przepraszam, że ponownie się odzywam, ale zmotywował mnie do tego Pański artykuł o prof. S. Kaliskim, a szczególnie dopisek – od autora. Otóż, jako student miałem na początku lat 70. styczność z opisanym przez Pana komputerem analogowym. Był to komputer ELWAT-1, wyprodukowany oczywiście w Wojskowej Akademii Technicznej. Dzięki tej maszynie mieliśmy możliwość rozwiązywania równań różniczkowych. Na załączonym zdjęciu, ELWAT-1 i ja w rudym golfie. Serdecznie pozdrawiam.

K. Polański

eprasa.pl a93bb99ddb

Kilka stron rubryki Info Zoom to zaledwie czubek góry lodowej. Świat stoi u progu gwałtownego przyspieszenia, a każda godzina przynosi mnóstwo fascynujących doniesień o nowościach. Żaden redaktor nie



ELEKTRONIKA

Pamięć komputera działająca w piekle

Wyobraźmy sobie komputer pracujący na powierzchni Wenus, gdzie panuje miażdżące ciśnienie i... temperatura. Do tej pory było to niemożliwe – standardowa elektronika „poddaje się" już przy 150...200°C.

W zwykłym chipie informacje są zapisywane dzięki precyzyjnemu ułożeniu atomów lub ładunków elektrycznych. Problem polega na tym, że ciepło to w rzeczywistości drgania atomów. Gdy temperatura rośnie, atomy zaczynają „tańczyć" tak gwałtownie, że opuszczają swoje wyznaczone miejsca. Dyfuzja prowadzi do nieodwracalnych uszkodzeń i utraty zapisanych informacji.

Zespół naukowców (m.in. z Uniwersytetu Pensylwanii) wykorzystał nowatorskie podejście do budowy pamięci nieulotnej. Zastosowano w niej bardzo cienkie warstwy ferroelektryka – azotku glinu domieszkowanego skandem (AlScN).

Kluczem do sukcesu jest unikalna struktura krystaliczna tego materiału. Inżynierowie zaprojektowali go na poziomie atomowym tak, aby wiązania między cząsteczkami były na tyle silne, by stawiać opór drganiom cieplnym nawet przy 700°C. Nowy mechanizm zapobiega „rozmywaniu się" stanów logicznych (zer i jedynek), co pozwala na stabilną pracę urządzenia przez tysiące godzin w ekstremalnych warunkach.

To odkrycie otwiera drzwi do technologii, które wcześniej były domeną science-fiction.

To nie tylko rekord temperatury – to dowód na to, że odpowiednie „zaprojektowanie" materii na poziomie pojedynczych atomów pozwala nam pokonać bariery, które natura postawiła przed krzemem. ■



Misja Artemis II przeszła do historii jako przełomowy moment w eksploracji kosmosu. Była to pierwsza od ponad pół wieku załogowa wyprawa, która opuściła niską orbitę okołoziemską i skierowała się w stronę Srebrnego Globu. Po sukcesie bezzałogowego lotu Artemis I, misja z udziałem astronautów ostatecznie potwierdziła, że technologia NASA i jej partnerów jest gotowa na stałą obecność człowieka w głębokim kosmosie.

W skład historycznej czteroosobowej załogi weszli astronauci, którzy stali się symbolem postępu i międzynarodowej współpracy:

- Reid Wiseman (NASA) – Doświadczony dowódca, który wcześniej spędził 165 dni na orbicie, dowodził misją z niezwykłą precyzją.
- Victor Glover (NASA) – Pełniąc funkcję pilota, został pierwszym

eprasa.pl a93b



ZAŁOGOWE MISJIE KOSMICZNE Fot. NASA

Artemis II: Ludzkość powróciła w stronę Księżyca

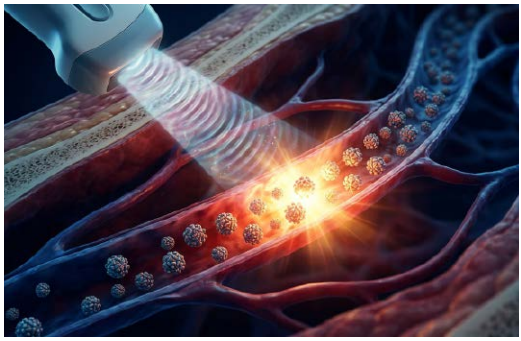
czarnoskórym astronautą, który odbył lot w stronę Księżyca.

- Christina Koch (NASA) – Specjalistka misji i rekordzistka pobytów w kosmosie, została pierwszą kobietą, która dotarła w okolice Księżyca.
- Jeremy Hansen (CSA) – Reprezentant Kanadyjskiej Agencji Kosmicznej, który jako pierwszy Kanadyjczyk wziął udział w tak dalekiej misji załogowej.

Misja trwała dokładnie 10 dni. Rozpoczęła się spektakularnym startem najpotężniejszej rakiety świata – SLS (*Space Launch System*) – z Centrum Kosmicznego im. Kennedy'ego. Po wejściu na orbitę i przeprowadzeniu serii testów, kapsuła Orion wykonała manewr TLI (*Trans-Lunar Injection*), kierując się ku Księżycowi. Załoga wykonała przelot wokół Srebrnego Globu, wykorzystując jego grawitację do powrotu na Ziemię. Misja zakończyła się idealnym wodowaniem na Oceanie Spokojnym.

Głównym celem było sprawdzenie systemów podtrzymywania życia, ochrony przed promieniowaniem oraz nawigacji w warunkach rzeczywistego lotu załogowego – misja Artemis II zakończyła się pełnym sukcesem. Wszystkie parametry lotu mieściły się w normie, a załoga bezpiecznie wróciła na Ziemię, dostarczając bezcennych danych o funkcjonowaniu organizmu ludzkiego w głębokim kosmosie.

Artemis II stanowi fundament dla przyszłych misji na Marsa. Dzięki niej nauczyliśmy się, jak operować daleko od Ziemi, co jest niezbędne, by w przyszłości ludzkość mogła stać się gatunkiem międzyplanetarnym. Sukces ten otwiera drogę do misji Artemis III, która zakłada lądowanie ludzi na powierzchni Księżyca. Dla dzisiejszych uczniów i studentów to sygnał, że nowa era kosmiczna nie jest już tylko teorią, ale faktem, w którym oni sami będą mogli brać udział jako inżynierowie czy odkrywcy. ■

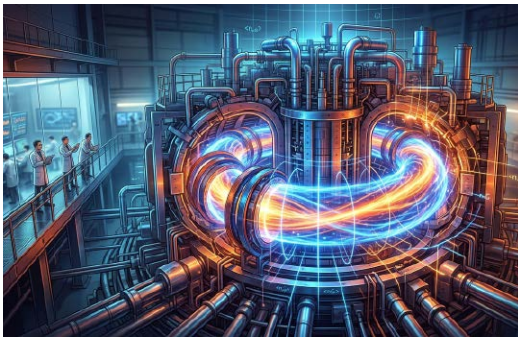


OPTOGENETYKA

Nanocząsteczki zamieniają ultradźwięki w światło wewnątrz ciała

Zespół prof. Guosonga Honga ze Stanford University opracował metodę bezinwazyjnego generowania światła wewnątrz żywego organizmu. Wykorzystano w tym celu ceramiczne nanocząsteczki o właściwościach mechanoluminescencyjnych, które po wstrzyknięciu do układu krwionośnego myszy swobodnie krążyły w jej naczyniach krwionośnych, docierając do mózgu, mięśni i narządów wewnętrznych. W publikacji na łamach „Nature Materials" z 13 kwietnia 2026 roku badacze opisali, jak za pomocą skupionych fal ultradźwiękowych wywołali naprężenia mechaniczne w nanocząsteczkach, zmuszając je do emisji niebieskiego światła o długości fali 490 nm. Precyzję techniki zademonstrowano, stymulując konkretne obszary mózgu zwierzęcia, co wywoływało u niego zaprogramowane reakcje ruchowe bez konieczności wszczepiania światłowodów przez czaszkę.

Ultradźwięki, w przeciwieństwie do fotonów, przenikają przez kości, skórę i tkanki miękkie bez rozpraszania, co pozwala na aktywację nanocząsteczek w niemal dowolnym miejscu – od rdzenia kręgowego po jelita. Nowa metoda otwiera drogę do nieinwazyjnej optogenetyki, fotodynamicznej terapii nowotworów oraz precyzyjnej edycji genów aktywowanej światłem głęboko w ciele. Obecnie naukowcy pracują nad biodegradowalnymi wariantami nanomateriałów oraz cząsteczkami emitującymi inne długości fal, co w przyszłości umożliwi wielopunktowe, zdalne sterowanie procesami biologicznymi bez interwencji chirurgicznej. ■



FIZYKA

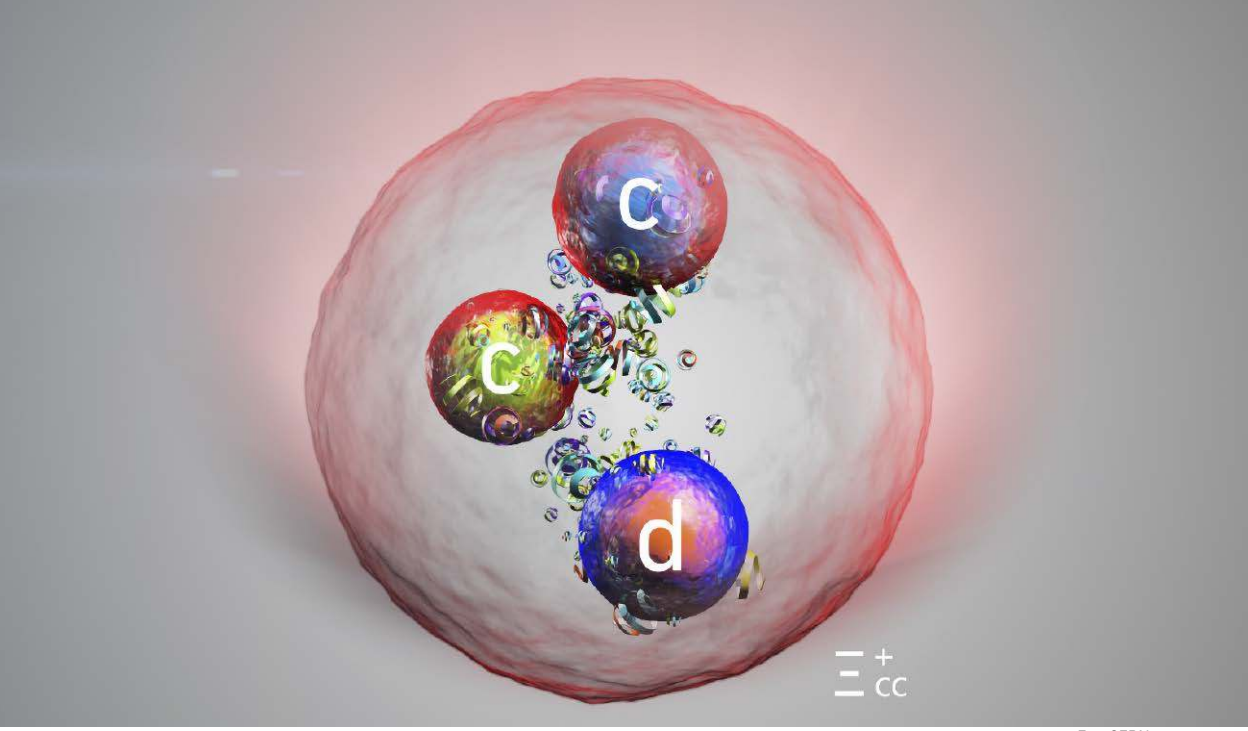
Chiński tokamak EAST przekroczył teoretyczny limit gęstości plazmy

Od 1988 roku fizycy jądrowi uznawali tzw. limit Greenwalda za kluczową barierę operacyjną w projektowaniu tokamaków. Wyznacza on maksymalną gęstość plazmy, powyżej której dochodzi do gwałtownego schłodzenia krawędzi słupa plazmy i utraty stabilności wyładowania (dysrupcji). Z tego powodu współczesne reaktory pracują zazwyczaj w bezpiecznym zakresie 80...100% tej wartości, aby uniknąć uszkodzenia aparatury.

Zespół naukowców pod kierownictwem Jiaxinga Liu z Instytutu Fizyki Plazmy Chińskiej Akademii Nauk (ASIPP) udowodnił jednak, że ograniczenie to nie ma charakteru fundamentalnego. W reaktorze EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) badacze uzyskali stabilną plazmę o gęstości od 1,3 do 1,65 raza większej niż przewiduje limit Greenwalda. Stabilny stan utrzymano przez siedem sekund, co w skali fizyki wysokich energii jest wynikiem znaczącym. Sukces osiągnięto dzięki zastosowaniu podgrzewania elektronowym rezonansem cyklotronowym (ECRH) oraz precyzyjnej kontroli ciśnienia gazu neutralnego. Mechanizm ten wywołał proces samoorganizacji plazma-ściana (PWSO), który obniżył temperaturę w pobliżu diwertora – elementu odbierającego ciepło – co ograniczyło przenikanie zanieczyszczeń do rdzenia plazmy.

Osiągnięcie pokazuje, że reaktory fuzyjne mogą pracować przy znacznie wyższych gęstościach paliwa, niż zakładano. ■

eprasa.pl a93bb99ddb



Fot. CERN

FIZYKA

Ciężki kuzyn protonu Przełomowe odkrycie w CERN

Eksperyment LHCb donosi o sukcesie – oto nowa cząstka Ξcc+, która rzuca nowe światło na tajemnice materii.

W Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) pod Genewą naukowcy właśnie dokonali czegoś niezwykłego. Po raz pierwszy udało się zaobserwować nową formę materii, którą fizycy nazywają barionem podwójnie powabnym (Ξcc+). Dla nas, laików, można ją określić mianem „super-ciężkiego kuzyna" zwykłego protonu.

Z czego składa się nowa cząstka?

Wszyscy uczymy się w szkole, że protony składają się z trzech mniejszych elementów zwanych kwarkami. Nowo odkryta cząstka również ma trzy kwarki, ale są one znacznie cięższe. Podczas gdy zwykły proton posiada dwa kwarki „górne" i jeden „dolny", barion Ξcc+ zawiera dwa kwarki „powabne" (charm) i jeden „dolny". To sprawia, że jest on aż cztery razy masywniejszy od protonu!

Dlaczego to odkrycie jest ważne?

1. Potwierdzenie przewidywań: Fizycy teoretyczni od dawna zakładali, że taka cząstka musi istnieć. Jej znalezienie to kolejny dowód na to, że nasz Model Standardowy fizyki cząstek działa wyśmienicie.
2. Sukces technologii: To pierwsze odkrycie dokonane po wielkiej modernizacji detektora LHCb (Run 3). Nowy sprzęt pozwala nam zaglądać głębiej w mikroświat niż kiedykolwiek wcześniej.
3. Zrozumienie „kleju" wszechświata: Obserwując, jak zachowują się te ciężkie cząstki, dowiadujemy się więcej o oddziaływaniach silnych – sile, która trzyma kwarki razem i sprawia, że świat nie rozpada się na kawałki.

Ciekawostka dla uczniów i studentów

Nowa cząstka jest niezwykle niestabilna. Żyje zaledwie przez ułamek sekundy – około 45 femtosekund. Abyście mogli to sobie wyobrazić: jedna femtosekunda to dla sekundy tyle samo, co jedna sekunda dla... 31 milionów lat! Wyłapanie jej w morzu miliardów zderzeń to triumf współczesnej inżynierii i informatyki. ■

eprasa.pl a93bb99ddb

Dodaj do obserwowanych

FIZYKA i CZĄSTKI ELEMENTARNE

Synteza dolomitu: Badacze z USA i Japonii po 200 latach prób wyhodowali dolomit w laboratorium, odkrywając, że naturalne cykle wodne usuwają błędy w jego strukturze.

Reakcje w supernowych: Zespół z MSU dokonał pierwszego pomiaru rzadkiej reakcji arsenu-73, co o połowę zmniejszyło niepewność modeli powstawania pierwiastków w kosmosie.

„Płynne" elektrony: W grafenie zaobserwowano przepływ elektronów przypominający lepką ciecz, co łamie prawo Wiedemanna-Franza i ułatwia zarządzanie ciepłem w elektronice.

Transport antymaterii: Fizycy z CERN po raz pierwszy przewieźli 92 antyprotony ciężarówką w specjalnej pułapce Penninga.

Nowa cząstka: Eksperyment LHCb odkrył cząstkę Ξcc+, cztery razy cięższą od protonu, zawierającą dwa kwarki powabne.

Anomalie wody: Odkryto punkt krytyczny wody w temperaturze -63°C, co wyjaśnia fluktuacje gęstości tej cieczy.

Precyzja mionu: Nagrodą Breakthrough Prize uhonorowano zespoły za pomiar momentu magnetycznego mionu z rekordową dokładnością 127 części na miliard.

KOMPUTERY KWANTOWE i AI

Diagnostyka qubitów: Opracowano 100-krotnie szybszą metodę pomiaru utraty informacji w procesorach kwantowych (wynik 10 ms), co ułatwi ich stabilizację.

Bateria kwantowa: Skonstruowano prototyp baterii ładującej się tym szybciej, im jest większa, wykorzystujący zjawiska superpozycji i splątania.

Energooszczędna AI: System łączący sieci neuronowe z rozumowaniem symbolicznym zredukował zużycie energii przez robota 100-krotnie.

ASTRONOMIA i KOSMOS

Reliktowa gwiazda: Odkryto gwiazdę z najwcześniejszego wszechświata (SDSS J0715-7334) o rekordowo niskiej zawartości metali.

Ewolucja słońc: Symulacje wykazały, że rotacja czerwonych olbrzymów stukrotnie wzmacnia mieszanie pierwiastków w ich wnętrzu.

Webb o Saturnie: Nowe ujęcia w podczerwieni ujawniły detale atmosfery Saturna oraz interakcje gazowego olbrzyma z księżycami.

Rekordowy błysk gamma: Zarejestrowano wybuch GRB 250702B trwający ponad siedem godzin, prawdopodobnie spowodowany połączeniem czarnej dziury z gwiazdą.

Egzoplanety od AI: Dzięki algorytmom sztucznej inteligencji w danych z teleskopu TESS odnaleziono 100 nowych planet, w tym obiekty wielkości Ziemi.

NOWE MATERIAŁY i TECHNOLOGIE

Efektywna fotowoltaika: Opracowano ogniwa słoneczne o efektywności 130% dzięki mechanizmowi mnożenia nośników energii z jednego fotonu.

Lit z odpadów: Zlokalizowano złoża litu w pirycie z łupków Appalachów, co pozwala odzyskiwać pierwiastek bez budowy nowych kopalń.

Przełomowe MXene: Nowa metoda syntezy pozwoliła uzyskać materiały o przewodności 160 razy wyższej niż dotychczasowe próbki.

Nadprzewodnictwo: Poprzez usunięcie nadmiaru żelaza z tellurku żelaza uzyskano czysty materiał przewodzący prąd bez oporu.

Magnonika: Wzbudzenie stanów Floqueta w wirach magnetycznych otwiera drogę do procesorów operujących na falach magnetycznych zamiast prądu.

ELEKTRONIKA i BIOTECHNOLOGIA

Ekstremalna pamięć: Zbudowano chip pamięci typu memrystor działający w temperaturze 700°C, odporny na warunki panujące na Wenus.

Mikroskopijny kod QR: Za pomocą wiązki jonów wygrawerowano w ceramice najmniejszy kod QR świata (1,98 μm²), umożliwiający wieczyste archiwizowanie danych.

Terapia na ślepotę: Nagrodą Breakthrough Prize wyróżniono twórców pierwszej terapii genowej wykorzystującej wirusy do naprawy genu RPE65 w siatkówce. ■

eprasa.pl a93bb99ddb



Rewolucja w superpozycji

Obliczenia kwantowe – czy przepaść między fizyką a inżynierią jest do przejścia?

Komputer kwantowy miał złamać każde szyfrowanie, odkryć nowe leki w dni, a nie dekady, i rozwiązać problemy, z którymi klasyczne maszyny nie dałyby rady przez milion lat. Google, IBM, Microsoft, Intel i dziesiątki startupów wydały łącznie dziesiątki miliardów dolarów. Naukowcy zbierali Nagrody Nobla za teorię. Rządy ogłaszały programy narodowe. Mamy rok 2026. Komputer kwantowy, który robiłby coś sensownie użytecznego lepiej niż klasyczna maszyna, wciąż nie istnieje. Ale czy wkrótce powstanie?

Fizyka kwantowa jest jedną z najbardziej sprawdzonych teorii naukowych w historii. Przewiduje zachowanie materii na poziomie atomów i cząstek elementarnych z dokładnością, której nie dorasta żadna inna teoria fizyczna. Tranzystory, lasery, rezonans magnetyczny – to wszystko technologie zbudowane na fundamencie mechaniki kwantowej. Komputer kwantowy nie jest więc ideą opartą na spekulatywnej nauce. Jest przeświadczeniem, że właściwości kwantowe można zaprząc do obliczeń w sposób, który klasyczna fizyka wyklucza.

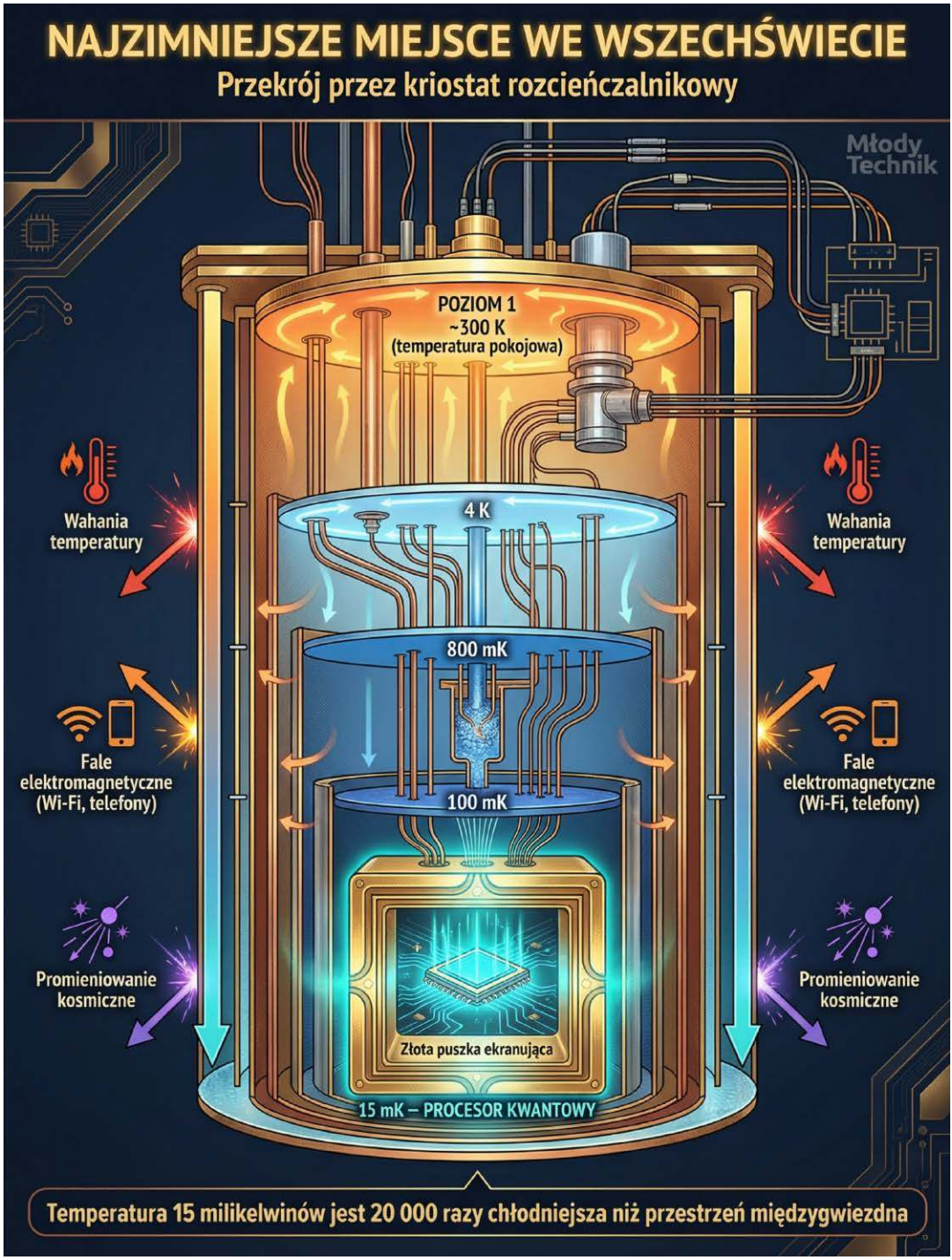
Problem polega na tym, że przepaść między „poprawnością fizyczną" a „użytecznością inżynierską" okazała się gigantyczna. I mimo imponujących tytułów prasowych, co roku główna linia frontu przesuwa się – ale horyzont

eprasa.pl a93bb99ddb

wciąż jest równie odległy. Historia obliczeń kwantowych to fascynująca opowieść o triumfach nauki, które jeden po drugim rozbijają się o rzeczywistość inżynierii.

Kubit: piękna idea, koszmarna praktyka

W klasycznym komputerze podstawową jednostką informacji jest bit: zero



eprasa.pl a93bb99ddb

albo jeden. W komputerze kwantowym jest nim kubit (qubit, od quantum bit). Kubit może być zerem, jedynką – ale także, dzięki zjawisku superpozycji, jednocześnie zerem i jedynką w pewnym stosunku prawdopodobieństwa. Dwa kubity są czterema jednoczesnymi możliwościami. Trzydzieści kubitów – ponad miliard. Pięćdziesiąt kubitów – liczba przekraczająca liczbę atomów w ludzkim ciele. Przetwarzanie wszystkich tych stanów jednocześnie daje komputerowi kwantowemu teoretyczną moc obliczeniową, która rośnie wykładniczo z liczbą kubitów.

Do złamania szyfrowania RSA-2048 potrzeba ok. 4 milionów kubitów logicznych. Dzisiejsze najlepsze maszyny mają kilkanaście

Ale jest pewien haczyk. Ogromny haczyk. Superpozycja kwantowa jest wrażliwa na jakiekolwiek zakłócenie ze strony środowiska zewnętrznego – drgań termicznych, pól elektromagnetycznych, a nawet promieniowania kosmicznego. Każde zaburzenie prowadzi do zjawiska zwanego dekoherencją: kubit traci swoją kwantową naturę i staje się zwykłym bitem. Czas koherencji aktualnych kubitów superprzewodzących – tej technologii, którą używają Google i IBM – wynosi zaledwie kilkadziesiąt do kilkuset mikrosekund. To ledwo wystarcza na wykonanie kilku tysięcy operacji, zanim kubit „zapomni", co miał robić.

I tu zaczyna się klincz: kubity są tak błędodajne, że do każdej użytecznej obliczeniowo operacji potrzeba tysięcy dodatkowych kubitów „fizycznych" do korekcji błędów. Jeden „logiczny kubit" – ten, który rzeczywiście coś liczy – wymaga od tysiąca do kilku tysięcy kubitów fizycznych, które się nim opiekują i poprawiają jego błędy. Dzisiejsze najlepsze procesory kwantowe mają od stu do ponad tysiąca kubitów fizycznych. Użytecznych kubitów logicznych: kilka lub kilkanaście. Do złamania współczesnego szyfrowania RSA-2048 potrzeba około czterech milionów kubitów logicznych. Rachunek jest bezlitosny.

Dlaczego szyfrowanie drży ze strachu?

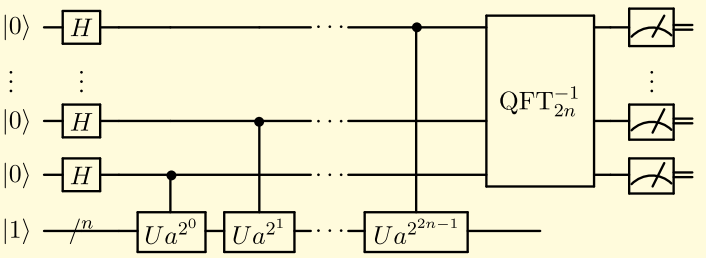
Algorytm Shora i zagrożenie dla kryptografii RSA

W 1994 roku matematyk Peter Shor z Bell Labs opublikował algorytm, który – uruchomiony na wystarczająco dużym komputerze kwantowym – potrafiłby rozkładać duże liczby na czynniki pierwsze w czasie wielomianowym. To bezpośrednio zagraża szyfrowaniu RSA, na którym opiera się większość bezpiecznej komunikacji w internecie – HTTPS, podpisy cyfrowe, bankowe systemy transakcyjne.

Klasyczny komputer potrzebowałby milionów lat, by złamać klucz RSA-2048. Komputer kwantowy z czterema milionami kubitów logicznych mógłby to zrobić w godziny. Brzmi przerażająco – i dlatego rządy i firmy wydają miliardy na kryptografię postkwantową.

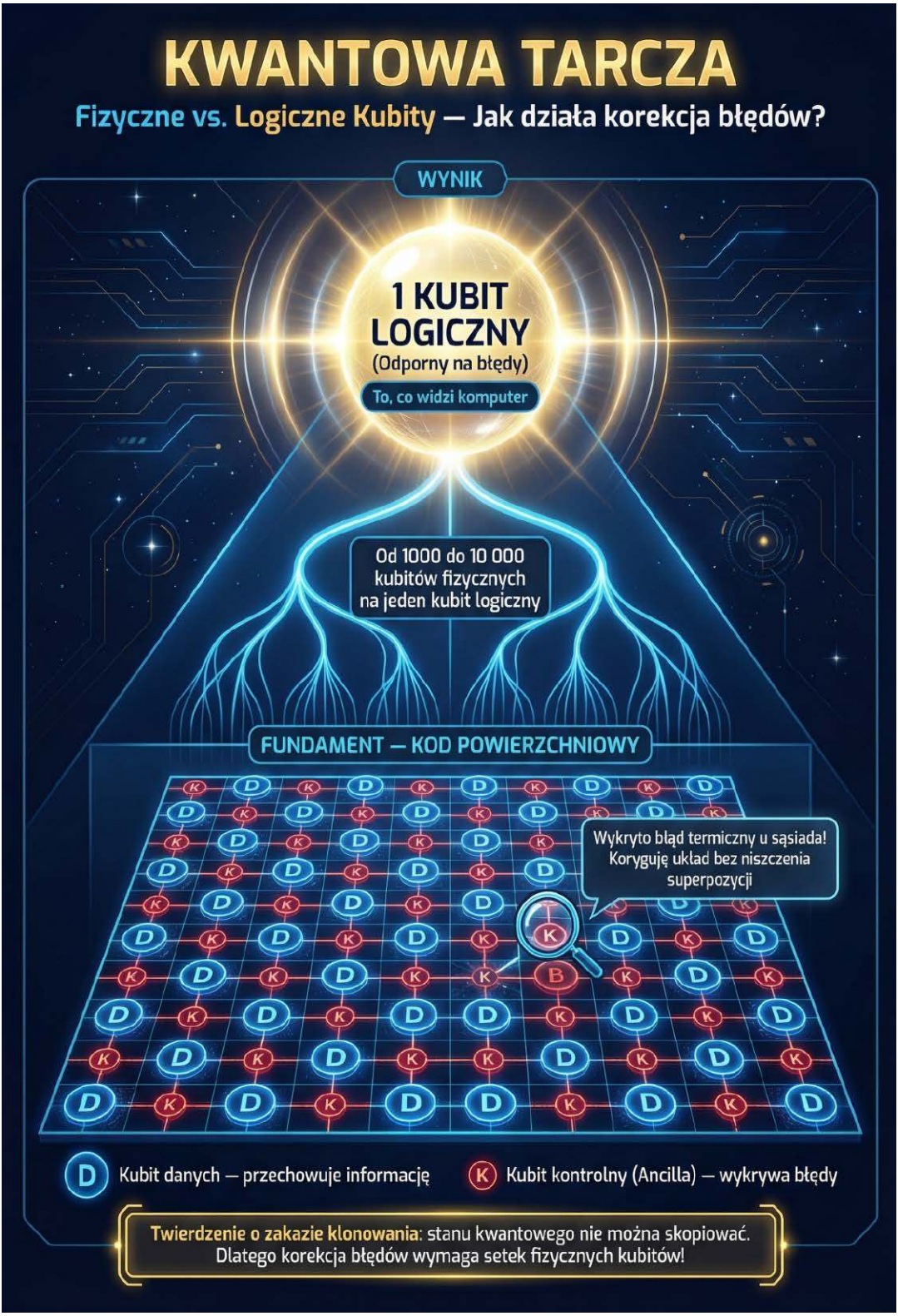
W sierpniu 2024 roku amerykański NIST opublikował pierwsze standardy algorytmów kryptograficznych odpornych na ataki kwantowe: ML-KEM, ML-DSA i SLH-DSA, oparte głównie na kryptografii sieciowej (lattice cryptography). Migracja całej infrastruktury internetowej do nowych standardów zajmie wedle szacunków dekadę lub więcej. Warto wiedzieć, że „zbierz i odszyfruj później" (harvest now, decrypt later) jest realnym zagrożeniem: nieprzyjazne państwa zbierają dziś zaszyfrowane dane, licząc na odszyfrowanie ich, gdy kwantowy komputer w końcu powstanie.

Ale tu pojawia się paradoks: powszechny lęk przed „apokalipsą kwantową" wyprzedza rzeczywistość techniczną o może dwadzieścia lat. To jedna z nielicznych sytuacji, gdy hype jest jednocześnie przesadzony w krótkim terminie i uzasadniony w długim.



Źródło: Bender2k14 – praca własna, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34319883

eprasa.pl a93bb99ddb



eprasa.pl a93bb99ddb

Supremacja, którą szybko obalono

Wrzesień 2019. W sieci na krótko pojawia się artykuł naukowców z Google, wyraźnie wgrany przez pomyłkę. Tytuł: „Quantum supremacy using a programmable superconducting processor". Treść: procesor Sycamore, złożony z 53 kubitów, wykonał w 200 sekund obliczenie, dla którego superkomputer Summit – wtedy najszybsza maszyna klasyczna na świecie – potrzebowałby 10 000 lat. Kiedy artykuł został oficjalnie opublikowany w Nature w październiku, świat ogłosił historię: kwantowa supremacja osiągnięta.

IBM zareagował bezzwłocznie. Własny zespół badawczy opublikował symulację, która wykonała ten sam test na klasycznym superkomputerze w 2,5 doby – nie 10 000 lat. Sztuczka: Google nie uwzględniło możliwości użycia dysków twardych jako pamięci pomocniczej. Po tym odkryciu szacunki systematycznie rosły na korzyść klasyki. W 2022 roku chiński zespół pod kierunkiem Pan Jianwei powtórzył obliczenie Sycamore'a na klasycznym klastrze – w 15 godzin. W 2024 roku sam Google przyznał, że osiągnięcie z 2019 roku dałoby się powtórzyć klasycznie w 6 sekund na superkomputerze Frontier.

Historia Sycamore'a jest symptomatyczna. Zadanie, które maszyna wykonała szybciej niż klasyczny komputer, było specjalnie skrojone pod mocne strony kwantowe i słabe strony klasyczne – losowe próbkowanie obwodów kwantowych nie ma żadnych praktycznych zastosowań poza samym benchmarkiem. Mielibyśmy do czynienia z rekordem w skoku wzwyż osiągniętym przy użyciu drabinki, z której potem ktoś usunął dwa stopnie.

Oczywiście nie oznacza to, że osiągnięcie Google było nieistotne. Sycamore był naprawdę wyjątkową maszyną na swoje czasy. Eksperyment pokazał poziom kontroli nad kubitami, który jeszcze kilka lat wcześniej wydawał się nieosiągalny. Ale droga od „zrobimy sprytny benchmark" do „mamy użyteczny komputer kwantowy" jest długa. I ten dystans w komunikacji publicznej zatracił się zupełnie.

Drogi do kubita: każda ma swój problem

Jedną z cech wyjątkowych dziedziny jest to, że nie ma zgody co do tego, jak w ogóle zbudować komputer kwantowy. Google i IBM stawiają na kubity nadprzewodzące – mikroskopijne obwody chłodzone do temperatury bliskiej zeru absolutnemu (około –273°C, blisko temperatury próżni kosmicznej). Wymagają ogromnych i kosztownych kriostatów. IonQ i Quantinuum używają pułapkowanych jonów, tj. jonów zawieszonych w próżni za pomocą pól elektromagnetycznych. Są wolniejsze, ale dokładniejsze. PsiQuantum stawia na fotony – kwanty światła, które mogą działać w temperaturze pokojowej, ale trudno je ze sobą skorelować. Microsoft dąży do kubitów topologicznych, opartych na tzw. kwaziczątkach Majorany, które miałyby być z natury bardziej odporne na błędy.

W lutym 2025 roku Microsoft opublikował w Nature pracę opisującą procesor Majorana 1 – pierwszą demonstrację pracy kubitów topologicznych. To potencjalnie przełomowa architektura: gdyby się udała, korekcja błędów stałaby się znacznie tańsza, bo sam kubit byłby bardziej stabilny. Microsoft twierdzi, że ta droga prowadzi do miliona kubitów na jednym chipie. Sceptycy zwracają uwagę, że Microsoft od ponad dziesięciu lat zapowiada przełom w kubitach topologicznych, a działający procesor z Majorana 1 ma na razie osiem kubitów. Czy tym razem naprawdę przełom? Nie wiadomo.

Ten pluralizm architektoniczny jest jednocześnie sygnałem siły i słabości dziedziny. Siły – bo różne podejścia eksplorowane równolegle zwiększają szanse, że któreś zatriumfuje. Słabości – bo po trzydziestu latach intensywnych badań nadal nie wiadomo, która technologia wygra. W świecie klasycznych komputerów tranzystor krzemowy był znany od lat 50. Tutaj cały czas dyskutujemy, z czego w ogóle budować fundamenty.

IBM, Google i wyścig na nagłówki

IBM opublikował w 2020 roku „roadmap" – szczegółowy harmonogram rozwoju: 127 kubitów w 2021, 433 w 2022, 1000 w 2023, 100 000 w 2033. Cyferki rosną imponująco. Ale – uwaga – liczy się tu kubity fizyczne, nie logiczne. Kondor, 1121-kubitowy procesor IBM z 2023 roku, jest przez samą firmę opisywany jako „zbyt duży i zbyt zawodny (popełniający błędy) do użytecznych obliczeń". Lepiej działa (ma niższe błędy) mniejszy procesor Heron. Mapa drogowa korporacji skupia się dziś na systemach odpornych na błędy: IBM Quantum Starling, zapowiadany na 2029 rok, ma oferować 200 kubitów logicznych

eprasa.pl a93bb99ddb

i wykonywać 100 milionów operacji. Warto to skonfrontować z wymogami algorytmu Shora dla RSA-2048: potrzeba 4 milionów kubitów logicznych.

Grudzień 2024: Google ogłasza procesor Willow, 105 kubitów, z – naprawdę historycznym – osiągnięciem technicznym: po raz pierwszy wykazano, że dodawanie kolejnych kubitów fizycznych zmniejsza współczynnik błędu zamiast go zwiększać. To tzw. przejście przez próg („below threshold"), fundamentalny warunek dla skalowalnej korekcji błędów. Benchmark: Willow wykonał obliczenie testowe w 5 minut, dla którego klasyczny superkomputer potrzebowałby 10^{25} lat. Znowu wielkie nagłówki. I znowu: obliczenie to losowe próbkowanie obwodów kwantowych, bez żadnego zastosowania praktycznego.

Uczciwość wymaga przyznania: „przejście przez próg" Willow jest autentycznym i dużym osiągnięciem technicznym. Wcześniej przez lata, gdy skalowanie kubitów zwiększało błędy, a nie je zmniejszało, wydawało się, że pełna korekcja błędów może być fizycznie nieosiągalna. Google pokazał, że tak nie jest. To ważny rezultat. Ale droga od „poniżej progu przy 105 kubitach" do „miliony kubitów logicznych" wciąż jest długa.

Google Willow: przejście przez próg korekcji błędów – autentyczny przełom. Benchmark: obliczenie bezwartościowe praktycznie. Dystans do użytecznego komputera: niezmieniony

Słowniczek terminów

Kubit (qubit): Kwantowy odpowiednik bitu. Może być zerem, jedynką lub obu jednocześnie dzięki superpozycji.

Superpozycja: Właściwość kwantowa pozwalająca kubitowi istnieć w wielu stanach jednocześnie przed pomiarem.

Dekoherencja: Zjawisko utraty kwantowej natury kubitu wskutek kontaktu ze środowiskiem. Główna bariera inżynierska.

Splątanie: Kwantowe skojarzenie dwóch kubitów: stan jednego natychmiast określa stan drugiego, niezależnie od odległości.

Korekcja błędów kwantowych: Techniki wykrywania i poprawiania błędów kubitów przez rozkładanie jednego kubitu logicznego na tysiące fizycznych.

Quantum advantage (Supremacja kwantowa): Sytuacja, w której komputer kwantowy przewyższa każdą klasyczną metodę w konkretnym, praktycznie ważnym zadaniu.

Algorytm Shora: Kwantowy algorytm z 1994 roku rozkładający liczby na czynniki pierwsze w czasie wielomianowym – co złamałoby szyfrowanie RSA.

NISQ: Noisy Intermediate-Scale Quantum – obecna era: setki błędnych kubitów, zbyt wysoki poziom szumu, by dało się osiągnąć pełną korekcję błędów.

Kubity topologiczne: Architektura kwantowa Microsoftu oparta na kwaziczątkach Majorany; miałaby być odporniejsza na błędy z natury.

NISQ: ziemia niczyja obliczeń

W 2018 roku fizyk John Preskill z Caltech, ten sam, który ukuł termin „kwantowa supremacja", zaproponował akronim NISQ: Noisy Intermediate-Scale Quantum. Miał opisywać epokę, w której jesteśmy: mamy procesory ze stu do tysiąca kubitów, ale generujące zbyt dużo błędów, by ich korekcja mogła być skuteczna, i zbyt małe do prawdziwych zastosowań. Czy w erze NISQ można zrobić coś użytecznego? To jedno z centralnych pytań dziedziny.

Entuzjaści wskazują na chemię kwantową – symulację cząsteczek na poziomie elektronowym. Klasyczne komputery są tutaj ograniczone: wielkość symulacji rośnie wykładniczo z liczbą elektronów, co oznacza, że od pewnego momentu problem staje się nie do obliczenia klasycznie. Komputer kwantowy mógłby symulować reakcje chemiczne dokładnie – co mogłoby przyspieszyć projektowanie leków, nawozów (synteza amoniaku zużywa 1–2% energii światowej!) czy ogniw słonecznych. W 2023 roku IBM opublikował pracę twierdzącą, że udało się przewyższyć klasyczne symulacje pewnego układu magnetycznego. Wynik został szybko zakwestionowany przez kilka grup badawczych, które powtórzyły obliczenie klasycznie.

To wzorzec, który nieustannie się powtarza w dziedzinie kwantowej: pojawia się twierdzenie o quantum advantage, po czym ktoś ze społeczności komputerów klasycznych spędza tydzień na optymalizowaniu kodu i powtarza to samo klasycznie. Jak mawia Scott Aaronson, jeden z czołowych teoretyków dziedziny: „przesuwanie granicy kwantowej jest jak

eprasa.pl a93bb99ddb

walka z hydrą. Jedna głowa spada, dwie wyrastają, bo klasyczni programiści są motywowani do szukania lepszych metod."

Najbardziej uczciwą ocenę stanu wykonał w 2025 roku laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek, sam fizyk kwantowy, mówiąc wprost: klasyczne komputery będą dominować przez przewidywalne lata. Nie dlatego, że komputer kwantowy jest zasadniczo błędną ideą – ale dlatego, że inżynierska przepaść jest realną przepaścią.

Kiedy i po co?

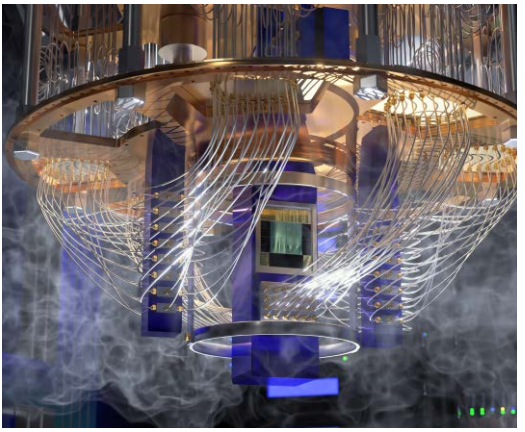
Spróbujmy podsumować obiektywnie. IBM mówi: „quantum advantage dla konkretnych problemów do końca 2026". Ich Nighthawk ma mieć 120 kubitów fizycznych i 5000 bram kwantowych. To byłoby pierwsze zademonstrowanie przewagi kwantowej na problemie, który ktoś naprawdę chciałby rozwiązać. Ich Starling (2029) ma oferować 200 kubitów logicznych i 100 milionów operacji. Czy termin zostanie dotrzymany? Łatwe zapowiedzi i pytania – trudne odpowiedzi.

Realistyczne prognozy: pożyteczne zastosowania kwantowe – konkretna chemia, konkretna optymalizacja – mogą pojawić się w wąskich niszach około 2028–2032. Komputer kwantowy działający na tysiącach kubitów logicznych, zdolny do symulacji istotnych cząsteczek biologicznych: lata 2035–2040. Złamanie RSA-2048 – ten cel, którym straszyło się od początku – prawdopodobnie po 2040 roku, jeśli w ogóle. Rządy i firmy słusznie migrują do kryptografii postkwantowej już dziś – ale nie dlatego, że apokalipsa jest tuż za rogiem.

Warto dodać, że kwantowy komputer nie zastąpi klasycznego. Tak jak laptop nie zastąpi mikroskopu, a GPS nie zastąpi kompasu. Obliczenia kwantowe będą pomocne w konkretnych klasach problemów: symulacji kwantowych, pewnych zadań kryptograficznych, optymalizacji kombinatorycznej. Cała reszta – będzie domeną klasyki.

Epilog: hype jako narzędzie finansowania

Dziedzina obliczeń kwantowych zmaga się z tym samym problemem strukturalnym, co fuzja termojądrowa: finansowanie płynie do głośno ogłaszanych przełomów, nie do żmudnych, stopniowych postępów. Ogłaszanie „kwantowej supremacji" w 2019 roku



było komunikacyjnym wyborem, który przyniósł Google rezonans medialny i polityczne zainteresowanie. Fakt, że termin był dyskusyjny, że zadanie było bezużyteczne praktycznie – to informacja dla specjalistów, nie dla nagłówków medialnych.

Paradoks polega na tym, że hype nie jest wyłącznie szkodliwy. Ogromne napływy kapitału i uwagi sprawiły, że jako dziedzina faktycznie poczyniła w ostatnich latach duże postępy. Korekcja błędów w Google Willow jest autentycznym sukcesem, który bez tych miliardów dolarów długo by nie nastąpił. Przełom w kubitach topologicznych Microsoftu – jeśli nastąpi – nie byłby możliwy bez długoletniego, finansowanego przez wielki budżet korporacji, podstawowego badania naukowego.

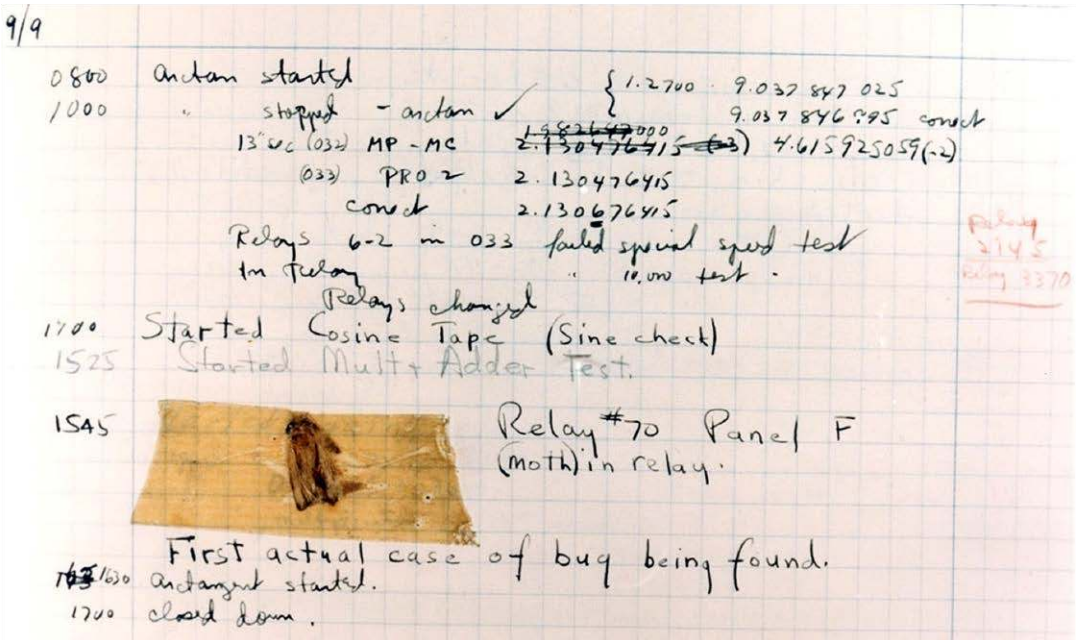
Obiektywna ocena roku 2026: obliczenia kwantowe są dziedziną szybciej dojrzewającą niż fuzja, ale wolniej niż AI. Mamy realne postępy w fizyce i inżynierii. Mamy kilka bardzo obiecujących kierunków. Nie mamy wciąż żadnego komputera, który zrobiłby coś sensownie pożytecznego lepiej niż maszyna klasyczna. I możemy to powiedzieć z dużą pewnością – bo każde twierdzenie odwrotne zostało do tej pory podważone przez lepszy algorytm klasyczny.

Ale może wystarczy chwila cierpliwości. I realistyczne oczekiwania. ■

Paweł Biernacki

Komputer kwantowy nie zastąpi klasycznego. Będzie specjalizowanym narzędziem dla wąskich klas problemów

eprasa.pl a93bb99ddb



1. Strona dziennika technicznego Marka II z przyklejoną ćmą i adnotacją Grace Hopper, 9 września 1947 r. – National Museum of American History (domena publiczna)

Grace Hopper

Admirał, która nauczyła komputery mówić po ludzku

Był wrzesień 1947 roku. Komputer Mark II Uniwersytetu Harvarda przestał działać. Technicy godzinami szukali źródła problemu, aż jeden z nich znalazł w przekaźniku nr 70 martwą ćmę, która zwierała styki. Wyjął ją pincetą, wkleił do dziennika technicznego i zapisał: „First actual case of bug being found" – pierwszy udokumentowany przypadek znalezienia robaka (**1**). Ten drobny incydent dał informatyce jedno z jej najważniejszych słów: bug, błąd w programie. Techników było kilkoro. Ale dziennik prowadziła Grace Hopper – matematyczka, porucznik marynarki wojennej i jeden z najważniejszych programistów w historii informatyki. Przy jej nazwisku historia przez dekady wpisywała głównie anegdotę o ćmie. Pomijała resztę.

Matematyczka, która poszła na wojnę

Grace Brewster Murray urodziła się 9 grudnia 1906 roku w Nowym Jorku, w rodzinie o silnych tradycjach wojskowych i intelektualnych. Jej prapradziadek był kontradmirałem, a ojciec – brokerem ubezpieczeniowym z przekonaniem, że córki mają prawo do takiego samego wykształcenia jak

eprasa.pl a93bb99ddb

synowie. W czasach, gdy młode kobiety rzadko kończyły szkoły średnie, Grace uczęszczała na prestiżową Vassar College, a następnie uzyskała doktorat z matematyki na Uniwersytecie Yale w 1934 roku – jako jedna z niewielu kobiet w historii tej uczelni, która tego dokonała (2). Została wykładowcą matematyki w Vassar.

Wszystko zmieniła Pearl Harbor. Po japońskim ataku z 7 grudnia 1941 roku Stany Zjednoczone przystąpiły do wojny, a Grace Hopper – która właśnie ukończyła trzydzieści pięć lat i była zamężną profesor matematyki – postanowiła zaciągnąć się do Kobiecego Ochotniczego Korpusu Marynarki Wojennej (WAVES). Armia odmówiła. Była za stara, za chuda i jej praca akademicka uznana została za zbyt cenną dla państwa, by ryzykować ją na polu walki. Hopper odwołała się i ostatecznie w 1943 roku uzyskała zwolnienie z obowiązków na uczelni. Ukończyła szkołę oficerską na pierwszym miejscu w swoim roczniku.

Przydzielono ją do Biura Obliczeń Ordynansowych w Harvardzie, gdzie pracował elektromagnetyczny komputer Mark I – olbrzym o długości piętnastu metrów, ważący około pięciu ton, zdolny wykonywać trzy dodawania na sekundę. Hopper stała się trzecim programistą tego urządzenia. Szybko okazało się, że ma wyjątkowy dar do znajdowania błędów i optymalizowania kodu.

Maszyna, która nie rozumiała słów

Po wojnie Hopper została w marynarce i przeniosła się do pracy w firmie Remington Rand, gdzie pracowała przy komputerze UNIVAC I – pierwszym amerykańskim komercyjnym komputerze. Tu napotkała problem, który ją pochłonął całkowicie.

Komputery lat 40. i 50. „mówiły" wyłącznie językiem binarnym – ciągami zer i jedynek, które bezpośrednio odpowiadały rozkazom procesora. Programowanie oznaczało ręczne wpisywanie długich sekwencji liczb szesnastkowych. Było to żmudne, podatne na błędy i dostępne tylko dla wąskiego grona matematycznych specjalistów. Hopper była przekonana, że musi istnieć lepszy sposób – że można napisać program, który sam tłumaczyłby ludzki język na kod maszynowy.

Jej przełożeni uznali ten pomysł za absurdalny. „Komputery nie rozumieją angielskiego" – mówiono jej. „Nie można uczyć maszyny myśleć słowami." Hopper zignorowała te opinie i w 1952 roku napisała pierwszy działający kompilator – program o nazwie A-0, który



2. Grace Hopper przy komputerze UNIVAC, lata 50. – zdjęcie archiwalne z Remington Rand

```
PROGRAM LISTING  -  PAGE 001  -  DATE 1955-09-14

FLOW-MATIC COMPILER  -  REMINGTON RAND  -  1955

(0) READ-ITEM INVENTORY-PRICE-LIST PRICE-RATIO ;
(1) COMPARE PRODUCT-PRICE TO PRICE-RATIO ;
(2) IF GREATER GO TO OPERATION 6 ;
(3) TRANSFER PRODUCT-PRICE TO HOLD-AREA ;
(4) WRITE-ITEM NEW-PRICE-LIST ;
(5) JUMP TO OPERATION 0 ;
(6) STOP ;

* * * COBOL IDENTIFICATION DIVISION  (1959) * * *

IDENTIFICATION DIVISION.
PROGRAM-ID. PAYROLL-CALC.
ENVIRONMENT DIVISION.
DATA DIVISION.
WORKING-STORAGE SECTION.
01 EMPLOYEE-RECORD.
    05 EMP-NAME    PIC A(30).
```

3. Fragment wydruku kodu FLOW-MATIC lub COBOL z epoki – materiał ilustracyjny

Jak to działa: kompilator



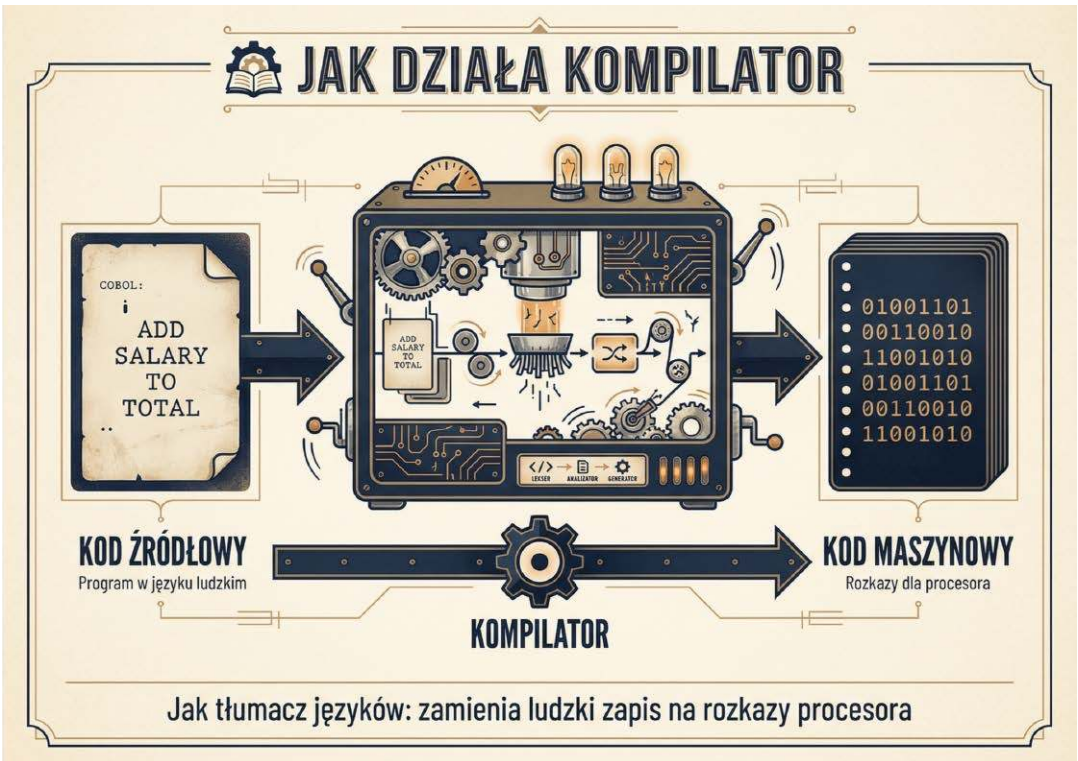
Wyobraź sobie, że chcesz powiedzieć kucharzowi, żeby ugotował zupę – ale kucharz rozumie tylko sygnały świetlne: błysk długi, krótki, krótki. Ktoś musiałby tłumaczyć twoje słowa na błyski. Tym kimś jest kompilator.

Kompilator to program, który czyta kod napisany przez programistę w języku wyższego poziomu (np. C, Java, Python) i tłumaczy go na język maszynowy – ciągi zer i jedynek, które rozumie procesor. Bez kompilatora każdy programista musiałby pisać bezpośrednio w kodzie binarnym lub asemblerze.

Dziś kompilatory są dostępne dla setek języków programowania. Każda aplikacja na Twoim telefonie, każda strona internetowa, każdy system operacyjny powstały dzięki temu, że ktoś – Grace Hopper – jako pierwsza udowodniła, że można nauczyć maszynę rozumieć ludzki zapis.

przyjmował polecenia zapisane w symbolicznym kodzie i tłumaczył je na ciągi binarne (3). Uruchomiła go, pokazała przełożonym i usłyszała, że „to niemożliwe, więc pewnie nie działa prawidłowo".

Działało. Hopper kontynuowała pracę. W ciągu następnych lat rozwinęła koncepcję kompilatora do pełnego języka programowania FLOW-MATIC, który po raz pierwszy w historii pozwalał zapisywać instrukcje dla komputera w sposób zbliżony



eprasa.pl a93bb99ddb

do naturalnego języka angielskiego. FLOW-MATIC stał się bezpośrednią inspiracją i podstawą dla języka COBOL – opracowanego w 1959 roku i używanego do dziś w systemach bankowych, ubezpieczeniowych i rządowych na całym świecie (**4**).

Amazin' Grace

W 1966 roku marynarka wojenna wysłała Hopper na przymusową emeryturę w związku z osiągnięciem wieku 60 lat. Siedem miesięcy później wezwano ją z powrotem – na rok, żeby pomogła zunifikować standardy programowania w siłach zbrojnych USA. Wróciła. I pozostała przez następne dwie dekady.



4. Grace Hopper jako kontradmirał marynarki wojennej USA, 1984 r. – zdjęcie Departamentu Obrony (domena publiczna)

W 1983 roku, dzięki interwencji Kongresu, Hopper – wówczas 76-letnia – została mianowana kontradmirałem. Była najstarszą aktywną oficer marynarki w historii USA. W 1986 roku, w wieku 79 lat, po raz drugi i ostatni wyszła na emeryturę, tym razem z honorami. Na pokładzie USS Constitution – najstarszego służącego okrętu amerykańskiej marynarki – wręczono jej Medal Służby Wyróżniającej się (**5**).

Przez całe życie była znaną popularyzatorką informatyki. Wykładała na uczelniach, udzielała wywiadów, chodziła do szkół. Miała słynny trick demonstracyjny: pokazywała uczniom kawałek drutu długości około 30 centymetrów i mówiła: „To jest nanosekunda – tyle drogi przebywa światło w ciągu jednej miliardowej sekundy. Następnym razem, kiedy jakiś kierownik powie, że milisekunda to nic ważnego, pokaż mu tę wiązkę drutów". Nosiła puszkę zepsutych nanosekund – kawałków drutu, które dała sobie nadmiarowo odciąć – i rozdawała je jako prezenty.

W środowisku informatycznym nazywano ją „Amazin' Grace" i „Babcią COBOLa". Obydwa przydomki nosiła z dumą. Jej ulubione zdanie, które powtarzała przy każdej okazji, brzmiało: „It's easier to ask forgiveness than it is to get permission" – Łatwiej prosić o przebaczenie niż o pozwolenie. Kierowała się tą zasadą w 1952 roku, kiedy pisała kompilator wbrew opinii przełożonych. Stała się ona później nieoficjalnym mottem całej kultury startupowej Doliny Krzemowej.

Pamięć, nagrody i niszczyciel

Grace Hopper zmarła 1 stycznia 1992 roku w Arlington w Wirginii, w wieku 85 lat. Została pochowana z honorami wojskowymi na Cmentarzu Narodowym w Arlington.



5. Niszczyciel rakietowy USS Hopper (DDG-70) na morzu – zdjęcie US Navy (domena publiczna)

ewasa.pl a93bb99d0

W 2016 roku prezydent Barack Obama odznaczył ją pośmiertnie Prezydenckim Medalem Wolności – najwyższym cywilnym odznaczeniem Stanów Zjednoczonych. W 2017 roku amerykańska marynarka wojenna wprowadziła do służby niszczyciel rakietowy USS Hopper (DDG-70), noszący jej imię (**6**). Obraz Hopper przy pracy zdobi jeden z budynków Google'a w Mountain View w Kalifornii. Corocznie odbywa się Grace Hopper Celebration – największa na świecie konferencja kobiet w informatyce, skupiająca ponad 30 tysięcy uczestniczek.

A COBOL – język, którego podstawy położyła Hopper w latach 50. – wciąż obsługuje około 95 procent transakcji kartami płatniczymi na świecie i ponad 80 procent transakcji bezgotówkowych. Każdego dnia na systemach napisanych w COBOLu przetwarza się więcej pieniędzy niż Google i Facebook razem wzięte obsługują zapytań. Stało się tak dlatego, że Grace Hopper siedemdziesiąt lat temu postanowiła nie słuchać przełożonych.

Następnym razem, kiedy wpiszesz coś w wyszukiwarce, uruchomisz grę, wyślesz wiadomość albo zapłacisz kartą – w każdej z tych czynności gdzieś głęboko zakopany jest kod napisany w języku, którego istnienie jest możliwe dlatego, że pewna matematyczka z Nowego Jorku nie przyjęła słowa „niemożliwe" za odpowiedź. Osiągnęła stopień kontradmirała. Ale zdobyła go, pisząc kod. ■

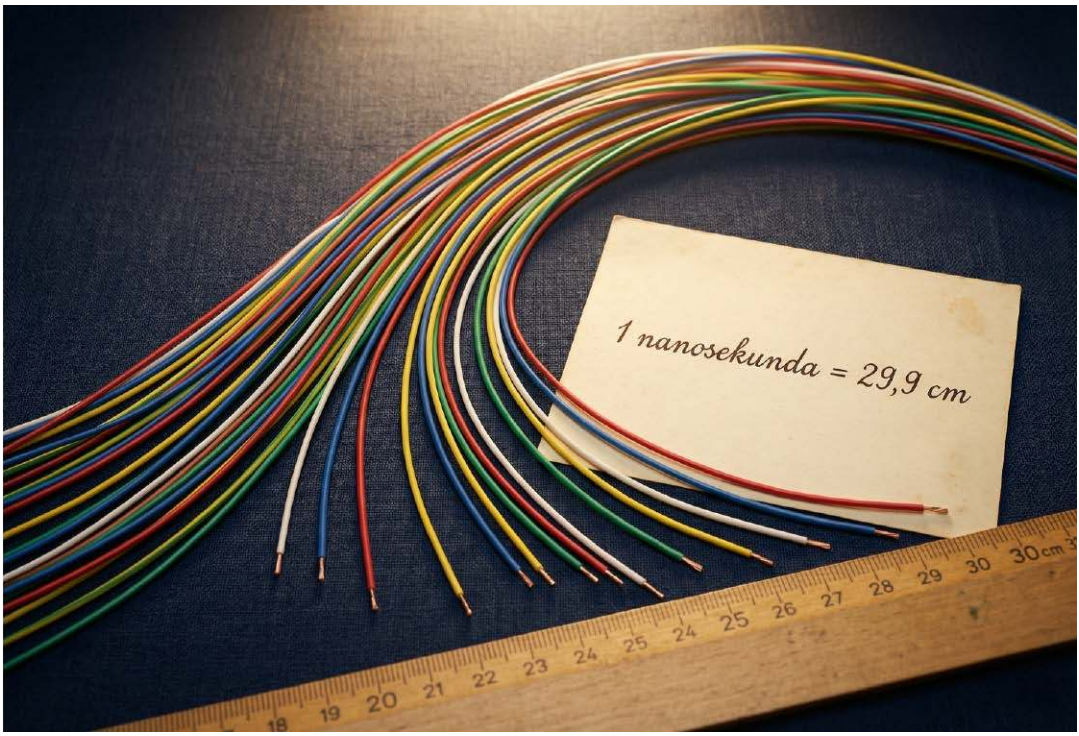
Paweł Biernacki

Dlaczego jej nie znasz?

Historia informatyki jest zdominowana przez nazwiska mężczyzn: Turing, Von Neumann, Gates, Wozniak. Tymczasem pierwsze programistki były kobietami – ENIAC, pierwszy amerykański komputer elektroniczny, programowało sześć kobiet, które przez dekady nie były wymieniane w żadnych oficjalnych materiałach.

Hopper była kobietą w świecie, w którym kobiety nie miały wstępu do większości klubów, stowarzyszeń i konferencji naukowych. Jej dorobek był znany w wąskim środowisku, ale nie przebijał się do podręczników historii techniki pisanych z myślą o szerokim czytelniku.

Dopiero ruch na rzecz różnorodności w branży technologicznej, zapoczątkowany w latach 90., zaczął przywracać jej i podobnym jej pionierkom należne miejsce w historii. Łatwiej jest dać dziewczynce do ręki programistyczny zestaw LEGO, jeśli zna imię Grace Hopper.



6. Nanosekunda – kawałek drutu 29,9 cm jako pamiątka po wykładach Hopper – zdjęcie ilustracyjne

eprasa.pl a93bb99ddb



Laboratorium za wschodnią granicą

Dlaczego Ukraina zmieniła wszystko, co wiedzieliśmy o dronach

W marcu 2022 roku ukraiński żołnierz wystrzelił drona DJI Mavic – komercyjny quadrocopter za około trzy tysiące złotych – i zrzucił z niego granat na rosyjski wóz piechoty. Był to jeden z pierwszych takich przypadków udokumentowanych na filmie. Dwa lata później obie strony frontu używały dronów w liczbie kilkuset dziennie. W 2026 roku ich liczba przekroczyła kilka tysięcy na dobę. Nie ma drugiego przykładu w historii wojen, gdzie konkretna technologia rozwinęłaby się tak szybko, w warunkach bojowych, w tak krótkim czasie.

eprasa.pl a93bb99ddb

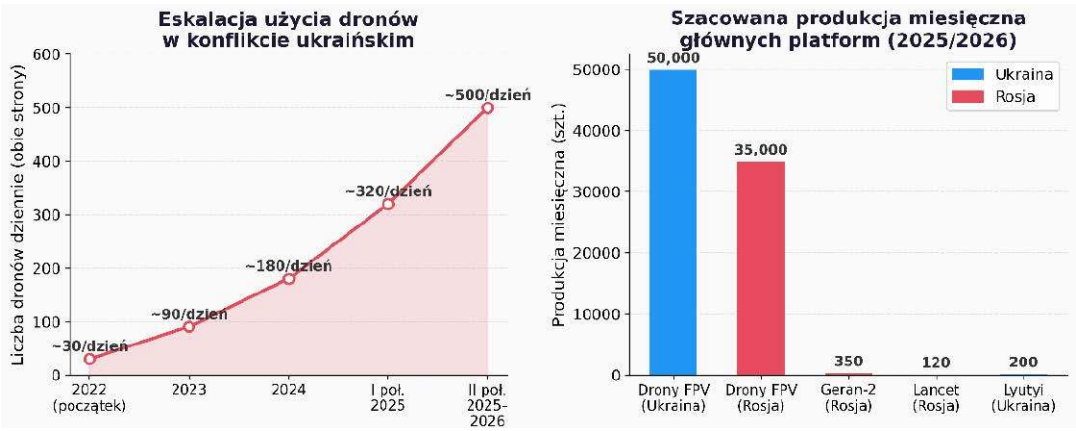


To właśnie ten wyraźny skok czyni Ukrainę czymś w rodzaju globalnego laboratorium techniki dronowej. Nie w tym sensie, że oba wojska świadomie testują prototypy – ale w tym, że każde nowe rozwiązanie jest natychmiast weryfikowane przez rzeczywistość frontu. Jeśli coś nie działa, znika w ciągu tygodnia. Jeśli działa – następnego dnia ma już kilkaset kopii.

W tym numerze „Młodego Technika" podjęliśmy próbę opisania tego, co aktualne. Nie historii – bo nawet rozwiązania sprzed czterech lat to już archeologia – ale stanu techniki z ostatnich dwunastu do dwudziestu czterech miesięcy. Zanim przejdziemy do szczegółów technicznych poszczególnych platform, warto zrozumieć skalę zjawiska.

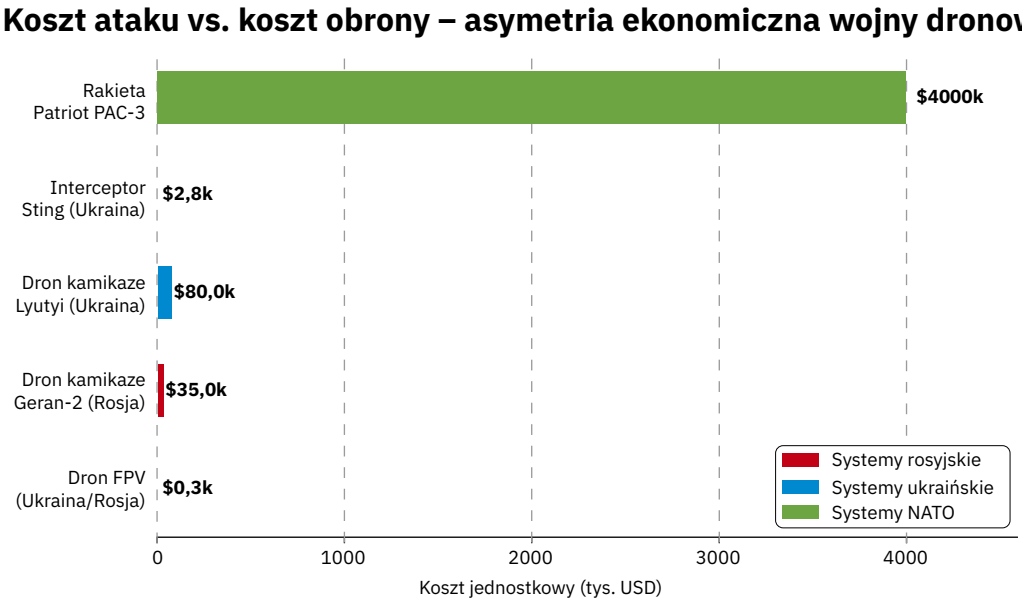
Liczby, które robią wrażenie

Zacznijmy od tego, co można zmierzyć. Według danych ukraińskiego Ministerstwa Obrony oraz niezależnych analityków z projektu Oryx i Instytutu Studiów nad Wojną (ISW), od stycznia 2024 do marca 2026 roku na froncie ukraińskim zestrzelono lub zniszczono ponad



1. Eskalacja użycia dronów (na lewo) i szacowana produkcja miesięczna głównych platform (na prawo). Źródło: Oryx, ISW, VGI Kyiv, Militär Aktuell, Ukraine MOD 2025/2026, szacunki przybliżone, oprac. Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



2. Asymetria kosztów ataku i obrony. Każda kolumna reprezentuje koszt jednostkowy danej platformy. Źródło: szacunki na podst. CSIS, Oryx, Ukraine MOD 2025/2026, oprac. Paul Bavarian/Młody Technik

150 000 bezzałogowców – po obu stronach łącznie. To średnia około 200 dronów dziennie, która pod koniec 2025 roku wzrosła do ponad 500.

Rosja produkuje miesięcznie szacunkowo 250...350 dronów kamikaze serii Geran oraz około 80...120 sztuk bardziej zaawansowanych Lancetów. Drony FPV – prostsze i tańsze – produkuje się po obu stronach w dziesiątkach tysięcy miesięcznie. Ukraina oficjalnie podała, że w 2025 roku wytworzyła ponad milion dronów FPV. Liczba ta obejmuje również proste konstrukcje ze styropianu i druku 3D, ale skala jest bezprecedensowa.

Dlaczego cena jest kluczem

Jednym z najważniejszych parametrów bojowych współczesnego drona jest jego cena. Nie dlatego, że wojsko liczy grosze – ale dlatego,



że proporcja kosztu ataku do kosztu obrony decyduje o tym, czy dana taktyka jest w ogóle opłacalna.

Dron FPV zrobiony przez ukraińskiego wolontariusza kosztuje około 300 dolarów. Jeśli zniszczy pojazd opancerzony wart 500 000 dolarów – proporcja jest miażdżąca. Rosja liczy podobnie: Geran-2 kosztuje szacunkowo 20...50 tysięcy dolarów. Rakieta Patriot PAC-3, używana przez Ukrainę do jego zestrzelenia, kosztuje około czterech milionów dolarów. Nawet jeśli Ukraina zestrzeli 90 procent Geranów – co jest wynikiem doskonałym jak na obronę powietrzną – ekonomicznie i tak przegrywa.

Właśnie dlatego Ukraina musiała stworzyć drona przechwytującego Sting za mniej niż trzy tysiące dolarów. I dlatego ta innowacja jest ważniejsza niż jakikolwiek nowy wariant zachodniego systemu rakietowego.

Co lata, jedzie i płynie

Termin „dron wojskowy" obejmuje dziś tak różnorodne platformy, że warto je na początku usystematyzować. W uproszczeniu dzielimy je na trzy środowiska: powietrzne, lądowe i morskie. Każde z nich ma wiele podkategorii.

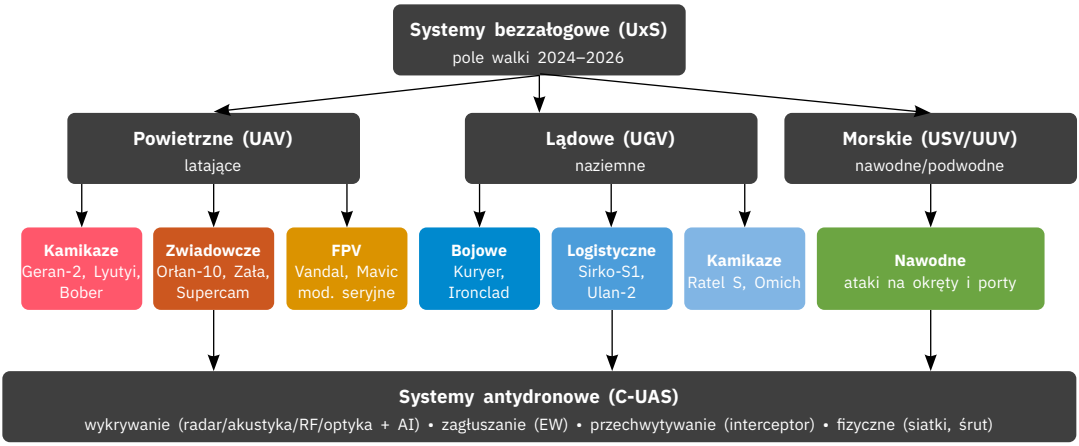
- **Drony powietrzne** (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) są najliczniejsze i najbardziej różnorodne. Należy tu zarówno prosty quadrocopter FPV za kilkaset dolarów, jak i zaawansowany dron dalekiego zasięgu Lyutyi, zdolny uderzyć w cel oddalony o 1200 km. Między tymi skrajnościami mieszczą się drony zwiadowcze, drony-nosiciele, a od niedawna również przechwytujące.
- **Drony lądowe** (UGV – *Unmanned Ground Vehicle*) są mniej spektakularne, ale coraz powszechniejsze. Ukraina używa ich do logistyki (Sirko-S1), ewakuacji rannych (FoxTac) i ataków kamikaze na pojazdy wroga (Ratel S). Rosja ma nawet ciężki pojazd bojowy Ironclad o masie 1800 kg, choć z mieszanym skutkiem.
- **Drony morskie** (USV – *Unmanned Surface Vehicle*) to kategoria, o której pisze się mniej, a która okazała się strategicznie przełomowa. Ukraińskie drony morskie skutecznie atakowały rosyjskie okręty na Morzu Czarnym, zmuszając Flotę Czarnomorską do wycofania się z Krymu. To jeden z nielicznych przypadków, gdzie mały i tani system wyparł z konkretnego obszaru duży i drogi.

Składniki ze sklepu dla hobbystów

Jeden z najpowszechniejszych mitów na temat współczesnych dronów wojskowych głosi, że są to wyrafinowane systemy pełne tajnych technologii. Rzeczywistość jest inna i bardziej zaskakująca.

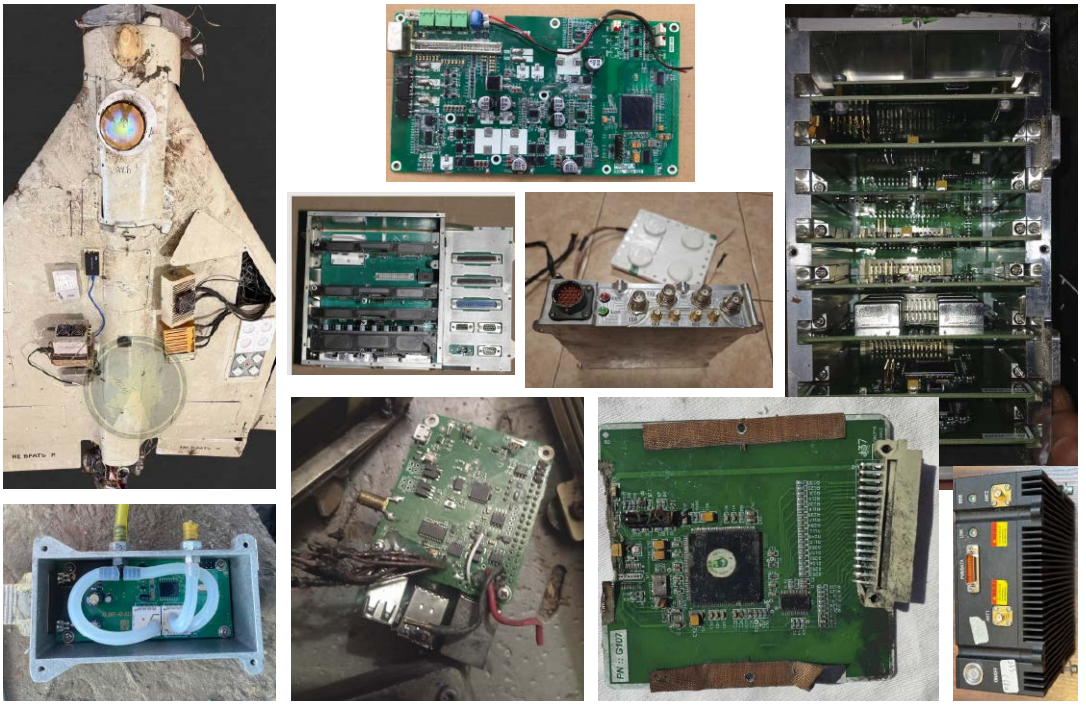
Analiza szczątków rosyjskich Geranów, przeprowadzona m.in. przez Conflict Armament Research i ukraiński wywiad, wykazała obecność: mikrokontrolerów STM32F4 (sprzedawanych na AliExpress za kilkadziesiąt złotych), modułów kamer używanych w systemach monitoringu, żyroskopów MEMS firmy Murata (stosowanych

Klasyfikacja bojowych systemów bezzałogowych – pole walki 2024–2026



3. Klasyfikacja bojowych systemów bezzałogowych na współczesnym polu walki. Źródło: oprac. własne na podst. dokumentacji OSINT, Oryx, Ukraine MOD, ISW 2025/2026, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



Wnętrze rosyjskiego drona Geran-2 (Герань-2) po zestrzeleniu – widoczne komponenty. Analiza OSINT ujawniła komponenty firm Texas Instruments, Infineon, Murata, Analog Devices i inne – dostępne komercyjnie na rynku światowym. Źródło: Telegram, reibert.info

w telefonach), serwomechanizmów z rynku modelarskiego firm Hitec i Savöx, a nawet komputerów jednopłytkowych Raspberry Pi 4 i 5.

Systemy sterowania lotem bazują na 32-bitowych mikrokontrolerach ARM i akcelerometrach MEMS – tych samych, które znajdziemy w dronach RC ze sklepu dla hobbystów. Kamery to często moduły przeznaczone do systemów monitoringu: mają większe sensory niż w smartfonach i są mniej wymagające niż sensory do aparatów cyfrowych.

To oznacza dwie rzeczy. Po pierwsze: Rosja omija zachodnie sankcje, kupując komponenty przez pośredników. Po drugie: technologia dronów bojowych jest znacznie bliżej hobbystów i inżynierów-amatorów, niż się powszechnie wydaje. Większość komponentów opisanych w tym numerze można kupić w sklepie elektronicznym.

Jak czytać to opracowanie

Kolejne artykuły podzieliliśmy tematycznie według funkcji i technologii, nie według przynależności państwowej. Rosyjskie i ukraińskie platformy będą omawiane razem wszędzie tam, gdzie rozwiązują ten sam problem technicznie – bo często stosują podobne podejścia, a porównanie jest pouczające.

Opis każdej platformy zawiera: architekturę systemu (płatowiec, napęd, nawigacja, komputer pokładowy, łączność), kluczowe komponenty z ich komercyjnymi odpowiednikami, doświadczenia bojowe i ich wpływ na kolejne iteracje projektu oraz – wszędzie tam, gdzie jest to możliwe – wyjaśnienie, dlaczego konkretne rozwiązanie techniczne wygrało z innymi.

Nie piszemy o polityce ani o stratach ludzkich. Piszemy o inżynierii. O tym, jak konkretny problem – „jak trafić w ruchomy cel z odległości 10 km, nie mając stałego połączenia z operatorem" – zostaje rozwiązany przez inżynierów pracujących pod presją czasu i w warunkach niedoboru zasobów.

Bo to jest chyba najciekawszy aspekt całego zjawiska: większość przełomowych rozwiązań technicznych, które znajdziesz w tym opracowaniu, powstała nie w laboratoriach wielkich korporacji zbrojeniowych, ale w małych manufakturach, garażach i przestrzeniach coworkingowych. Przez ludzi, którzy często nie skończyli akademii wojskowej. Którzy po prostu dobrze rozwiązywali problemy inżynierskie. ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb



Ukraiński dron. Źródło: Kanał 47. Brygady Zmechanizowanej/Telegram (domena publiczna)

Dlaczego Ukraina nie rozgromiła Rosji dronami?

Albo: czego zachodnia technologia nie może kupić

Kiedy mój znajomy, inżynier z Lockheed Martin, zobaczył na YouTube film z ukraińskim dronem FPV atakującym rosyjski czołg T-90, powiedział coś, co zostało mi w głowie na długo: „Ten dron zbudowali z części za trzysta dolarów i zniszczył sprzęt za cztery miliony. Coś tu jest fundamentalnie nie tak z naszym modelem zbrojeniowym".

Miał rację. Ale odpowiedź na pytanie z tytułu tego artykułu jest znacznie bardziej złożona niż porównanie cen.

Zanim przejdziemy do technicznych szczegółów dronów w kolejnych artykułach tego numeru, warto zadać sobie pytanie, które pewnie i tak już masz w głowie: skoro Zachód ma kolosalną przewagę technologiczną nad Rosją, skoro ukraińskie drony robią z rosyjskim sprzętem co chcą, to dlaczego ta wojna nadal trwa? Dlaczego Ukraina nie wygrała?

Odpowiedź obala kilka mitów na raz. I sprawia, że technika opisana w tym numerze nabiera zupełnie innego sensu.

eprasa.pl a93bb99ddb



Mit pierwszy: super dron rozstrzyga wojnę

Wyobraź sobie MQ-9 Reaper – to jest to, co większość ludzi ma na myśli mówiąc o zachodnim dronie wojskowym. Rozpiętość skrzydeł jak mały odrzutowiec pasażerski, może lecieć 27 godzin, przenosi rakiety Hellfire i bomby szybowcowe, kosztuje około 30 milionów dolarów za sztukę. Przez 20 lat Stany Zjednoczone używały go nad Afganistanem, Irakiem, Syrią, Libią. Z doskonałym skutkiem.

Tyle że w żadnym z tych konfliktów przeciwnik nie miał systemu rakiet ziemia-powietrze S-300. Ani zagłuszarek. Ani własnych dronów przechwytujących. Nad ukraińskim niebem Reaper zostałby zestrzelony w ciągu minut od przekroczenia linii frontu.

Przez dwie dekady zachodnia doktryna użycia UAV rozwijała się w jednym, bardzo specyficznym środowisku: niebie, na którym nikt nie strzelał. Afganistan nie miał obrony przeciwlotniczej wartej wspomnienia. Irak – podobnie. Zachodnie drony były projektowane jako narzędzie do działania w przestrzeni powietrznej, gdzie jedynym zagrożeniem są RPG wystrzeliwane przez kogoś na ziemi, kto i tak nie trafi.

Ukraina to zupełnie inny świat. Tu obie strony mają zaawansowaną obronę powietrzną, zaawansowaną walkę elektroniczną i własne drony przechwytujące. W takich warunkach 30-milionowy Reaper jest nie tyle super bronią, co super celem.

Mit drugi: najlepsza technologia wygrywa

To jest być może największy mit i warto go rozłożyć powoli.

Wyobraź sobie, że masz najlepszy silnik wyścigowy na świecie – ale montujesz go w samochodzie, który ma tylko jedno koło. Silnik jest rzeczywiście najlepszy. Samochód nadal nie jedzie.

Wojna dronowa to nie jest konkurs na najlepszy dron. To jest wyścig ekosystemów.

Co to znaczy w praktyce? Żeby dron kamikaze trafił w cel i coś zniszczył, potrzebujesz



całego łańcucha: kogoś, kto go zaprojektował i przetestował; fabryki albo manufaktury, która go wyprodukowała – najlepiej tysiące sztuk miesięcznie; systemu logistyki, który dostarczył go na front; operatora, który przeszedł szkolenie; systemu komunikacji, przez który operator widzi obraz z kamery; systemu wywiadowczego, który wskazał cel; systemu nawigacyjnego, który nie daje się zagłuszać. I wreszcie systemu antydronowego po drugiej stronie, który próbuje to wszystko zniweczyć – co zmusza do ciągłej modyfikacji każdego poprzedniego elementu.

Zachód ma kolosalną przewagę technologiczną w każdym z tych elementów z osobna. Ale nie ma ekosystemu – bo nigdy nie musiał go budować w tej formie i w tym tempie.

Ukraina ten ekosystem zbudowała od zera, pod ostrzałem, w dwa lata. To jest osiągnięcie inżynierskie i organizacyjne, które historycy będą analizować przez dekady.

Kajdany, które nakłada własna technologia

Jest jeszcze jeden paradoks, który robi szczególne wrażenie na każdym inżynierze.

Nvidia Jetson Orin Nano – moduł obliczeniowy, który znajdziemy w ukraińskich i rosyjskich dronach – jest produkowany w USA. Teoretycznie więc Ukraina, sojusznik USA, powinna mieć do niego łatwiejszy dostęp niż Rosja, która jest objęta sankcjami.

W praktyce jest odwrotnie.

Rosja kupuje Jetsony przez sieć pośredników w krajach trzecich – Chinach, Armenii, Turcji, Kazachstanie. Bez skrupułów, nielegalnie, ale skutecznie. Tymczasem Ukraina, żeby oficjalnie



Nvidia Jetson Orin Nano. Źródło: www.nvidia.com

otrzymać zachodnie komponenty do systemu broni, musi przejść przez gęste sito regulacji eksportowych. Najważniejsze z nich to amerykański ITAR – *International Traffic in Arms Regulations* – zbiór przepisów, które kontrolują eksport technologii militarnych.

Problem w tym, że ITAR nie bardzo rozróżnia między Jetsonem w dronie zwiadowczym a Jetsonem w dronie, który autonomicznie wybiera i atakuje cele. To drugie zastosowanie otwiera prawną i etyczną puszkę Pandory – czy wolno przekazać sojusznikowi broń zdolną do autonomicznego zabijania? Zachodnie rządy są w tej kwestii niezwykle ostrożne.

Efekt jest absurdalny: Rosja nielegalnie ma w swoich Geranach te same moduły, których Ukraina nie może legalnie dostać do analogicznych systemów. Biurokracja ochrony praw człowieka paradoksalnie pomaga agresorowi.

Spirala adaptacji: innowacja, która nie daje przewagi

Załóżmy, że Ukraina opracowuje nowy system zakłócania rosyjskich dronów. Działa świetnie przez pierwsze dwa tygodnie. Potem rosyjscy inżynierowie analizują szczątki zestrzelonych ukraińskich jammersów, rozumieją jak działają i modyfikują oprogramowanie swoich dronów. Po czterech tygodniach skuteczność nowego systemu spada o połowę.

Ukraina reaguje nową modyfikacją. Rosja odpowiada. I tak dalej, bez końca, w cyklu liczonym w tygodniach.

To jest spirala adaptacji i jest ona fundamentalną cechą tej wojny. Żadna pojedyncza innowacja nie daje trwałej przewagi. Wygrywa ten, kto adaptuje się szybciej.

I tu Zachód ma strukturalny problem, który nie ma nic wspólnego z technologią, a wszystko z procedurami. Cykl zakupowy w NATO – od rozpoznania potrzeby do dostawy gotowego systemu – trwa przeciętnie od pięciu do dziesięciu lat. Ukraina potrzebuje nowego rozwiązania technicznego co dwa tygodnie.

Nie chodzi o to, że zachodnie firmy zbrojeniowe nie potrafią wprowadzać innowacji. Potrafią. Ale robią to w tempie dostosowanym do procedur zamówień publicznych, audytów bezpieczeństwa i wieloletnich kontraktów. Tempo frontu ukraińskiego jest dla tego systemu po prostu nieosiągalne.

eprasa.pl a93bb99ddb

Asymetria kosztów: celowa strategia Rosji

Czwarty powód jest czysto ekonomiczny i bardzo elegancki z cynicznego punktu widzenia.

Geran-2 (Герань-2), rosyjski dron kamikaze, kosztuje w produkcji szacunkowo od 20 do 50 tysięcy dolarów. Rakieta Patriot PAC-3, której Ukraina używa do jego zestrzelenia, kosztuje około 4 miliony dolarów. Jeśli Ukraina zestrzeliwuje 90% nadlatujących Geranów – co jest wynikiem doskonałym jak na obronę powietrzną – to i tak każde zestrzelenie kosztuje ją 80 razy więcej niż kosztuje Rosję wystrzelony dron.

Rosja świadomie projektuje tę asymetrię. Tanie, masowo produkowane drony, atakujące w setkach jednocześnie, wymuszają użycie drogiej zachodniej amunicji. Ukraina – i Zachód, który ją finansuje – płaci więcej za obronę niż Rosja za atak.

Właśnie dlatego Ukraina musiała stworzyć dron Sting za mniej niż trzy tysiące dolarów, który zestrzeliwuje Gerany równie skutecznie co rakiety Patriot. Nie dlatego, że nie chciała Patriotów – ale dlatego, że Patrioty w tej roli ekonomicznie są do niczego. Bieda wymusiła innowację, która okazała się genialna.

Drony nie zajmują terenu

Jest wreszcie ograniczenie czysto fizyczne.

Dron może zniszczyć czołg. Może spalić skład amunicji. Może zabić oficera w samochodzie, zniszczyć radar, zapalić rafinerię. Ale nie może wejść do okopu i oznajmić żołnierzowi po drugiej stronie, że ten okop teraz należy do kogoś innego.

Żeby przesunąć linię frontu, potrzeba piechoty. Ukraina ma dramatyczny problem demograficzny – za mało żołnierzy w stosunku do długości frontu i strat. Drony kompensują ten niedobór, ale go nie eliminują. Pozwalają mniejszej liczbie żołnierzy skuteczniej walczyć. Nie zastępują jednak żołnierzy.

To jest ograniczenie, którego żadna technologia – przynajmniej na razie – nie jest w stanie obejść.

Co z tego wynika?

Kilka rzeczy, które warto mieć w głowie czytając kolejne artykuły tego opracowania.

Po pierwsze: opis techniki drona w izolacji od jej kontekstu taktycznego i produkcyjnego niewiele mówi o jego wartości bojowej. Dlatego w każdym artykule staramy się łączyć parametry z doświadczeniami z frontu.



Sting to ukraiński dron przechwytujący typu FPV (*first-person view*), stworzony przez grupę Wild Hornets do taranowania rosyjskich dronów Shahed. Rozwija prędkość ponad 300...340 km/h, operuje na pułapie 3 km i jest tanią (ok. 2 tys. USD) alternatywą dla rakiet przeciwlotniczych, osiągając 80...90% skuteczności. Źródło: nv.ua.
Film prezentujący drona:
https://youtu.be/9BW9UGX7dl4

Po drugie: innowacja w wojnie dronowej działa inaczej niż w cywilnym przemyśle. Cykl jest krótszy, priorytety inne, a definicja dobrego rozwiązania zmienia się z tygodnia na tydzień. To tłumaczy, dlaczego Ukraina produkuje setki różnych platform zamiast kilku doskonałych – i dlaczego to jest właśnie słuszna strategia.

Po trzecie: zachodnia przewaga technologiczna jest realna, ale nie jest automatycznie przewagą militarną. Żeby stać się przewagą militarną, musi być wbudowana w ekosystem: produkcję, logistykę, szkolenie, adaptację i doktrynę. To buduje się latami, nie kupuje w sklepie.

I po czwarte, może najważniejsze: ta wojna jest przede wszystkim wojną inżynierów. Wygrywa nie ten, kto ma więcej żołnierzy, ani więcej pieniędzy. Wygrywa ten, kto szybciej rozwiązuje problemy techniczne. W tej wojnie Ukraina, kraj o 40 milionach mieszkańców, przez cztery lata skutecznie stawia czoła państwu o czterokrotnie większej populacji i wielokrotnie większych zasobach. Robi to między innymi dlatego, że ma doskonałych inżynierów i potrafiła ich zmobilizować szybciej niż Rosja przewidziała.

To jest chyba najważniejsza lekcja, jaką ta wojna daje przyszłym inżynierom. Czyli – być może – właśnie Czytelnikom MT. ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb



Rosyjski dron Geran-2 (ros. Герань-2) a właściwie wierna kopia Shahed-136 – irańskiego uderzeniowego bezzałogowego statku powietrznego produkowanego od II dekady XXI wieku przez Iran Aircraft Manufacturing Industries Corporation

Wnętrzności latającej bomby

Anatomia drona kamikaze – od śruby do procesora

Kiedy po raz pierwszy trzymałem w rękach analizę szczątków Gerana-2 opublikowaną przez Conflict Armament Research, pierwsze co pomyślałem: to jest w zasadzie latający komputer zrobiony z części, które mogłem zamówić przez internet rok temu. Mikrokontroler STM32, żyroskop MEMS, moduł kamery z systemów CCTV. Dopiero głowica bojowa i kompozytowy kadłub przypominały, że to nie jest model RC.

Dron kamikaze – w żargonie wojskowym loitering munition, czyli „amunicja krążąca" – to w uproszczeniu dron, która potrafi czekać. Może krążyć nad polem walki przez kilkanaście godzin, a uderza dopiero gdy operator (albo algorytm) zdecyduje o wyborze celu. Łączy w sobie cechy pocisku kierowanego i bezzałogowego statku powietrznego.

Zrozumienie jak taki system działa wymaga przyjrzenia się pięciu kluczowym elementom: płatowcowi, napędowi, systemowi nawigacji, komputerowi pokładowemu i systemowi łączności. Każdy z nich rozwiązuje inny problem inżynierski i każdy ewoluował w ciągu ostatnich dwóch lat w odpowiedzi na doświadczenia bojowe. Weźmy je po kolei.

eprasa.pl a93bb99ddb

RAMKA TECHNICZNA

Żaden opis rosyjskich dronów kamikaze nie byłby kompletny bez wyjaśnienia ich genealogii. Geran-2 to w istocie skopiowany i zmodyfikowany irański Shahed-136 – dron opracowany przez Iran Aircraft Manufacturing Industries (HESA) i sprzedany Rosji w 2022 roku. Shahed-136 ma identyczny układ skrzydeł delta, zbliżone wymiary (rozpiętość ok. 2,5 m) i ten sam rodzaj napędu – silnik tłokowy z tyłu kadłuba. Rosja zaczęła używać Shahedów masowo od jesieni 2022 roku, atakując ukraińską infrastrukturę energetyczną. Szybko okazało się, że Shahed ma pewne słabości – głośny silnik, podatność na zagłuszanie GPS – i Rosja zaczęła wprowadzać własne modyfikacje. Kolejne generacje dostawały lepsze systemy nawigacji (Kometa-M), mocniejsze głowice i wreszcie moduły AI (Jetson Orin Nano). W pewnym momencie modyfikacje były na tyle głębokie, że Rosja zaczęła używać własnych oznaczeń: Geran-2 (odpowiednik bazowego Shaheda-136) i Geran-5 (odpowiednik Shaheda-238 z napędem odrzutowym). Zrozumienie tej genealogii tłumaczy, dlaczego Geran wygląda tak jak wygląda – i dlaczego Ukraina, gdy USA poprosiły ją o pomoc w zwalczaniu irańskich dronów, potrafiła szybko zaproponować skuteczne rozwiązania: znała te maszyny od środka od ponad trzech lat.

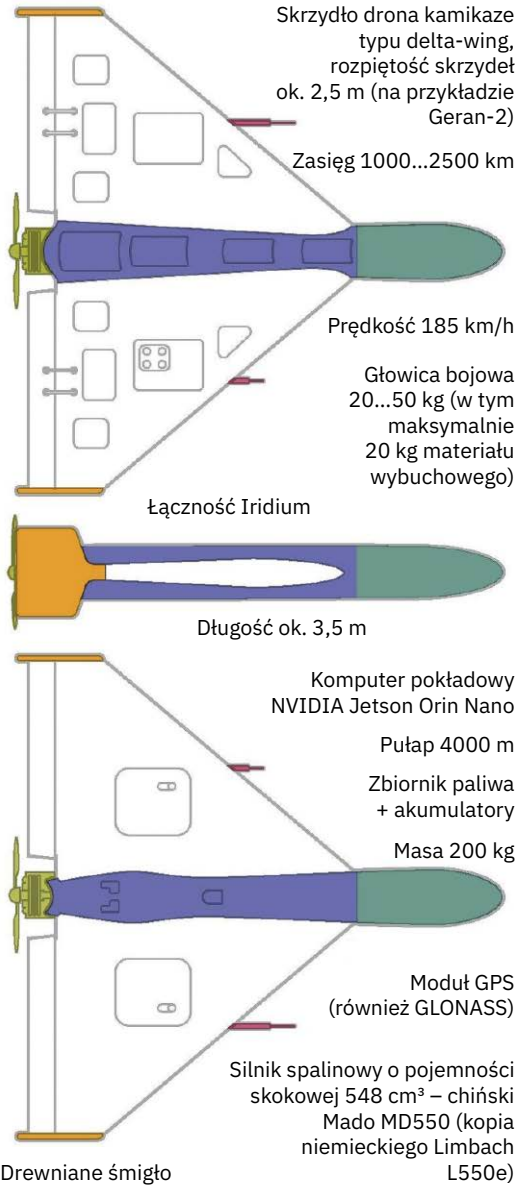
Płatowiec: sztuka niewidoczności i wytrzymałości

Płatowiec drona kamikaze musi spełniać trzy pozornie sprzeczne warunki: być lekki (żeby zabrać jak największy ładunek), wytrzymały (żeby przelecieć kilkaset kilometrów w turbulencjach) i trudny do wykrycia (mały ślad radarowy). Inżynierowie rozwiązują ten trójkąt kompromisów przez dobór materiałów i geometrii.

Materiały – kompozyty rządzą

Zdecydowana większość współczesnych dronów kamikaze ma kadłub z kompozytu włókna szklanego lub węglowego, wypełnionego pianką poliuretanową. Włókno szklane jest tańsze i wystarczające dla większości zastosowań – właśnie dlatego używa go Geran-2. Włókno węglowe jest lżejsze i sztywniejsze, ale droższe – stosuje je ukraiński Lyutyi i Bober. Pianka poliuretanowa jako wypełnienie nie tylko redukuje masę, ale też tłumi drgania, które mogłyby uszkodzić elektronikę.

Najnowsze modele Gerana są malowane farbą pochłaniającą sygnały radarowe. To ta sama zasada co w samolotach stealth – materiał pochłania energię elektromagnetyczną zamiast ją odbijać z powrotem do anteny radarowej. W przypadku taniego drona nie chodzi o pełną niewidoczność, ale o zmniejszenie skutecznego przekroju radarowego (RCS) na tyle, by dron był trudniejszy do śledzenia na tle zakłóceń.



1. Schemat anatomiczny drona kamikaze typu delta-wing z oznaczonymi głównymi podzespołami. Źródło: U.S. Defense Intelligence Agency – https://www.dia.mil/Portals/110/DIA_Iranian_UAVs_in_Ukraine-A_Visual_Comparison.pdf, Domena publiczna, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=135078470

eprasa.pl a93bb99ddb



Ukraiński Bober (Uj-26). Charakterystyczny układ canard (kaczki): małe skrzydełka stabilizacyjne z przodu, duże skrzydła główne z tyłu. Kadłub z włókna węglowego, silnik spalinowy z tyłu. Długość ok. 2,5 m, rozpiętość 2,5 m. Źródło: https://cyclowiki.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:UJ-26_Beaver.jpg

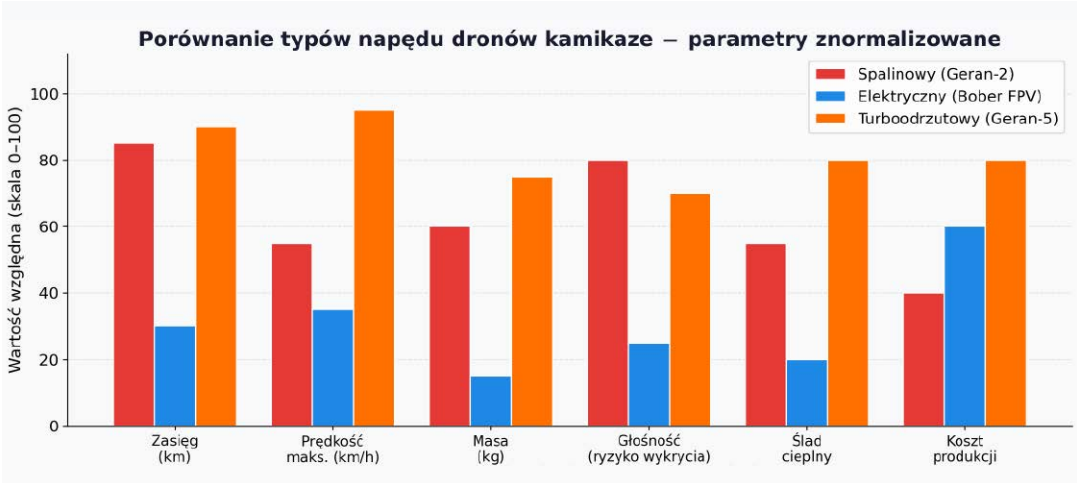
Geometria – delta i kaczka

Układ skrzydeł delta – trójkąt z wierzchołkiem z przodu – dominuje wśród dronów kamikaze z dwóch powodów. Po pierwsze, jest aerodynamicznie stabilny przy szerokim zakresie prędkości. Po drugie, przy danej rozpiętości daje większą powierzchnię nośną niż skrzydła prostokątne, co przekłada się na lepszy stosunek udźwigu do masy.

Ukraiński Bober używa układu kaczki (canard) – ster wysokości z przodu, skrzydła z tyłu. Daje to zwiększoną siłę nośną i lepszą zwrotność, co jest ważne przy precyzyjnych atakach na małe cele. Wadą jest mniejsza stabilność, ale bezpilotowiec – pozbawiony człowieka na pokładzie – może sobie pozwolić na ostrzejsze manewry bez ryzyka przeciążenia dla pilota.

Napęd: trzy filozofie, trzy kompromisy

Wybór układu napędowego to jedna z pierwszych i najważniejszych decyzji przy projektowaniu drona kamikaze. Każda z trzech głównych opcji – silnik spalinowy, elektryczny i turboodrzutowy – niesie za sobą konkretny zestaw zalet i ograniczeń, które bezpośrednio wpływają na taktykę użycia.



2. Porównanie znormalizowanych parametrów trzech typów napędu dronów kamikaze. Wyższy słupek = wyższa wartość parametru dla danego napędu. Opracowanie własne na podstawie danych technicznych platform, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Silnik spalinowy – zasięg kosztem hałasu

Geran-2 używa czterocylindrowego, dwusuwowego silnika Limbach L550E produkcji niemieckiej (lub jego chińskich kopii MD550) o mocy 50 KM, chłodzonego powietrzem. To silnik produkowany z myślą o ultralekkich samolotach, zaadaptowany do drona. Jego główna zaleta to zasięg – zbiornik paliwa w kadłubie pozwala na przelot 1000...2500 km, zależnie od masy głowicy.

Wadą jest hałas. Silnik spalinowy jest na tyle głośny, że Ukraina zbudowała sieć 14 000 czujników akustycznych właśnie po to, by wykrywać Gerany zanim dotrą do celu. Noce nad Kijowem mają specyficzny dźwięk – niski warkot silnika typu bokser, który Kijowianie nauczyli się rozpoznawać w ciemnościach.

Silnik elektryczny – cisza i precyzja

Ukraiński Bober i większość dronów FPV używa silników BLDC (*Brushless DC*). Cisza to największy atut – dron elektryczny jest trudny do wykrycia akustycznie i ma minimalny ślad cieplny. Wadą jest zasięg ograniczony pojemnością akumulatorów. Bober z głowicą 20 kg osiąga 800...1000 km, co jest i tak imponującym wynikiem dla napędu elektrycznego, osiągniętym przez bardzo efektywną aerodynamikę i dobór akumulatorów wysokoenergetycznych.

Silniki BLDC stosowane w dronach bojowych to często modele znane z rynku dronów wyścigowych – firmy Emax, T-Motor, czy własne ukraińskie kopie. Regulatory (ESC – *Electronic Speed Controller*) bazują na chipach STM32 z otwartym firmware BLHeli_32.

Silnik turboodrzutowy – prędkość za wszelką cenę

Rosyjski Geran-5 jest napędzany chińskim silnikiem turboodrzutowym Telefly TJ200 o ciągu ok. 200 N, zapewniającym prędkość do 600 km/h. Prędkość to główna zaleta – tak szybki cel jest trudniejszy do zestrzelenia zarówno przez systemy rakietowe, jak i przez interceptory. Wadą jest koszt (silnik turboodrzutowy kosztuje wielokrotnie więcej niż spalinowy bokser) i zużycie paliwa, co skraca zasięg.

Nawigacja: jak trafić w cel bez GPS

To jest serce drona kamikaze i jednocześnie obszar, który w ciągu ostatnich dwóch lat zmienił się najbardziej dramatycznie. Problem jest prosty do sformułowania: jak dron ma wiedzieć, gdzie jest i gdzie lecieć – szczególnie jeśli przeciwnik aktywnie próbuje go zagłuszyć lub oszukać?

Odpowiedzią jest redundancja i fuzja danych z wielu niezależnych źródeł. Współczesny dron kamikaze nie nawiguje jednym systemem – nawiguje wszystkimi naraz, traktując każde kolejne źródło jako cross-check dla pozostałych.

Jak działa silnik turboodrzutowy w małym dronie?

Miniaturowy silnik odrzutowy (turbojet) działa na tej samej zasadzie co silniki wielkich samolotów pasażerskich, tylko w skali dłoni. Sprężarka (zwykle jednostopniowa) zasysa powietrze i spręża je do 3...4 atmosfer. W komorze spalania wstrzykuje się paliwo (kerozyna lub JET-A1) i zapala. Gorące spaliny rozprężają się przez turbinę – która napędza sprężarkę – a następnie wylatują z dyszą z prędkością kilkuset metrów na sekundę, generując ciąg. Miniaturowy TJ200 waży około 0,9 kg i osiąga 120 000 obr./min. Dla porównania: turbina silnika odrzutowego Boeinga 737 kręci się z prędkością około 25 000 obr./min.

GPS/GNSS – i jego słabości

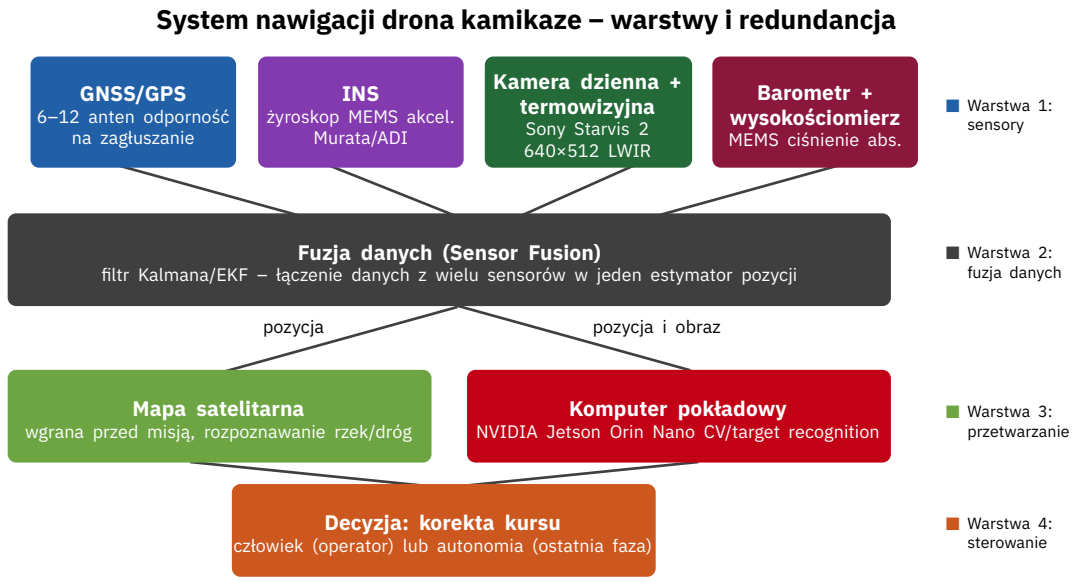
Podstawowy system nawigacji to odbiornik GPS (lub szerzej GNSS – obejmujący też rosyjski GLONASS i chiński BeiDou). Precyzja rzędu kilku metrów przy normalnym działaniu jest w zupełności wystarczająca dla drona atakującego duże obiekty infrastrukturalne.

Problem polega na tym, że GPS można zakłócić (jamming) albo sfałszować (spoofing). Ukraina używa systemu Pokrova, który emituje fałszywe sygnały GPS i dezorientuje rosyjskie drony – część z nich ląduje w zupełnie innych miejscach niż planowano. Rosja odpowiedziała wieloantenowymi układami GPS (6...12 anten w systemach Kometa-M), które potrafią odróżnić bliskie sygnały zakłócające od odległych sygnałów satelitów, bo te drugie nadchodzą z konkretnych kierunków na niebie i mają charakterystyczną geometrię przestrzenną.

INS – ślepa nawigacja inercyjna

Inercyjna jednostka pomiarowa (IMU) to zestaw żyroskopów i akcelerometrów, który mierzy przyspieszenie i obroty w trzech osiach. Integrując te dane w czasie, komputer

eprasa.pl a93bb99ddb



3. Warstwy systemu nawigacji drona kamikaze – od sensorów do decyzji o korekcie kursu. Oprac. własne na podst. analizy technicznej platform Geran-2, Lyutyi, Bober, Młody Technik

pokładowy może obliczyć zmianę pozycji bez żadnego zewnętrznego sygnału. To tak zwana nawigacja inercyjna (INS).

Wadą INS jest kumulacja błędów – każda mała niedokładność sensora sumuje się z czasem i po kilkudziesięciu minutach błąd pozycji może wynosić kilkaset metrów. Dlatego INS używa się jako pomost między chwilowym zagłuszaniem GPS (kiedy dron przez kilka–kilkanaście minut nie ma dostępu do sygnału satelitarnego) a powrotem do normalnej nawigacji. Ukraiński Lyutyi ma na tyle rozbudowany INS, że potrafi utrzymać kurs przez kilkadziesiąt kilometrów wyłącznie na żyroskopach.

Nawigacja wizualna – ostatni metr

Najbardziej zaawansowane drony – zarówno ukraińskie jak i rosyjskie (Geran-2Y) – uzupełniają GPS i INS o nawigację wizualną. Zasada działania jest elegancka: przed misją do pamięci drona wgrywana jest mapa satelitarna terenu. W locie kamera rejestruje obraz ziemi, a algorytm computer vision porównuje go z mapą, rozpoznając charakterystyczne elementy terenu: rzeki, drogi, mosty, zabudowania, kształty pól.

Ukraiński Bober ma dostęp do aktualnych map satelitarnych Maxar i Planet Labs, co daje mu wyjątkową przewagę – jego mapa jest aktualna, nie sprzed lat. W końcowej fazie ataku nawigacja wizualna pozwala skorygować kurs z dokładnością do 1...2 metrów, niezależnie od stanu GPS.

Komputer pokładowy: procesor na pierwszej linii

Jeszcze trzy lata temu komputer pokładowy drona kamikaze to był prosty mikrokontroler obsługujący kontroler lotu i odbiornik GPS. Dziś to miniaturowy system AI zdolny do analizy obrazu wideo w czasie rzeczywistym, identyfikacji celów i podejmowania decyzji nawigacyjnych bez udziału operatora.

Nvidia Jetson Orin Nano – flagowiec

Moduł Jetson Orin Nano firmy Nvidia to komputer SoM (*System on Module*) wyposażony w 8-rdzeniowy procesor ARM Cortex-A78AE, 1024-rdzeniowy akcelerator GPU Ampere i dedykowane jednostki DLA (*Deep Learning Accelerator*). Zapewnia do 40 TOPS (tera-operacji na sekundę) przy poborze mocy 7...15 W – co jest wyjątkowym stosunkiem mocy obliczeniowej do zużycia energii.



epra… a93bb99ddb

Osint i sankcje: jak Rosja przemyca Jetsony?
Nvidia Jetson Orin Nano kosztuje w oficjalnej dystrybucji ok. 500 USD. Rosja kupuje je w Chinach, Armenii, Turcji i Kazachstanie przez firmy-słupy, które nie figurują na listach sankcyjnych. Każdy moduł ma unikalny numer seryjny – teoretycznie można by prześledzić drogę od fabryki przez pośredników aż do szczątków drona. Organizacja Conflict Armament Research robi to systematycznie od 2022 roku, publikując raporty ujawniające łańcuchy dostaw. Efektem jest identyfikacja kilkudziesięciu firm pośredniczących – ale bez poważnej presji dyplomatycznej na kraje tranzytowe procederu nie udaje się zatrzymać.

W dronach używany jest do analizy obrazu z kamer (detekcja i klasyfikacja celów), fuzji danych nawigacyjnych i sterowania lotem w trybie autonomicznym. Geran-2Y i Geran-5 używają go właśnie w tej roli: dron potrafi samodzielnie wykryć i sklasyfikować cel (czołg, skład amunicji, budynek) i – po utracie łączności z operatorem – samodzielnie zdecydować o ataku.

STM32 i tańsze alternatywy

Podstawowy kontroler lotu w większości dronów – zarówno FPV jak i kamikaze – to układ z rodziny STM32F4 lub STM32F7 firmy STMicroelectronics. To ten sam mikrokontroler, który znajdziemy w popularnych kontrolerach lotu dla dronów RC, jak Betaflight F4 czy F7. Kosztuje kilkanaście dolarów, jest powszechnie dostępny i ma doskonałe wsparcie społeczności open-source.

Jako tańsza alternatywa dla Jetsona do zadań AI, chińska firma Sipeed oferuje moduły MaixCAM i MaixCAM Pro, zbudowane na układach RISC-V z dedykowanym akceleratorem do modeli VLM (*Vision Language Model*). Kosztują 2...10 razy mniej od oferty Nvidii i według producenta pozwalają na wygenerowanie prostego modelu klasyfikującego obiekty w ciągu godziny. Ukraińskie drony FPV coraz częściej używają właśnie tych modułów – jako tańszej alternatywy pozwalającej na autonomiczne śledzenie celu po utracie łączności.

Łączność: widzieć, słyszeć, nie dać się zagłuszyć

System łączności drona kamikaze rozwiązuje trzy zadania: przekazywanie obrazu z kamery do operatora, odbieranie poleceń sterowania (zmiana celu, przerwa ataku, powrót) oraz transmisję telemetrii (pozycja, stan baterii, parametry lotu). Każde z tych zadań stawia inne wymagania, a wszystkie muszą działać w środowisku aktywnej walki elektronicznej.

Sieć mesh i moduły Xingkai

Geran-5 używa chińskiego modułu łączności Xingkai Tech XK-F358, który pozwala na przesyłanie obrazu, dźwięku i danych w obie strony i tworzy z innymi modułami samoorganizującą się sieć mesh. Oznacza to, że kilka dronów lecących w grupie może wzajemnie retransmitować swoje sygnały, wydłużając zasięg łączności poza to, co osiągałby pojedynczy nadajnik. Ten sam moduł jest sprzedawany otwarcie na AliExpress za około 9 000 złotych.

Iridium 9603N – łączność satelitarna

W rosyjskich dronach – głównie w Geranach – znaleziono moduły Iridium 9603N. Sieć Iridium to konstelacja 66 satelitów zapewniająca globalny zasięg łączności krótkimi wiadomościami. W dronarskim zastosowaniu służy do: potwierdzenia aktualnej pozycji drona (jako backup dla GPS), przesyłania informacji o zmianie celu przez operatora, oraz do śledzenia drona gdy wyleci poza zasięg łączności radiowej.



eprasa.pl a9



Dron połączony światłowodem z operatorem. Źródło: АрміяІнформ – https://armyinform.com.ua/2025/02/01/na-shho-zdatni--bpla-na-optovolokni-reportazh-armiyainform-z-testuvannya-droniv/, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=162840181



Dron połączony światłowodem gotowy do misji. Źródło: АрміяІнформ – https://armyinform.com.ua/2025/02/01/na-shho-zdatni-bpla-na-optovolokni-reportazh-armiyainform-z-testuvannya-droniv/, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=162840182

Iridium nie nadaje się do przesyłania obrazu wideo – przepustowość jest zbyt mała. Ale do krótkich poleceń i danych telemetrycznych jest doskonały. Co istotne, sieć Iridium działa globalnie i jest bardzo trudna do zagłuszania – sygnał pochodzi z satelitów na niskiej orbicie, a ich konfiguracja geometryczna zmienia się co kilka minut.

Światłowód – niezawodny sposób na zakłócenia

Rosyjskie drony z serii Kniaź Wandal Nowogrodzki – w żargonie frontowym znane jako KVN lub po prostu Vandal – rozwijane przez petersburskie centrum naukowo-produkcyjne Uszkujnik, zastosowały na masową skalę rozwiązanie pozornie prymitywne, a genialnie skuteczne: cienki światłowód rozwijany przez drona za sobą podczas lotu. Włókno o średnicy około 125 mikrometrów (grubość ludzkiego włosa), nawinięte na kompaktową szpulę, pozwala na transmisję sygnału z krystalicznie czystym obrazem w wysokiej rozdzielczości na odległości sięgające kilkunastu kilometrów.

Kluczowa zaleta: światłowód jest całkowicie odporny na zakłócenia elektromagnetyczne. Nie ma sygnału radiowego do zagłuszenia. Przez ten światłowód operator widzi obraz z kamery w jakości HD i steruje dronem z zerowym opóźnieniem. Prędkość transmisji światłowodowej wynosi gigabity na sekundę – dla porównania, standardowe łącze 5,8 GHz FPV to ledwie kilka megabitów. Wadą jest fizyczne ograniczenie zasięgu (długość kabla), nieco gorsza manewrowość i ryzyko zerwania włókna przy zahaczeniu o gęste korony drzew. Jednak w kontekście precyzyjnych ataków na sprzęt wroga jest to taktyka nie posiadająca słabych stron w domenie walki elektronicznej (EW). Skuteczność rosyjskich Vandalów okazała się na froncie tak duża, że wymusiła na ukraińskich inżynierach natychmiastową inżynierię wsteczną i pośpieszne projektowanie własnych, analogicznych rozwiązań światłowodowych (dziwna nazwa KVN to gra słów – nawiązanie do niezwykle popularnego w czasach radzieckich programu telewizyjnego Kłub Wiesiołych i Nachodcziwych – przypis redakcji). ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb



FPV: od wyścigów do linii frontu

Jak quadrocopter za trzysta dolarów stał się najgroźniejszą bronią piechoty

Zawody FPV Freestyle World Cup w Las Vegas, 2019 rok. Czterech pilotów w goglach VR ściga się przez tor z bramkami w opuszczonej hali przemysłowej. Prędkości do 180 km/h, manewry niemożliwe dla załogowego statku powietrznego, akrobacje wykonywane z dokładnością do centymetrów. Nikt z widowni nie myślał wtedy, że oglądają narodziny nowej broni.

Pięć lat później te same drony – ta sama architektura ramy, te same silniki BLDC, ten sam chip STM32 w kontrolerze lotu – latają nad Donbasem z głowicami bojowymi. Ścieżka od sportu do wojska okazała się krótsza niż jakakolwiek technologia wojskowa w historii. I bardziej bezpośrednia: ukraińscy operatorzy wojskowi to w dużej mierze po prostu byli piloci wyścigowi.

Dron FPV (*First Person View*) to quadrocopter z kamerą przesyłającą obraz na żywo do gogli operatora. Operator widzi świat oczami maszyny – stąd nazwa. W zastosowaniu bojowym ta cecha jest decydująca: pozwala z precyzją niemożliwą dla żadnej wcześniejszej broni naprowadzić ładunek wybuchowy na konkretne okno, właz czołgu, czy grupę żołnierzy za zasłoną.

Rama: fundament wszystkiego

Rama drona FPV to szkielet, na którym mocuje się wszystkie pozostałe komponenty. W zastosowaniach wyścigowych decyduje o manewrowości

eprasa.pl a93bb99ddb

Rozmiary ram dronów FPV i ich zastosowania bojowe

Atak na piechotę	Atak na lekkie pojazdy	Pojazdy opancerzone, bunkry	Ciężkie UGV, wieże, mosty
5"	6"	7"	10"
Rozstaw osi: 130 mm	Rozstaw osi: 165 mm	Rozstaw osi: 200 mm	Rozstaw osi: 280 mm
Masa z ładunkiem: ~300 g	Masa z ładunkiem: ~420 g	Masa z ładunkiem: ~600 g	Masa z ładunkiem: ~1200 g
Czas lotu: ~8 min.	Czas lotu: ~10 min.	Czas lotu: ~12 min.	Czas lotu: ~6 min.
Ładunek: 150...200 g	Ładunek: 200...300 g	Ładunek: 300...500 g	Ładunek: 500...800 g

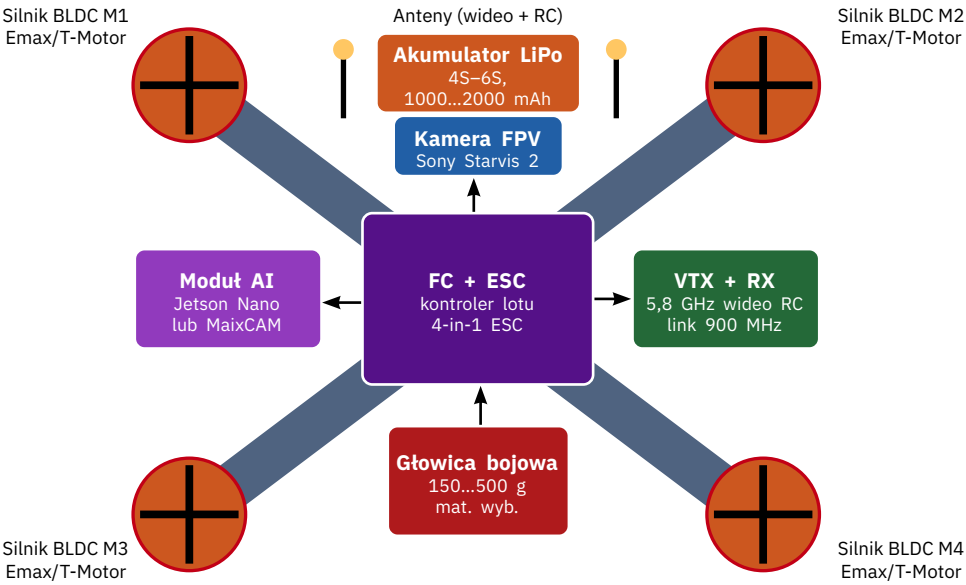
1. Porównanie czterech klas ram dronów FPV stosowanych bojowo – parametry i zastosowania. Źródło: VGI Kyiv, Ukraine MOD, 423rd Gryphon Unit 2025/2026, oprac. Młody Technik

i wytrzymałości na kolizje. W zastosowaniach bojowych dochodzą dodatkowe wymagania: możliwość przeniesienia ładunku bojowego, odporność na zakłócenia elektromagnetyczne i – nierzadko – możliwość wyprodukowania na drukarce 3D w terenie.

Materiały i rozmiary

Standardowe ramy wyścigowe wykonane są z kompozytu włókna węglowego 3K lub 5K. Grubość kluczowych elementów wynosi 3...5 mm dla ram bojowych – więcej niż w czystych konstrukcjach wyścigowych (1,5...2 mm), bo głowica bojowa i dodatkowa elektronika znacząco zwiększają masę. Obudowy elektroniki – w odróżnieniu od ram – drukowane są coraz częściej z PET-G lub nylonu z domieszką włókna szklanego. Te materiały są tańsze, łatwiej dostępne i wystarczająco wytrzymałe dla jednorazowej maszyny.

Anatomia bojowego drona FPV – widok z góry (rama 5"/6")



2. Schemat anatomiczny bojowego drona FPV (widok z góry) z głównymi komponentami. Oprac. własne na podst. dokumentacji Betaflight, analiz sprzętowych Ukraine MOD, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Jak działa pętla PID w kontrolerze lotu?

Wyobraź sobie, że chcesz lecieć poziomo. Czujnik mówi: dron przechyla się 2° w prawo (błąd = 2°). Człon P (proporcjonalny) natychmiast wysyła korektę proporcjonalną do błędu. Człon I (całkujący) koryguje stały dryf, który P sam nie usuwa – sumuje błędy w czasie. Człon D (różniczkujący) hamuje korektę zanim dron ją przekroczy – patrzy na tempo zmian błędu. Cały cykl powtarza się 8000 razy na sekundę. Strojenie PID (tuning) to kluczowa umiejętność każdego pilota FPV – złe wartości oznaczają albo powolny, ociężały lot, albo niestabilne drgania (oscylacje).

Rozmiar ramy określa się przez średnicę śmigła w calach. W zastosowaniach bojowych dominują cztery klasy, różniące się ładownością, prędkością i przeznaczeniem taktycznym.

Kontroler lotu – FC

Kontroler lotu (*Flight Controller*, FC) to mózg drona. Odczytuje dane z żyroskopów i akcelerometrów MEMS, przetwarza je w czasie rzeczywistym i wysyła komendy do czterech regulatorów silników (ESC), by utrzymać zadany kurs i prędkość. W zastosowaniach FPV dominują układy STM32F4 lub STM32F7 – 32-bitowe mikrokontrolery ARM Cortex-M4/M7 taktowane z częstotliwością 168...216 MHz.

Pętla PID (*Proportional-Integral-Derivative*) kontrolera lotu działa z częstotliwością 8 kHz – to znaczy 8000 razy na sekundę koryguje wychylenie drona. Ta właśnie częstotliwość pozwala na manewry niemożliwe dla wolniejszych systemów i stanowi techniczne podstawy akrobatyki FPV.

Regulatory silników – ESC

Każdy z czterech silników wymaga osobnego regulatora ESC (*Electronic Speed Controller*). W nowoczesnych dronach FPV stosuje się moduły 4-in-1 ESC, które integrują cztery regulatory na jednej płytce i komunikują się z FC przez protokół DSHOT (cyfrowy, bez kalibracji, z potwierdzeniem odbioru). Układy ESC bazują najczęściej na STM32F0 lub STM32G0 z firmware BLHeli_32 lub AM32 – oba open-source.

Silniki BLDC

Silniki bezszczotkowe (*Brushless DC*) stosowane w dronach FPV to elektrycznie komutowane maszyny synchroniczne. Uzwojenie jest w statorze (nieruchome), magnesy neodymowe w rotorze (obracające się). Brak szczotek oznacza brak tarcia mechanicznego i brak zużycia – silnik wyścigowy po kilkuset godzinach lotu wygląda jak nowy.

Kluczowy parametr silnika to KV – liczba obrotów na volt przy biegu luzem. Silniki o wysokim KV (2500...3000 KV) kręcą się szybko z małymi śmigłami – typowe dla dronów wyścigowych i małych FPV. Silniki o niskim KV (1000...1500 KV) kręcą się wolniej z dużymi śmigłami – lepsza wydajność, większy udźwig, dłuższy czas lotu. Drony bojowe klasy 7”...10” używają silników 1500...1800 KV.

Łączność: video i sterowanie

System łączności drona FPV składa się z dwóch niezależnych kanałów. Kanał wideo przesyła obraz z kamery do gogli operatora – używa pasm 5,8 GHz (tradycyjne systemy analogowe jak Runcam i Foxeer) lub systemów cyfrowych jak DJI O3, Walksnail Avatar czy HDZero. Systemy cyfrowe oferują znacznie lepszą jakość obrazu, co w zastosowaniu bojowym przekłada się na precyzję naprowadzania.

Kanał sterowania (*RC link*) przesyła komendy od nadajnika operatora do drona. Tradycyjny ELRS (*ExpressLRS*) na 900 MHz lub 2,4 GHz oferuje zasięg kilku kilometrów przy opóźnieniu poniżej 5 ms. W zastosowaniach bojowych Ukraina zmodyfikowała firmware ELRS o funkcje utrudniające namierzenie i zagłuszenie: skakanie po częstotliwościach (*frequency hopping*), szyfrowanie ramek danych i redundancję nadajników.

Oprogramowanie: Betaflight idzie na wojnę

Firmware Betaflight – open source’owe oprogramowanie kontrolera lotu – jest punktem wyjścia dla wszystkich bojowych zastosowań FPV. Oryginalna wersja projektowana była dla sportów motorowych: maksymalna zwrotność, brak limitów prędkości, nastawienie na akrobatykę. Ukraińskie modyfikacje militarne zmieniają priorytety.

Kluczowe zmiany wprowadzane przez ukraińskich inżynierów to: tryb GPS Hold (dron unosi się w miejscu gdy operator zwalnia drążki – przydatne przy celowaniu), tryb *Return to Home* (powrót do punktu startu po utracie sygnału RC), limity prędkości w zależności od masy ładunku,

eprasa.pl a93bb99ddb



Porównanie gogli FPV używanych na ukraińskim froncie – DJI Goggles 2 vs Walksnail. Dwa najpopularniejsze systemy cyfrowego wideo FPV na froncie ukraińskim. DJI Goggles 2 oferuje obraz 1080p z opóźnieniem 22 ms. Walksnail Avatar jest tańszy i bardziej odporny na zakłócenia. Widoczna różnica w jakości obrazu ma bezpośredni wpływ na precyzję ataku. Źródło: Porównanie własne/DJI + Walksnail materiały prasowe, rcgroups.com forum, wątek „FPV goggle comparison 2025"

oraz integracja z modułami AI do automatycznego śledzenia celu.

Ten ostatni element – autonomiczne śledzenie celu – to najbardziej znacząca modyfikacja bojowa. Operator wskazuje cel na obrazie wideo przez kliknięcie lub narysowanie ramki. Algorytm detekcji obiektu (zazwyczaj wariant YOLO lub SSD skompilowany na Jetson Nano lub MaixCAM) śledzi wskazany obiekt i automatycznie koryguje kurs drona. Nawet jeśli operator całkowicie straci połączenie RC – dron doleci do celu samodzielnie.

Rosyjskie drony Vandal i łączność światłowodowa

Rosyjskie drony z serii Kniaź Wandal Nowogrodzki – w żargonie frontowym znane jako KVN lub po prostu Vandal – omówiliśmy w poprzednim rozdziale.

Dlaczego światłowód jest nietykalny dla jammera?

Jammer to urządzenie emitujące silny szum elektromagnetyczny na określonych częstotliwościach. Działa dlatego, że sygnał radiowy jest falą elektromagnetyczną – jammer zagłusza ją mocniejszym sygnałem na tej samej częstotliwości. Światłowód przesyła dane jako impulsy świetlne – fotony, nie elektrony i nie fale radiowe. Pole elektromagnetyczne jammera nie oddziałuje na fotony poruszające się w szklanym rdzeniu włókna. Jedynym sposobem na zakłócenie łączności światłowodowej jest fizyczne przecięcie kabla – co jest możliwe, ale wymaga precyzji, której eksplodujące w pobliżu pociski artylerii raczej nie zapewniają.

Głowice bojowe: trzy filozofie zniszczenia

Wybór głowicy bojowej dla drona FPV to decyzja taktyczna, nie techniczna. Każdy typ głowicy jest zoptymalizowany pod kątem innego rodzaju celu i innego środowiska walki. Ukraina opracowała i stosuje trzy podstawowe typy.

Termobaryczna – broń na bunkry

Głowica termobaryczna działa przez wytworzenie chmury łatwopalnego aerozolu, która jest następnie detonowana. Siła wybuchu jest znacznie większa niż tradycyjnego materiału wybuchowego o tej samej masie, ale rozłożona na większej przestrzeni. W otwartej przestrzeni efekt jest podobny do konwencjonalnej głowicy. W zamkniętych przestrzeniach – bunkrach, piwnicach, pojazdach – fala uderzeniowa odbija się od ścian i kumuluje, czyniąc głowicę termobaryczną szczególnie groźną dla ukrytej piechoty.

Odłamkowa – obszarowe rażenie piechoty

Głowica odłamkowa detonuje się na wysokości 2...3 metrów nad głowami żołnierzy (zapalnik zbliżeniowy lub czasowy), rozrzucając setki stalowych kulek lub gotowych odłamków na obszarze 10...25 metrów. Kluczową zaletą jest to, że żołnierze w okopach, chroniący się przed bezpośrednim trafieniem, są nadal narażeni na rażenie z góry. Rosja próbuje chronić się przed dronami siatkami i klatkami nad okopami – co skutkuje przed głowicami kumulacyjnymi, ale nie przed odłamkowymi detonowanymi nad siatką.

eprasa.pl a93bb99ddb

Trzy typy głowic bojowych dronów FPV – zasada działania

Termobaryczna	Odłamkowa	Kumulacyjna (HEAT)
• Detonacja nad celem	• Detonacja 2...3 m nad celem	• Odpalana z 2...3 m
• Tworzy chmurę aerozolu	• Setki stalowych kulek	• Strumień kumulacyjny przebija pancerz
• Błyskawiczna detonacja	• Rozrzut na dużym obszarze	• Pokonuje klatki i siatki Rosji
• Fala uderzeniowa w zamk. przestrzeni	• Skuteczna vs. nieopancerzona piechota	• Skuteczna vs. pojazdy opancerzone
• Skuteczna vs. bunkry, piwnice, okopy	• Trudna do ochrony siatkami	• Wymaga precyzyjnego trafienia
Masa: 150...500 g	Masa: 200...400 g	Masa: 300...600 g
Zasięg rażenia: 5...15 m	Zasięg rażenia: 10...25 m	Przebicie: 100...200 mm RHA

3. Trzy typy głowic bojowych dronów FPV – zasada działania i parametry. Źródło: Ukraine MOD, Conflict Armament Research, ISW 2025/2026, oprac. Młody Technik

Kumulacyjna HEAT – broń na pancerz

Głowica kumulacyjna (HEAT – *High Explosive Anti-Tank*) koncentruje energię wybuchu w wąskim strumieniu kumulacyjnym, który przebija pancerz stalowy. Standardowe głowice kumulacyjne stosowane na dronach FPV przebijają 100...200 mm stali walcowanej (RHA) – wystarczająco by pokonać pancerz boczny i tylny większości rosyjskich wozów bojowych.

Kluczowa innowacja Ukrainy to adaptacja techniki strzelania HEAT do specyfiki drona FPV: głowica odpalana jest z odległości 2...3 metrów od celu, a nie przy kontakcie. Likwiduje to problem rosyjskich siatek i klatek ochronnych – te fizyczne bariery efektywnie chronią przed bezpośrednim trafieniem, ale głowica odpalona kilka metrów przed siatką przebija ją strumieniem kumulacyjnym, który dociera do pojazdu z pełną energią.

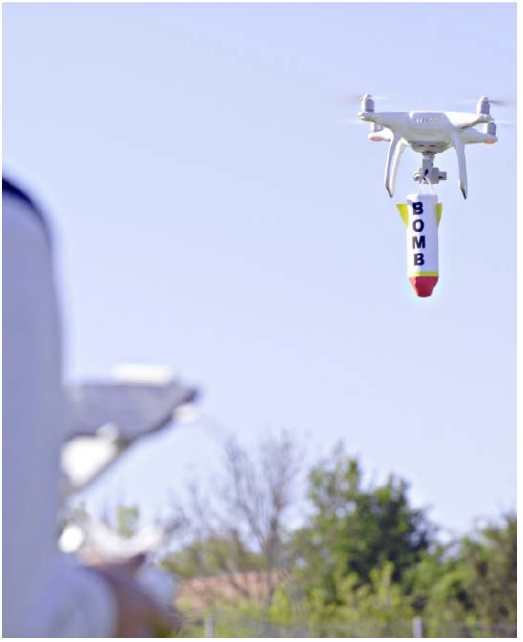
Liczby, które zmuszają do myślenia

Ukraina wyprodukowała w 2025 roku szacunkowo ponad milion dronów FPV. Rosja – około 700...800 tysięcy. Łącznie ponad półtora miliona maszyn w jednym roku. Dla porównania: łączna produkcja samolotów bojowych przez wszystkie kraje NATO wynosi kilkadziesiąt rocznie.

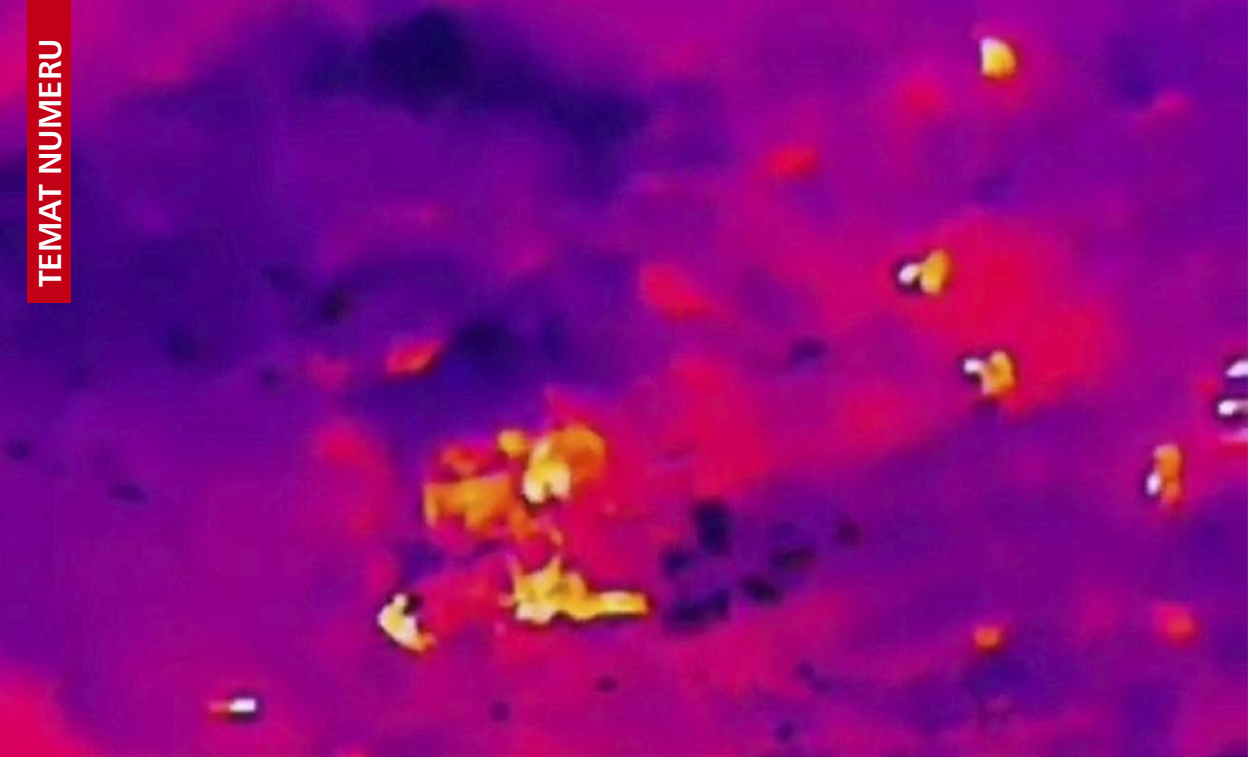
Koszt jednego ukraińskiego drona FPV produkowanego seryjnie to 200...400 dolarów. Pojazd opancerzony BMP-2 kosztuje w produkcji około 200 000 dolarów. Gdy dron niszczy BMP – stosunek kosztów wynosi 1:500 do 1:1000. To jest ekonomika, która zmienia kalkulacje militarne na poziomie strategicznym.

Jednocześnie warto zachować perspektywę: dron FPV to broń jednorazowego użytku i broń taktyczna. Doskonała do niszczenia pojazdów, umocnień i rażenia piechoty – ale niezdolna do zajęcia terenu, utrzymania pozycji ani operowania poza zasięgiem operatora. Rewolucja FPV jest realna, ale ma swoje granice – a te granice wyznaczają kierunek dalszego rozwoju technologii. ■

Paul Bavarian



eprasa.pl a93bb99ddb



Obraz termowizyjny z drona – nocny zwiad, front wschodni 2025. Źródło: Telegram

Oczy i uszy nad polem walki

Drony zwiadowcze, termowizja i rozpoznawanie celów przez AI

Rok 2003, Irak. Amerykański pilot helikoptera Apache przez pięć minut śledził kolumnę pojazdów, zanim ustalił, że to cywile, nie bojownicy. Rok 2025, Ukraina. Rosyjski dron Zała rozpoznaje ukraiński czołg z odległości półtora kilometra w ciągu trzech sekund, identyfikując go automatycznie po sylwetce termicznej i proporcjach kadłuba. Dwadzieścia dwa lata. Tyle czasu zajęło przeniesienie rozpoznawania celów z żołnierza do algorytmu

Dron zwiadowczy to oczy całego systemu bojowego. Bez informacji o tym, gdzie jest cel, żaden kamikaze ani FPV nie ma czego atakować. Bez bieżącego obrazu pola walki artyleria strzela w ciemno. Właśnie dlatego drony zwiadowcze są paradoksalnie ważniejsze od bardziej spektakularnych dronów uderzeniowych – i właśnie dlatego są pierwszym celem systemów antydronowych.

W tym artykule przyglądamy się technologiom, które czynią współczesny dron zwiadowczy tak groźnym narzędziem: optyce i termowizji, algorytmom AI do detekcji celów oraz integracji z systemami ognia.

eprasa.pl a93bb99ddb

Widmo elektromagnetyczne jako broń

Człowiek widzi w bardzo wąskim oknie widma elektromagnetycznego – od około 380 do 740 nanometrów. To maleńki wycinek ogromnej skali promieniowania, od fal radiowych do promieniowania gamma. Inżynierowie rozszerzają to okno, bo każde pasmo widma ujawnia inne informacje o terenie i celach.

Kamera dzienna – Sony Starvis 2 i jej wojskowe życie

Moduły Sony Starvis 2 to sensory CMOS produkowane z myślą o kamerach monitoringu i rejestratorach wideo. Ich kluczową cechą jest technologia back-illuminated sensor (BSI) – w odróżnieniu od klasycznych sensorów CMOS, warstwa fotodiod znajduje się od strony padającego światła, bez przeszkadzających warstw tranzystorów. Rezultat to wyjątkowo wysoka czułość w warunkach słabego oświetlenia i zdolność rejestrowania promieniowania bliskiej podczerwieni (NIR, 700...1000 nm).

W zastosowaniu bojowym NIR ma konkretną wartość taktyczną: kamuflaż w paśmie widzialnym nie działa w NIR. Liście zielone wyglądają w NIR na jasno-białe, bo chlorofil silnie odbija promieniowanie bliskiej podczerwieni. Pojazd ukryty w zaroślach – niewidoczny gołym okiem – może być wyraźnie widoczny na obrazie NIR. Właśnie dlatego nowoczesne mundury wojskowe i siatki maskujące muszą być projektowane z uwzględnieniem charakterystyki odbicia IR, nie tylko koloru widzialnego.

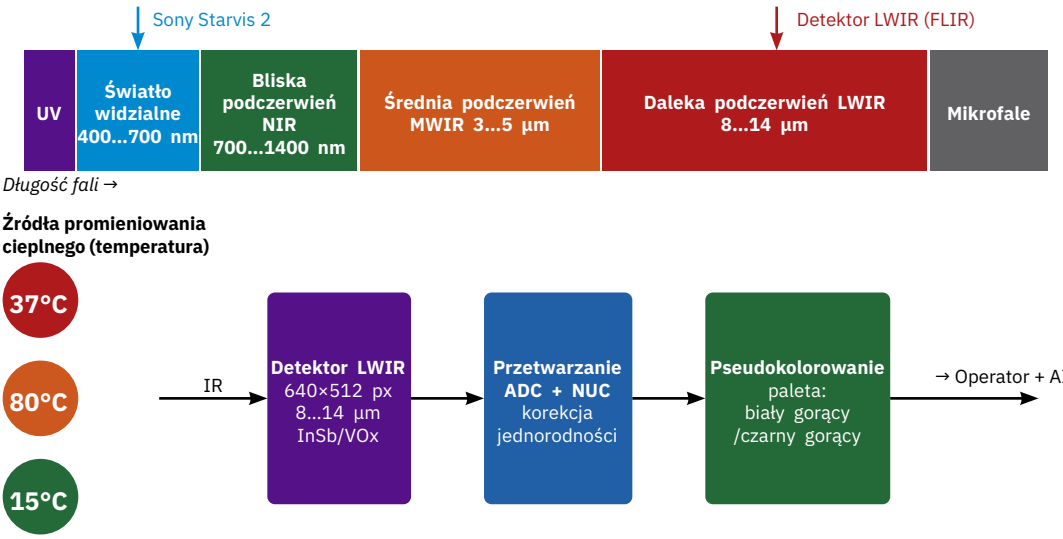
Termowizja – czytanie ciepła

Każdy obiekt o temperaturze powyżej zera bezwzględnego emituje promieniowanie podczerwone. Im wyższa temperatura, tym krótszą falą. Człowiek o temperaturze ciała 37°C emituje maksimum promieniowania przy długości fali około 9,5 mikrometra – w samym centrum okna atmosferycznego LWIR (*Long Wave Infrared*, 8...14 µm). To nie przypadek ewolucyjny, ale zbieżność fizyczna: nasze oko biologicznie nie może zobaczyć własnego promieniowania cieplnego.

Detektor LWIR rejestruje to promieniowanie i zamienia je na obraz termiczny, gdzie każdy piksel odpowiada temperaturze fragmentu sceny. Kluczowe parametry detektora to: rozdzielczość (640×512 px dla systemów wojskowych, 384×288 px dla tańszych), czułość termiczna NETD (*Noise Equivalent Temperature Difference*) – lepsza kamera ma NETD poniżej 50 mK, czyli rozróżnia różnice temperatury mniejsze niż 0,05°C – oraz pasmo spektralne (LWIR dla detekcji ludzi i pojazdów, MWIR dla detekcji ciepłych silników odrzutowych).

Praktyczne implikacje bojowe są daleko idące. Dron z kamerą LWIR widzi nocą równie dobrze jak

Termowizja wojskowa – fizyka i zastosowanie na polu walki



1. Fizyka termowizji: widmo elektromagnetyczne i schemat przetwarzania obrazu IR. Oprac. własne na podst. dokumentacji FLIR Systems, DRS Technologies, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Jak działa detektor mikrobolometru w kamerze termicznej?
Tanie i lekkie kamery LWIR używają detektorów mikrobolometrycznych – matryc maleńkich rezystorów zmieniających opór pod wpływem ciepła. Każdy piksel to miniaturowy rezystor zawieszony na cienkich nóżkach, izolowany termicznie od podłoża. Gdy pada na niego promieniowanie IR, temperatura rezystora rośnie, opór zmienia się, a układ pomiarowy rejestruje zmianę. Ogromna zaleta: nie wymaga chłodzenia kriogenicznego – działa w temperaturze pokojowej. Wada: gorsza czułość niż drogie detektory chłodzone (InSb, HgCdTe), które wymagają chłodzenia do temperatury ciekłego azotu (77 K). Wojskowe kamery wysokiej klasy (Zała, Supercam, Lyutyi) używają detektorów chłodzonych, bo lepsza czułość NETD bezpośrednio przekłada się na zasięg wykrycia.

w dzień – a w niektórych warunkach lepiej, bo ciemność eliminuje refleksy i cienie, które mogłyby maskować cel. Żołnierz ukryty w okopie, niewidoczny dla kamery dziennej, jest doskonale widoczny na obrazie termicznym: jego ciało emituje ciepło przez kilkanaście minut nawet po wejściu pod ziemię. Pojazd opancerzony, który stał w miejscu kilka godzin, wciąż ma gorący silnik i skrzynię biegów – czytelna sygnatura termiczna dla algorytmu AI.

AI na pokładzie: od pikseli do decyzji

Mieć kamerę z doskonałym obrazem to jedno. Przetworzyć ten obraz na użyteczną informację taktyczną w czasie rzeczywistym, bez operatora wpatrującego się w ekran przez osiem godzin – to zupełnie inny problem inżynierski. I właśnie ten problem rozwiązuje AI na pokładzie drona zwiadowczego.

Detekcja obiektów – YOLO i jego potomkowie

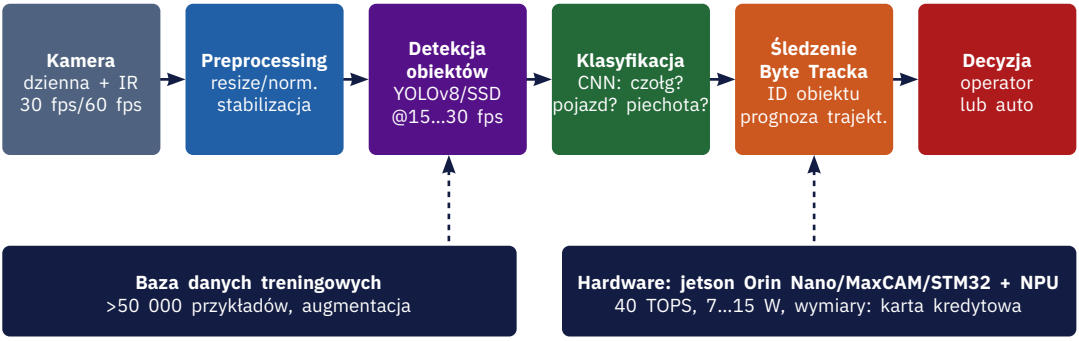
Algorytm YOLOv8 (*You Only Look Once*, wersja 8) to obecnie najbardziej popularna architektura sieci neuronowej do detekcji obiektów w czasie rzeczywistym. Przetwarza cały obraz jednym przejściem przez sieć (stąd nazwa), generując jednocześnie bounding boxy (prostokąty otaczające wykryte obiekty) i etykiety klas z przypisanymi prawdopodobieństwami.

Na sprzęcie klasy Jetson Orin Nano YOLOv8n (wersja nano, najmniejsza) przetwarza obraz 640×640 pikseli z prędkością około 30 klatek na sekundę – co jest wystarczające do śledzenia celów w czasie rzeczywistym. Większe wersje (YOLOv8s, m, l) oferują wyższą dokładność kosztem szybkości. Lżejsze architektury jak MobileNet-SSD sprawdzają się na słabszym sprzęcie – w tym na chińskich MaixCAM stosowanych w tańszych ukraińskich platformach.

Bazy danych treningowych – sekret przewagi

Algorytm jest tak dobry, jak dane, na których był trenowany. To prosta prawda, która w kontekście wojskowym staje się strategicznym sekretem. Ukraina zbudowała jedną z największych na świecie baz danych obrazów sprzętu wojskowego z adnotacjami – setki tysięcy zdjęć rosyjskich czołgów, wozów opancerzonych, zestawów artyleryjskich i żołnierzy, oznaczonych ramkami detekcji i maskami segmentacji.

Potok przetwarzania AI do detekcji i klasyfikacji celów bojowych



2. Potok przetwarzania AI do detekcji i klasyfikacji celów bojowych – od kamery do decyzji. Oprac. własne na podst. dokumentacji Nvidia Jetson, Sipeed MaixCAM, VGI Kyiv 2025/2026, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Źródła tych danych to przede wszystkim: nagrania z dronów FPV i zwiadowczych z pierwszych lat konfliktu (przeanalizowane i zaetykietowane przez wolontariuszy), zdjęcia satelitarne z Maxar i Planet Labs, oraz obrazy z otwartych baz danych wojskowych. Kluczowa jest też augmentacja danych – sztuczne rozszerzanie bazy przez obroty, zmiany jasności, dodawanie szumu i symulację różnych warunków atmosferycznych. Dzięki temu model, który nigdy nie widział rosyjskiego czołgu w gęstej mgle, nauczył się go rozpoznawać na podstawie wariantów treningowych.

Rozpoznawanie twarzy z 1,5 kilometra

Rosyjski dron Zala 421-16E w swojej najnowszej wersji ma zaawansowany układ optyczny z zoomem pozwalającym na detekcję sylwetek ludzkich z wysokości 1,5 km. Warto tu precyzyjnie rozróżnić dwa pojęcia, które często są mylone nawet w poważnych mediach: detekcja twarzy (*face detection*) – algorytm stwierdza „tu jest twarz ludzka" – działa z dużych odległości, nawet przy rozdzielczości kilkunastu pikseli na twarz. Rozpoznawanie twarzy (*face recognition*) – algorytm stwierdza „ta twarz należy do konkretnej osoby z bazy danych" – wymaga znacznie wyższej rozdzielczości, minimum kilkudziesięciu pikseli.

Z odległości 1,5 km twarz człowieka zajmuje na sensorze prawdopodobnie 20...40 pikseli – to absolutna granica dla detekcji. Algorytm może powiedzieć „jest tam człowiek" i „stoi/siedzi/leży", ale identyfikacja konkretnej osoby z imienia i nazwiska na tej podstawie jest przy obecnej technologii bardzo wątpliwa lub niemożliwa. Co producent Zaly realnie oferuje to zatem: precyzyjna detekcja i klasyfikacja sylwetek ludzkich vs. pojazdy vs. budynki z dużej odległości, śledzenie przemieszczania się wykrytych osób, oraz – ewentualnie – weryfikacja tożsamości tylko w sprzyjających warunkach i przy bliższych dystansach, gdy dron obniży pułap.

Nowoczesne sieci neuronowe do tego zadania (warianty FaceNet lub ArcFace) generują 512-wymiarowy wektor cech dla każdej wykrytej twarzy. Baza twarzy, z którą porównuje system, to w przypadku Rosji prawdopodobnie dane z mediów społecznościowych ukraińskich użytkowników. Ale ta identyfikacja – jeśli w ogóle jest możliwa na tym pułapie – wymaga dobrych warunków oświetleniowych i patrzenia wprost w kamerę.



Rosyjski dron Zala 421-16E – widok układu optycznego (wymiennego – w zależności od konfiguracji i przeznaczenia). Stabilizowany gimbal z układem kamer dziennych i termowizyjnych. Charakterystyczna głowica sferyczna zawiera kamerę dzienną z zoomem 30×, moduł LWIR i laserowy dalmierz. Dron ma profil latającego skrzydła – trudniejszy do wykrycia przez radary. Źródło: dzięki uprzejmości Vitaly V. Kuzmin

Integracja ze środkami ognia: jak zwiadowca naprowadza artylerię

Sam w sobie dron zwiadowczy jest tylko kamerą w powietrzu. Jego wartość bojowa wynika z integracji z systemami ognia – artylerii, rakiet i własnych dronów uderzeniowych. Ta integracja odbywa się na kilku poziomach, i jest obszarem, gdzie Rosja i Ukraina rozwijają różne filozofie.

System Krasnopol i oświetlacz laserowy

Rosyjski Orłan-30 przenosi na pokładzie oświetlacz laserowy – urządzenie emitujące wiązkę laserową o konkretnej długości fali (zazwyczaj 1064 nm) skierowaną na cel. Pociski precyzyjne serii 2K25 Krasnopol, wystrzeliwane z dział kalibru 152 mm lub 155 mm, wyposażone są w głowicę samonaprowadzającą się na odbitą plamkę laserową. Operator drona świeci laserem w cel przez ostatnie kilkanaście sekund lotu pocisku – ten koryguje kurs i trafia w plamkę z dokładnością do kilku metrów.

Ta metoda jest prosta, sprawdzona i skuteczna. Ograniczeniem jest konieczność utrzymywania kontaktu wzrokowego z celem przez cały czas naprowadzania – co w warunkach dymu, mgły lub silnych wiatrów może być

eprasa.pl a93bb99ddb

niemożliwe. Dlatego najnowsze warianty Krasnopola mają alternatywne tryby naprowadzania GPS.

Ukraiński model: dane, nie laser

Ukraina, mając dostęp do zachodniej elektroniki i oprogramowania, poszła w kierunku integracji przez dane. Dron zwiadowczy PD-2 lub Lyutyi ISR identyfikuje cel, określa jego współrzędne z dokładnością do kilku metrów (GPS + INS + korekcja wizualna) i przesyła te dane bezpośrednio do systemu artyleryjskiego – który automatycznie oblicza dane ogniowe i naprowadza lufę. Człowiek zatwierdza strzał, ale obliczenia robi komputer.

Ta filozofia ma kilka zalet nad systemem laserowym: nie wymaga obecności drona nad celem podczas samego strzału, jest odporna na dym i mgłę (GPS działa niezależnie od widoczności), i pozwala na szybsze tempo ognia, bo dane do kolejnego strzału mogą spłynąć zanim pocisk poprzedniego doleci do celu.

Orłan-10 i Orłan-30 – rosyjski koń roboczy

Orłan-10 to podstawowy rosyjski dron zwiadowczy – prosta, tania i masowo produkowana maszyna. Płatowiec jest na tyle prosty, że pozwala na produkcję 250...350 sztuk miesięcznie. Wadą jest głośny silnik spalinowy – Ukraina zbudowała sieć czujników akustycznych właśnie pod kątem wykrywania Orłanów. Mimo to Orłan-10 pozostaje fundamentem rosyjskiego rozpoznania taktycznego, naprowadzając artylerię na ukraińskie pozycje setki razy dziennie.

Orłan-30 to wariant z oświetlaczem laserowym, używany do naprowadzania pocisków Krasnopol. Oba modele startują z katapulty pneumatycznej i lądują na spadochronie – brak kół w podwoziu upraszcza konstrukcję i umożliwia operowanie z nieutwardzonego terenu.

Zała 421-16E – cichy i inteligentny

Zała to zupełnie inna filozofia: elektryczny, cichy dron o profilu latającego skrzydła, produkowany przez firmę zależną Kałasznikow. Napęd elektryczny ogranicza zasięg do 70 km, ale cena jest akceptowalna – dron jest prawie niesłyszalny i trudny do wykrycia radarami ze względu na profil latającego skrzydła. Zaawansowana optyka z rozpoznawaniem twarzy czyni Załę platformą bardziej zaawansowaną od Orłana, ale i droższą.

Kluczową rolą Zały jest współpraca z pociskami Lancet – krążącą amunicją nurkującą wyposażoną we własne systemy AI do identyfikacji celów. Zała lokalizuje i klasyfikuje cel, przesyła koordynaty do Lanceta, który nurkuje z prędkością 300 km/h korygując kurs w ostatniej fazie przez własną kamerę. To dwustopniowy system AI, gdzie jeden algorytm wspiera drugi.

Supercam S350 – ukraiński kłopot

Supercam S350 to zdaniem wielu analityków najgroźniejszy rosyjski dron zwiadowczy

Porównanie głównych platform zwiadowczych UAV – front ukraiński 2025/2026

Platforma	Strona	Zasięg (km)	Czas lotu (h)	Pułap (m)	Napęd	Kluczowy sensor	Rola bojowa
Orłan-10	Rosja	120	16	5000	Spalinowy	Kamera HD + kompas	Naprowadzanie artylerii
Orłan-30	Rosja	120	16	5000	Spalinowy	Oświetlacz laserowy	Naprowadzanie pocisków Krasnopol
Zała 421-16E	Rosja	70	4	3500	Elektryczny	Optyka HD + detekcja sylwetek	Zwiad + napr. Lancetów
Supercam S350	Rosja	100	4.5	5000	Elektryczny	Optyka precyz. + mesh	Autonom. rozp. celów
Lyutyi ISR	Ukraina	400	10	4000	Elektryczny	Kamera 4K + termowizja	Zwiad głęboki + BDA
Bober (ISR)	Ukraina	800	8	4500	Spalinowy	Nawigacja wizyjna + IR	Rozp. celów + atak precyz.
PD-2	Ukraina	200	12	5500	Elektryczny	Kamera + IR + LIDAR opt.	Zwiad takt. + korygowanie

Platformy rosyjskie
Platformy ukraińskie

3. Porównanie głównych platform zwiadowczych UAV na froncie ukraińskim 2025/2026. BDA = Battle Damage Assessment. Źródło: Oryx, ISW, Ukraine MOD, OSINT 2025/2026, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



pod względem technicznym. Elektryczny napęd z baterią pozwalającą na 4...5 godzin lotu, doskonała optyka, pułap do 5 km i zaawansowany system łączności odporny na zagłuszanie – to zestaw cech, który czyni go szczególnie trudnym do zestrzelenia i wykrycia. Może tworzyć sieć mesh z innymi Supercamami, zwiększając zasięg i odporność łączności. Wewnątrz znajdziemy chińskie silniki Tiger Motors, sensory optyczne z Korei Południowej i mikrokontrolery z USA i Europy – typowa mozaika pokonująca sankcje przez pośredników.

Mesh radiowy na wojnie – jak drony komunikują się między sobą?

Mesh to sieć, w której każdy węzeł jest jednocześnie odbiornikiem, nadajnikiem i retransmiterem. W kontekście dronów oznacza to: dron A, który jest poza zasięgiem stacji naziemnej, może wysyłać dane przez drona B, który jest bliżej. Algorytm routingu (zazwyczaj wariant OLSR lub BATMAN) automatycznie wybiera optymalną ścieżkę. Zalety wojskowe są oczywiste: zniszczenie jednego drona nie przerywa komunikacji, zasięg sieci rozciąga się wraz z liczbą węzłów. Supercam S350, Geran-5 i ukraińskie drony Baba Jaga używają właśnie tej architektury – sieć dronów działa jak autonomiczny internet.

Dylematy i granice

Drony zwiadowcze z AI rodzą pytania, które wykraczają poza inżynierię. Jeśli system automatycznie identyfikuje cele i przesyła dane do artylerii, a człowiek ma sekundę na zatwierdzenie strzału – czy człowiek jest naprawdę w pętli decyzyjnej? A jeśli latencja łączności wynosi kilka sekund i artyleria czeka, napięta gotowość bojowa tworzy presję na jak najszybsze zatwierdzenie – czy nie jest tak, że decyzja jest w istocie autonomiczna?

To nie jest pytanie filozoficzne. To pytanie inżynierskie o projektowanie interfejsu człowiek-maszyna w systemach bojowych. I jest to pytanie, na które zarówno Rosja jak i Ukraina odpowiadają przez praktykę – nie przez teorię.

Z czysto technicznego punktu widzenia: drony zwiadowcze z AI do detekcji celów są dziś standardem na froncie ukraińskim. Pytanie nie brzmi już czy – ale jak szybko i jak autonomicznie. Kierunek jest jasny: kolejne lata przyniosą więcej autonomii, mniejsze drony, lepsze sensory i szybsze pętle decyzyjne. Dla inżynierów systemów embedded i AI to jeden z najdynamiczniej rozwijających się obszarów zastosowań – choć nie taki, o jakim większość z nich myślała zaczynając karierę. ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb



Rój kontra armia

Algorytmy rojowe, AI do zarządzania wieloma maszynami i wyścig obliczeniowy

W teorii gier jest takie pojęcie: nasycenie obrony. Oznacza sytuację, gdy liczba jednoczesnych zagrożeń przekracza zdolność systemu obronnego do ich neutralizacji. Jedno zagrożenie – jeden interceptor. Dziesięć zagrożeń jednocześnie – system musi wybierać. Sto zagrożeń – system się załamuje, bo nie jest w stanie przetworzyć tylu celów równocześnie. Właśnie na tej zasadzie działa taktyka rojów dronów. Nie chodzi o to, żeby każdy dron był doskonały. Chodzi o to, żeby było ich za dużo.

Rój dronów to coś więcej niż wiele dronów lecących jednocześnie. To skoordynowany system, w którym maszyny wymieniają informacje, dzielą zadania i adaptują zachowanie w odpowiedzi na to, co dzieje się z innymi elementami roju. Różnica między rojem a falą jest taka sama, jak różnica między kolektywną inteligencją mrówek a przypadkowym tłumem – i ta różnica jest kluczowa technicznie.

W tym artykule przyglądamy się architekturze systemów rojowych, algorytmom koordynacji, wyścigowi obliczeniowemu o supremację AI na pokładzie drona oraz temu, jak daleko Ukraina i Rosja posunęły się w kierunku prawdziwej autonomii rojowej.

Czym jest rój – definicja techniczna

W nomenklaturze technicznej rój dronów (drone swarm) definiuje się przez trzy cechy: decentralizację, koordynację i emergencję. Decentralizacja oznacza, że nie ma jednej

eprasa.pl a93bb99ddb

jednostki sterującej – każdy dron podejmuje decyzje lokalnie na podstawie informacji od sąsiadów i własnych sensorów. Koordynacja oznacza, że te lokalne decyzje prowadzą do globalnie spójnego zachowania. Emergencja oznacza, że złożone zachowanie roju wyłania się z prostych reguł obowiązujących każdy element – podobnie jak skomplikowane wzory murmuracji (wirowania) szpaków wynikają z trzech prostych reguł: trzymaj się blisko sąsiadów, nie zderzaj się, leć w tym samym kierunku.

W praktyce bojowej czyste roje w pełni zdecentralizowane są rzadkością – wymagają zaawansowanego oprogramowania i niezawodnej komunikacji między maszynami. Większość obecnych systemów to roje hybrydowe: operator wydaje rozkazy misji, a drony autonomicznie koordynują wykonanie.

Dlaczego rój bije pojedynczego drona

Intuicja podpowiada, że jeden zaawansowany dron jest lepszy od dziesięciu prostych. Rzeczywistość pola walki jest odwrotna – i można to wykazać matematycznie.

Redundancja – rój nie ma pojedynczego punktu awarii

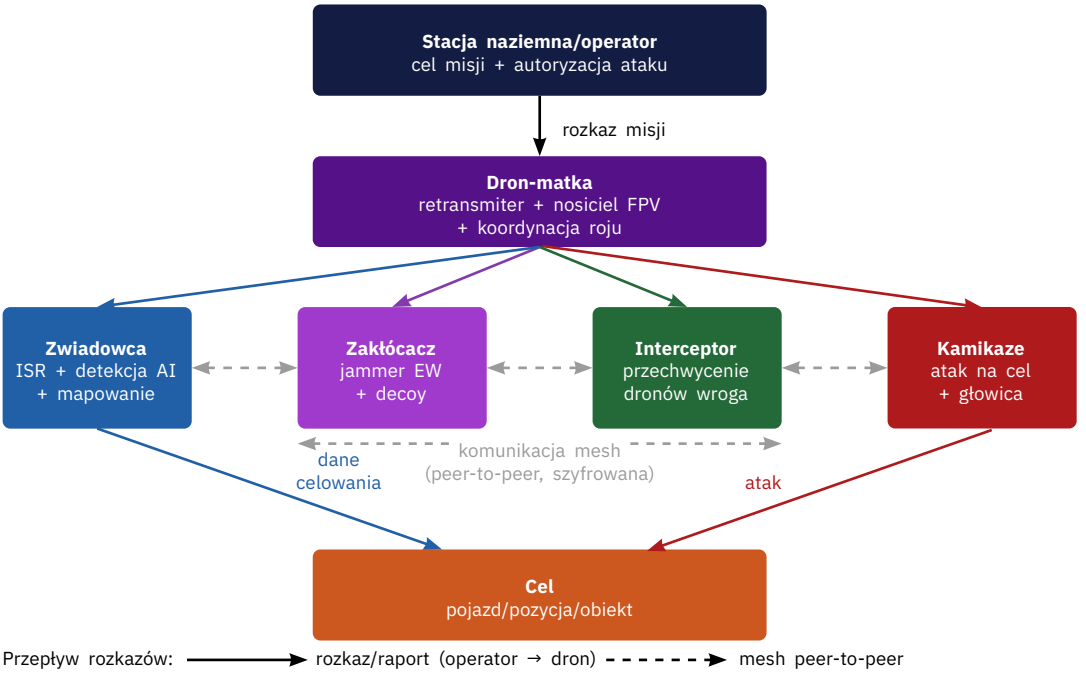
Zaawansowany dron kosztuje kilkadziesiąt tysięcy dolarów i jest pojedynczym celem. Jedno trafienie interceptorem, jeden skuteczny jammer – misja zakończona niepowodzeniem. Rój szesnastu prostych dronów po sto dolarów każdy kosztuje tyle samo, co jeden zaawansowany – ale zestrzelenie trzech z nich nie zatrzymuje misji. Pozostałe trzynaście kontynuuje. Żeby zneutralizować rój, trzeba zneutralizować wystarczająco dużo jego elementów naraz – a to wymaga wielokrotnie więcej interceptorów i amunicji.

Nasycenie obrony – zbyt wiele celów naraz

Każdy system antydronowy ma ograniczoną przepustowość: radar może śledzić określoną liczbę celów jednocześnie, jammer może zakłócać sygnał w ograniczonej liczbie pasm, interceptor może przechwycić jeden cel na raz. Rój projektuje się tak, żeby liczba jednoczesnych celów przekroczyła tę przepustowość.

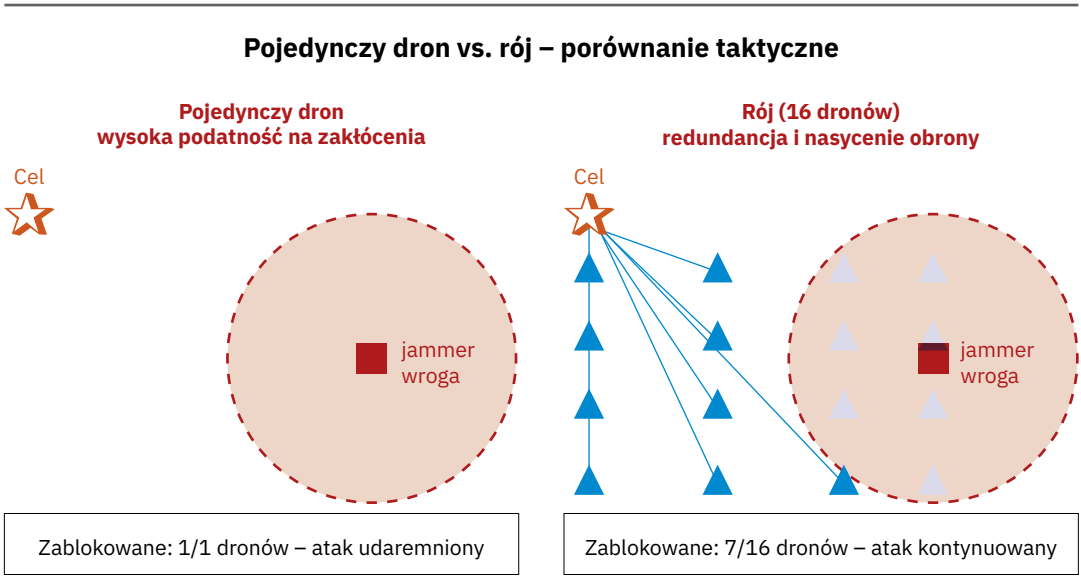
Ukraiński dron Baba Jaga używany jako platforma-nosiciel wypuszcza kilkanaście mniejszych

Architektura roju dronów – podział ról i przepływ informacji



1. Architektura roju dronów – podział ról i przepływ informacji między elementami systemu. Oprac. własne na podst. Atlantic Council 2026, VGI Kyiv, ISW, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



2. Pojedynczy dron vs rój 16 dronów – efekt nasycenia obrony i redundancji przy aktywnym jammerze. Oprac. własne na podst. The Economist 2026, Defender Media 2026, Młody Technik

dronów FPV w fazie ataku. Rosyjski operator systemu antydronowego nagle musi radzić sobie z szesnastoma celami zamiast jednym. Nawet jeśli jego system przechwytuje osiem – osiem dociera do celu. To jest nasycenie obrony w praktyce.

Podział zadań – specjalizacja wewnątrz roju

W zaawansowanych systemach rojowych drony dzielą między siebie zadania według specjalizacji: zwiadowcy lokalizują i klasyfikują cele przekazując koordynaty atakującym kamikaze, zakłócacze elektroniczne (*EW drones*) tłumią systemy antydronowe wroga, podczas gdy kamikaze podlatują od innej strony, interceptory chronią rój przed dronami przechwytującymi wroga. Taki podział dramatycznie zwiększa skuteczność systemu jako całości.

Algorytmy koordynacji – matematyka roju

Stigmergia – koordynacja przez środowisko

Mrówki koordynują budowę mrowiska bez żadnego centralnego planowania – przez feromony. Każda mrówka reaguje na ślady chemiczne zostawione przez inne i zostawia własne. Złożone struktury wyłaniają się z lokalnych interakcji. Ten mechanizm nazywa się stigmergią i jest inspiracją dla algorytmów rojowych.

W systemach dronowych odpowiednikiem feromonów są dane w przestrzeni wspólnej (*shared state*): informacje o pozycji, stanie baterii i aktualnym zadaniu każdego drona dostępne dla wszystkich elementów roju przez sieć mesh. Dron, który widzi że sąsiad zaatakował cel A, nie leci do celu A – wybiera cel B. Ta prosta reguła prowadzi do efektywnego podziału zadań bez centralnej koordynacji.

MARL – wieloagentowe uczenie przez wzmocnienie

Najbardziej zaawansowane systemy rojowe używają MARL (*Multi-Agent Reinforcement Learning*) – metody uczenia maszynowego, gdzie wiele agentów (dronów) uczy się jednocześnie przez interakcję ze środowiskiem i wzajemnie ze sobą. Każdy dron ma własną sieć neuronową podejmującą decyzje (*policy network*), ale nagrody są częściowo kolektywne – dron dostaje nagrodę nie tylko za własne sukcesy, ale też za sukcesy roju jako całości.

Trenowanie MARL jest obliczeniowo kosztowne i odbywa się w symulacji, nie w powietrzu. Firmy obronne i laboratoria badawcze używają środowisk symulacyjnych jak OpenAI Gym, Microsoft AirSim czy dedykowanych symulatorów wojskowych do trenowania modeli, które następnie są wgrywane na fizyczne drony. Ukraina korzysta tu z pomocy zachodnich firm technologicznych – kilka z nich otwarcie przyznało się do współpracy z ukraińskim MON przy projektach AI dla dronów.

eprasa.pl a93bb99ddb

Pseudokod prostego algorytmu rojowego

```
// Każdy dron wykonuje w pętli:
stan_roju = odbierz_mesh()                                  // co robią sąsiedzi?
cele_dostępne = zwiadowca.get_targets()
cele_zajęte = [d.cel for d in stan_roju if d.status == „atakuje”]
mój_cel = wybierz_najbliższy(cele_dostępne – cele_zajęte)
if mój_cel is None:
   zachowanie = KRĄŻENIE                                    // czekaj na nowe dane
else:
    nadaj_mesh(cel=mój_cel, status=”atakuje”)
    leć_do(mój_cel)                                         // nawigacja + unikanie kolizji
// Efekt: drony automatycznie rozdzielają cele bez centralnego planowania
```

Wyścig obliczeniowy: compute war

Każda dodatkowa operacja AI na pokładzie drona wymaga procesora. A procesor waży, pobiera energię i kosztuje – a każdy gram masy i każdy miliwat mocy to krótszy czas lotu i mniejszy ładunek bojowy. Dlatego wybór sprzętu obliczeniowego to jeden z kluczowych kompromisów w projektowaniu drona z AI.

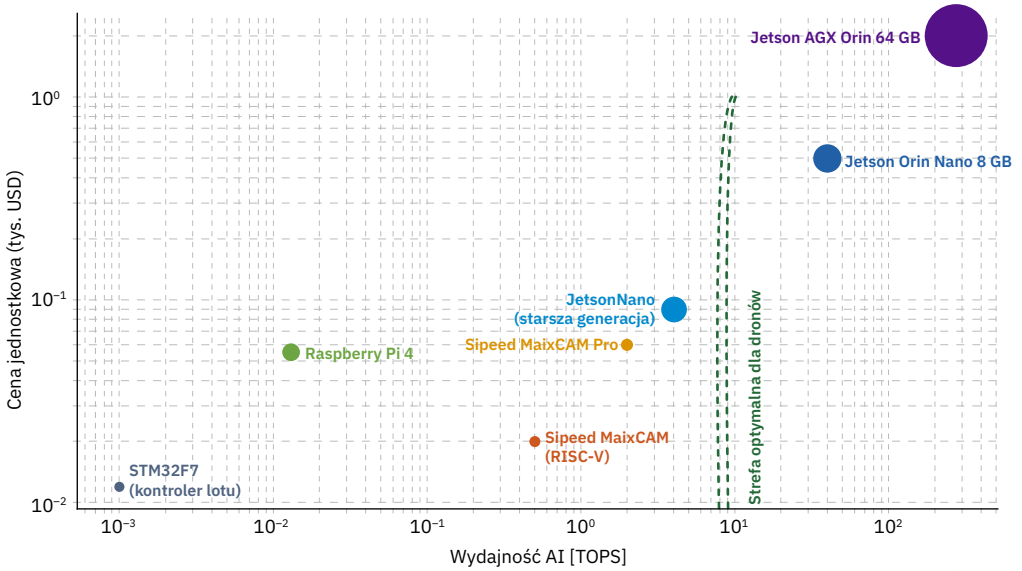
Nvidia Jetson – flagowiec i jego ograniczenia

Jetson Orin Nano oferuje 40 TOPS przy masie 155 g i poborze mocy 7...15 W. To doskonały stosunek wydajności do masy – ale cena 500 USD za sztukę i trudności z legalnym pozyskaniem (sankcje eksportowe) czynią go niedostępnym dla masowej produkcji. Ukraina stosuje go w zaawansowanych platformach zwiadowczych i precyzyjnych dronach uderzeniowych. Rosja przemyca go przez pośredników – z rosnącymi trudnościami i kosztami.

MaixCAM – tańsza alternatywa z Chin

Sipeed MaixCAM Pro to moduł oparty na układzie Kendryte K230 z rdzeniami RISC-V i dedykowanym akceleratorem KPU (*Knowledge Processing Unit*) o wydajności 2 TOPS. Kosztuje około 60 USD, waży 17 g i pobiera poniżej 2 W. Dla prostych zadań

Compute war: wydajność AI vs. cena – moduły obliczeniowe dronów 2025/2026 (rozmiar krążka = masa modułu)



3. Wydajność AI (TOPS) vs cena vs masa – moduły obliczeniowe stosowane w dronach 2025/2026. Źródło: dane producenta Nvidia, Sipeed, STMicroelectronics, oprac. Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

detekcji obiektów – śledzenie celu, omijanie przeszkód, rozpoznawanie konkretnej klasy pojazdów – jest wystarczający i dostępny bez ograniczeń eksportowych.

Ukraińskie drony FPV coraz częściej wyposażane są właśnie w MaixCAM lub podobne moduły chińskie. Operator wskazuje cel przez dotknięcie ekranu na nadajniku – moduł AI przejmuje śledzenie i koryguje kurs drona automatycznie. To rozwiązanie, które rok temu wymagało Jetsona, dziś działa na module za 60 dolarów.

tinyML – AI bez procesora GPU

Najnowszym trendem jest tinyML – uruchamianie zredukowanych modeli uczenia maszynowego na bardzo słabych mikroprocesorach, nawet STM32. Modele skwantyzowane do INT8 lub INT4 (zamiast standardowego FP32) mają czterokrotnie mniejsze zapotrzebowanie na pamięć i obliczenia, a dla prostych zadań (detekcja ruchu, klasyfikacja obiektu do jednej z kilku klas) są zaskakująco skuteczne.

Biblioteki TFLite Micro (*TensorFlow Lite* dla mikrokontrolerów) i ONNX Runtime Mobile pozwalają uruchamiać takie modele na STM32H7 lub RP2040. Efekt? Autonomiczne śledzenie celu na procesorze kosztującym 3 dolary. Masa praktycznie zerowa, pobór mocy poniżej 100 mW. To jest kierunek, w którym zmierza AI na dronach FPV – nie w stronę coraz potężniejszych GPU, ale coraz efektywniejszych algorytmów na coraz słabszym sprzęcie.

Baba Jaga jako matka roju

Ukraiński ciężki heksakopter Baba Jaga – oparty na zmodyfikowanym dronie rolniczym DJI Agras T40 – pełni rolę latającej platformy-matki. Unosi się na wysokości 300...500 m nad strefą działań, przenosząc 4...8 mniejszych dronów FPV przyczepionych do ramy. W momencie ataku zwalnia drony, które równocześnie nurkują na cele, i jednocześnie działa jako latająca wieża retransmisyjna, zapewniając operatorom łączność z dronami poza zasięgiem bezpośredniej komunikacji naziemnej.

Baba Jaga z terminalem Starlink oferuje w tej roli zasadniczo nieograniczony zasięg łączności – ograniczony jedynie pojemnością akumulatorów, która pozwala na 30...45 minut lotu z ładunkiem. To wystarczy na przeprowadzenie skoordynowanego ataku rojowego i powrót.

Rosyjska odpowiedź – drony przechwytujące w siatce

Rosja odpowiedziała na taktykę rojową Ukrainy własnym systemem dronów przechwytujących pracujących w koordynacji. Drony Volk-18 z wyrzutnikami siatek kevlarowych i drony FPV ze wzmocnionymi ramionami (taranujące ukraińskie drony przez zderzenie) działają w parach lub trójkach: jeden naprowadza, drugi atakuje. To nie jest pełny rój – ale to koordynacja wielu platform do jednego zadania, czyli pierwszy krok w tym kierunku.

Na początku 2026 roku rosyjskie drony przechwytujące okazały się na tyle skuteczne, że stworzyły strefy, do których ukraińskie drony FPV nie mogły wlecieć bez osłony. Ukraina szybko odpowiedziała wysyłaniem własnych interceptorów razem z dronami atakującymi – co doprowadziło do powietrznych starć dronów, przypominających walki lotnicze z czasów I wojny światowej, tyle że prowadzonych przez algorytmy.

Granica autonomii – gdzie jest człowiek?

Każdy krok w kierunku autonomii roju to krok w kierunku pytania, które zadają sobie prawnicy, etycy i generałowie na całym świecie: czy wolno maszynie decydować o śmierci człowieka? I kto ponosi odpowiedzialność, gdy maszyna popełni błąd?

Z technicznego punktu widzenia pytanie brzmi konkretniej: na którym etapie pętli decyzyjnej musi być człowiek? Możliwe odpowiedzi to: człowiek decyduje o każdym ataku (*human-in-the-loop*), człowiek może przerwać atak wskazany przez AI (*human-on-the-loop*), lub człowiek decyduje o wysłaniu roju, a dalej działa autonomia (*human-out-of-the-loop*).

Na ukraińskim froncie w 2025/2026 roku dominuje drugi model. Dron AI wskazuje cel, operator ma kilka sekund na przerwanie ataku. W praktyce – gdy drony lecą z prędkością 150 km/h i jest ich kilkanaście jednocześnie – faktyczna kontrola człowieka jest coraz bardziej iluzoryczna. To nie jest cynizm – to matematyka. I jest to problem, który społeczeństwa będą musiały rozwiązać zanim technologia je wyprzedzi. ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb



Ukraiński system Bukovel-AD na pick-upie – mobilna kopuła antydronowa, 2021. System walki elektronicznej Bukovel-AD zamontowany na samochodzie terenowym. Widoczne anteny kierunkowe 360° i jednostka sterująca. Zasięg wykrywania 70 km, aktywne zagłuszanie do 20 km. System obsługuje dwóch operatorów. Fot. autorstwa VoidWanderer – Praca własna, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=106721609

Tarcza i miecz

Systemy antydronowe C-UAS: od siatki na kiju do AI-jammingu i dronów przechwytujących

Mój przyjaciel powrócił z długiego pobytu w Ukrainie. Oto co mi powiedział. Przez pierwsze sześć miesięcy pracy w Ukrainie jako wolontariusz techniczny rozmawiałem z dziesiątkami żołnierzy o dronach. Pytałem ich nie o ataki, ale o obronę. Odpowiedź, którą słyszałem najczęściej, była zaskakująca: „Najskuteczniejsza ochrona przed dronem FPV to dobry pilot własnego drona FPV.” Innymi słowy: najlepszą tarczą jest własny miecz.

eprasa.pl a93bb99ddb

Ta obserwacja – choć z pozoru prosta – ujawnia fundamentalną zmianę w naturze obrony przeciwlotniczej. Przez dekady „zestrzelić drona" znaczyło: wystrzelić droższy pocisk w tańszy cel. Patriot vs Geran, rakieta za cztery miliony vs dron za czterdzieści tysięcy. Pamiętamy zresztą incydent z rosyjskimi dronami nad terytorium Polski. Ekonomika tej wymiany jest katastrofalna dla obrońcy. Ukraina – z konieczności wymyśliła inną odpowiedź: zestrzelić drona dronem.

W tym artykule opisujemy kompletny ekosystem obrony antydronowej, który Ukraina zbudowała pod ostrzałem – od ogólnokrajowego spoofingu GPS po ręczne pistolety zagłuszające i drony przechwytujące za trzy tysiące dolarów.

Architektura obrony: sześć warstw

Ukraiński system obrony antydronowej jest wielowarstwowy i rozproszony. Żadna pojedyncza technologia nie jest w stanie zatrzymać wszystkich zagrożeń – dlatego każda warstwa jest zaprojektowana tak, by neutralizować te drony, które przebijają się przez warstwy zewnętrzne, i by wzajemnie się uzupełniać w przypadku awarii jednego elementu.

Warstwa pierwsza: Pokrova – ogólnokrajowy spoofing GPS

Pokrova to ukraiński system ogólnokrajowego fałszowania sygnałów GPS. Działa na zasadzie emisji silniejszych od satelitarnych fałszywych sygnałów nawigacyjnych, które zastępują prawdziwe dane o pozycji. Dron, który odbiera sygnał Pokrovy, „myśli" że jest w zupełnie innym miejscu – i leci tam, dokąd wskazują fałszywe dane, nie tam, gdzie rzeczywiście zmierza.

Skuteczność Pokrovy jest trudna do zmierzenia z zewnątrz, ale analiza nagrań z rosyjskich dronów pokazuje wyraźny wzrost przypadków lądowania w nieplanowanych miejscach i odbijania od celów od momentu wdrożenia systemu. Ograniczeniem jest to, że coraz nowsze drony – Geran-2Y, Supercam S350 – mają zaawansowaną nawigację inercyjną i wizualną, odporną na spoofing GPS. Pokrova jest więc skuteczna na starsze modele i stanowi pierwszy filtr, nie ostateczną barierę.

Warstwa druga: walka elektroniczna dalekiego zasięgu

System Bukovel-AD to ukraiński system walki elektronicznej montowany na pojazdach terenowych. Jego anteny wykrywają sygnały radiowe dronów w promieniu 70 km i aktywnie zagłuszają komunikację i nawigację w promieniu 20 km. Dwaj operatorzy zarządzają systemem przez ekran dotykowy z mapą, na której wyświetlane są wykryte drony.

Kluczową cechą jest mobilność: Bukovel-AD może zmienić pozycję w kilka minut, co utrudnia Rosji jego namierzenie i zniszczenie artylerią.

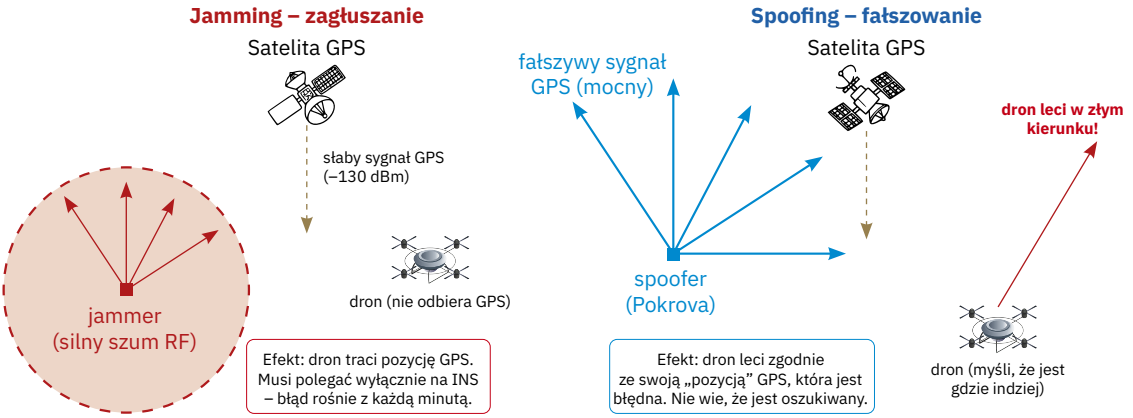
Wielowarstwowy system obrony antydronowej Ukrainy – schemat koncepcyjny



1. Sześć warstw ukraińskiego systemu obrony antydronowej – od ogólnokrajowego spoofingu GPS po obronę kontaktową. Źródło: Ukraine MOD, ISW, CNN C-UAS report 2026, oprac. Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Walka elektroniczna z dronami: zagłuszanie (jamming) vs. fałszowanie (spoofing) GPS



2. Zagłuszanie (jamming) vs fałszowanie (spoofing) GPS – zasada działania i efekty. Oprac. własne na podst. Ukraine MOD (Pokrova), VettaFi 2026, Forecast International 2025, Młody Technik

System obsługuje wiele pasm częstotliwości jednocześnie – co jest istotne, bo drony używają różnych protokołów komunikacyjnych (ELRS na 900 MHz i 2,4 GHz, DJI OcuSync na 2,4 i 5,8 GHz, łączność satelitarna Iridium).

Fizyka zagłuszania i spoofingu – czym różnią się te metody

Zagłuszanie (*jamming*) to brutalna siła: nadajnik emituje silny szum radiowy na tych samych częstotliwościach, których używa dron do komunikacji z operatorem i do odbioru sygnałów GPS.

Jak działa odbiornik GPS i dlaczego można go oszukać?

Satelita GPS emituje sygnał zawierający swój identyfikator i dokładny czas emisji. Odbiornik mierzy czas dotarcia sygnału od czterech lub więcej satelitów i oblicza pozycję przez triangulację. Kluczowa słabość: sygnał z satelity jest ekstremalnie słaby (około –130 dBm). Typowy sygnał Wi-Fi odbierany w pomieszczeniu wynosi około –30 dBm – różnica to 100 dB, co daje współczynnik 10^{10}, czyli 10 miliardów razy. Każdy naziemny nadajnik emitujący fałszywy sygnał GPS z mocą kilku watów jest dla odbiornika automatycznie „silniejszy" od satelity i zostaje uznany przez odbiornik za prawdziwy sygnał. Nowoczesne odbiorniki GPS próbują wykryć spoofing przez: sprawdzanie geometrii sygnałów satelitarnych (fałszywe sygnały zazwyczaj wydają się przychodzić z jednego kierunku), monitoring Dopplera (prędkość względem „satelity" musi być fizycznie sensowna), i integrację z INS (pozycja GPS musi być zgodna z tym, co mierzą żyroskopy).

Sygnał użyteczny tonie w szumie, dron traci łączność i orientację. Prostota jest zaletą – ale też wadą. Jammer jest aktywnym nadajnikiem, który można namierzyć i zniszczyć. Poza tym zakłóca wszystkie urządzenia w zasięgu, nie tylko drony wroga.

Spoofing jest subtelniejszy i trudniejszy technicznie. Zamiast zagłuszać prawdziwy sygnał GPS, spoofer emituje fałszywy sygnał GPS silniejszy od satelitarnego. Odbiornik GPS w dronie nie wie, że jest oszukiwany – przetwarza fałszywe dane o pozycji jako prawdziwe. Efekt jest spektakularny: dron leci pewnie w zupełnie złym kierunku, przekonany że realizuje misję.

Warstwa trzecia: sieć akustyczna – 14 000 mikrofonów

To jeden z najbardziej oryginalnych i skutecznych elementów ukraińskiej obrony. Drony FPV są małe, szybkie i mają minimalny ślad radarowy – radar przy ziemi ich po prostu nie widzi. Ale słychać je doskonale. Silniki BLDC i śmigła małego quadrocoptera generują charakterystyczny dźwięk o konkretnym widmie częstotliwości i sygnaturze akustycznej.

Ukraina rozmieściła sieć ponad 14 000 czujników akustycznych na masztach telefonii komórkowej, słupach energetycznych i dachach budynków na całym terytorium. Każdy czujnik to mikrofon z przetwornicą ADC i modułem Wi-Fi lub LTE przesyłającym dane dźwiękowe do centralnego serwera analizy.

Na serwerze działa model AI – sieć neuronowa wytrenowana na tysiącach nagrań

eprasa.pl a93bb99ddb

Jak AI rozpoznaje drona po dźwięku?
Sygnatury akustyczne dronów analizuje się przez spektrogramy – dwuwymiarowe reprezentacje dźwięku, gdzie oś X to czas, Y to częstotliwość, a jasność piksela to amplituda. Silnik BLDC drona FPV generuje tonalne komponenty częstotliwości obrotów (np. 8000 RPM = 133 Hz) i jej harmonicznych. Silnik spalinowy Orłana-10 ma inną, charakterystyczną sygnaturę z niższymi częstotliwościami i bogatszym widmem harmonicznych. Sieć CNN (konwolucyjna sieć neuronowa) przetwarza spektrogram jak obraz i klasyfikuje go do klasy „Geran-2", „Orłan", „dron FPV" lub „brak drona". Trudność: odróżnienie drona od samochodu, motocykla lub generatora w hałaśliwym środowisku miejskim. Rozwiązanie: trójkątna triangulacja z trzech czujników pozwala zweryfikować, że źródło dźwięku się porusza i z jaką prędkością.

dronów różnych typów – który klasyfikuje sygnały akustyczne i identyfikuje drony. System potrafi nie tylko wykryć obecność drona, ale też określić jego typ (Geran-2 ma inny dźwięk silnika spalinowego niż elektryczny Zała), kierunek lotu i przybliżoną prędkość. Te dane trafiają do operatorów systemów antydronowych w czasie rzeczywistym.

Warstwa czwarta: lokalna walka elektroniczna

Piranha – kopuła EW dla pojedynczej pozycji. System Piranha to przenośne urządzenie walki elektronicznej chroniące obszar w promieniu kilkuset metrów. Montowane na trójnodze lub pojeździe, automatycznie skanuje pasmo radiowe i zagłusza sygnały sterowania i wideo dronów FPV. Jest wystarczająco małe, żeby jeden żołnierz mógł je przenosić – i wystarczająco skuteczne, żeby chronić pojedynczy oddział lub ważny punkt.

Pistolety EW – osobista obrona żołnierza

Ręczne urządzenia EW w formie „pistoletów" lub „karabinów" antydronowych to odpowiedź na potrzebę indywidualnej ochrony żołnierza. Wycelowany w nadlatujący dron FPV, pistolet EW emituje wiązkę zakłóceń na częstotliwościach używanych przez drony RC i FPV. Skuteczny zasięg wynosi 100...400 m.

Ukraina używa zarówno własnych konstrukcji, jak i importowanych urządzeń z Chin i Europy. Kluczowy parametr to pokrycie pasm częstotliwości: tani pistolet EW zagłuszający tylko 2,4 GHz jest bezużyteczny wobec drona sterowanego przez ELRS na 900 MHz. Dobry pistolet musi pokrywać 433 MHz, 900 MHz, 1,2 GHz, 2,4 GHz i 5,8 GHz jednocześnie – a każde dodatkowe pasmo to większa masa i wyższy koszt.

Warstwa piąta: interceptory – dron kontra dron

To najbardziej spektakularny i najszybciej rozwijający się element ukraińskiej obrony antydronowej. Logika jest prosta: zamiast strzelać drogimi pociskami w tanie drony, wysyłamy własne tanie drony, żeby je zestrzelić. Koszt na zestrzelony cel spada z czterech milionów dolarów (Patriot PAC-3) do trzech tysięcy dolarów (*interceptor Sting*). Przy setkach Geranów atakujących dziennie różnica jest strategiczna.

Sting – najprostszy i najskuteczniejszy

Dron Sting kosztuje poniżej trzech tysięcy dolarów i jest prawdopodobnie najbardziej opłacalną bronią w historii obrony przeciwlotniczej. Jego zadaniem jest zderzyć się z dronem Geran-2 lub Shahed – albo zdetonować własny ładunek wystarczająco blisko, żeby odłamki zniszczyły cel. Interceptor nie musi precyzyjnie trafić – wystarczy zbliżyć się na kilka metrów.

AI na pokładzie Stinga śledzi cel przez kamerę i koryguje kurs autonomicznie w ostatniej fazie przechwycenia. Operator wskazuje cel i uruchamia sekwencję – resztę robi algorytm. Od maja 2025 roku drony Sting zestrzeliły ponad 40 000 wrogich bezzałogowców – wynik nie mający precedensu w historii obrony przeciwlotniczej.

Bullet – quadrocopter z turboodrzutowcem

Bullet to ukraińska innowacja, która zasługuje na osobny opis. To quadrocopter wyposażony w miniaturowy silnik turboodrzutowy. Tradycyjne wirniki zapewniają pionowy start i manewrowanie w powietrzu przy niskich prędkościach, natomiast silnik odrzutowy włącza się w fazie pościgu i nadaje mu prędkość do 480 km/h – wystarczającą do przechwycenia nawet szybkich dronów kamikaze.

Technologia łącząca wiropłat i odrzutowiec w jednej platformie nie była wcześniej stosowana w małych dronach bojowych. Wyzwaniem inżynierskim jest zarządzanie momentami sił:

eprasa.pl a93bb99ddb

Drony przechwytujące (interceptory) – porównanie platform ukraińskich 2025/2026

Platforma	Cena (USD)	Prędkość maks.	Metoda neutralizacji	Cel (typ drona)	Wynik do V 2025
Sting	<3 000	180 km/h	Kolizja / detonacja bliskościowa	Geran-2 Shahed	>40 000 zestrz.
Sting-II	<5 000	200 km/h	Detonacja + kamera nocna	Geran / Orlan	kilka tys.
P1-Sun	~8 000	450 km/h	Kolizja kinetyczna (taranowanie)	Drony zwiadowcze	kilkaset
Bullet	~15 000	480 km/h	Turboodrzutowy + kolizja	Szybkie drony kamikaze	kilkaset
Salyut	~10 000	130 km/h	Ładunek odłamkowy (długi zasięg)	Geran / grupowe ataki	kilkaset

3. Porównanie ukraińskich dronów przechwytujących – parametry i skuteczność w 2025/2026. Źródło: Ukraine MOD, ISW, CNN C-UAS Ukraine 2026, Młody Technik

turboodrzutowiec generuje ciąg wzdłuż osi drona, ale wirniki reagują na zmianę prędkości rotacji. Oprogramowanie sterujące musi dynamicznie balansować oba układy napędowe – co jest znaczącym osiągnięciem algorytmicznym.

Warstwa szósta: obrona kontaktowa

Rosyjski dron Volk-18 dysponuje wyrzutniami siatek kevlarowych miotanych z odległości 3...5 metrów w stronę rotorów ukraińskich dronów. Ukraina stosuje analogiczne rozwiązanie we własnych systemach obronnych. Siatka o wymiarach 3×3 metrów oplatając rotory drona FPV uniemożliwia jego dalszy lot – fizycznie, bez użycia elektroniki. Jest to rozwiązanie odporne na wszelkie modyfikacje oprogramowania wroga.

Strzelby i śrut – stara technika, nowe zastosowanie

Gładkolufowe strzelby strzelające amunicją śrutową są zaskakująco skuteczne przeciwko małym dronom FPV latającym w bliskiej odległości. Wzorzec rozproszenia śrutu zwiększa prawdopodobieństwo trafienia szybko manewrującego celu – choć wymaga doświadczenia i dobrego wyczucia czasu. Ukraina szkoli żołnierzy w tej technice, bo strzelba kosztuje kilkaset dolarów i nie wymaga żadnej elektroniki – co czyni ją odporną na zakłócenia i dostępną wszędzie.

Ważna uwaga techniczna: wbrew temu, co sugerują hollywoodzkie filmy akcji, rozproszenie śrutu z odległości 30 metrów nie jest ogromne – to kilkadziesiąt centymetrów. Zestrzelenie drona FPV lecącego z prędkością 100 km/h wymaga precyzyjnego wyprzedzenia, jak przy strzelaniu do szybko lecącego ptaka.

Lekcja ukraińska: asymetryczna obrona

Całość ukraińskiego systemu C-UAS to demonstracja zasady, którą można nazwać asymetryczną obroną: każde zagrożenie neutralizowane jest najtańszym możliwym środkiem. Gerana za 40 000 dolarów zatrzymuje Sting za 3 000 dolarów, nie Patriot za 4 000 000 dolarów. Drona FPV za 300 dolarów zatrzymuje pistolet EW za 2 000 dolarów lub własny interceptor za 1 000 dolarów. Ogólnokrajowy spoofing GPS za – ile? informacja niejawna – chroni przed całą kategorią zagrożeń bez żadnego kosztu jednostkowego per zestrzelony dron.

Polska, planując zakup ukraińskiej technologii antydronowej w ramach programu SAFE, kupuje nie tyle konkretne urządzenia, ile właśnie ten system: wielowarstwową, zdecentralizowaną, asymetrycznie tanią obronę, która uczy się z każdego ataku i adaptuje się szybciej niż zagrożenie.

Dla inżynierów systemów embedded, specjalistów od sygnałów RF i programistów AI – to jest jeden z najciekawszych ekosystemów technicznych, jakie kiedykolwiek powstały w warunkach bojowych. I jest otwarty: wiele komponentów jest opisanych w open-source, wiele rozwiązań można zreplikować ze sprzętu dostępnego w sklepach elektronicznych. Bariera wejścia do budowy własnego systemu C-UAS – choćby do celów badawczych lub ochrony lotnisk cywilnych – nigdy nie była tak niska. ■

Paul Bavarian

eprasa.pl a93bb99ddb

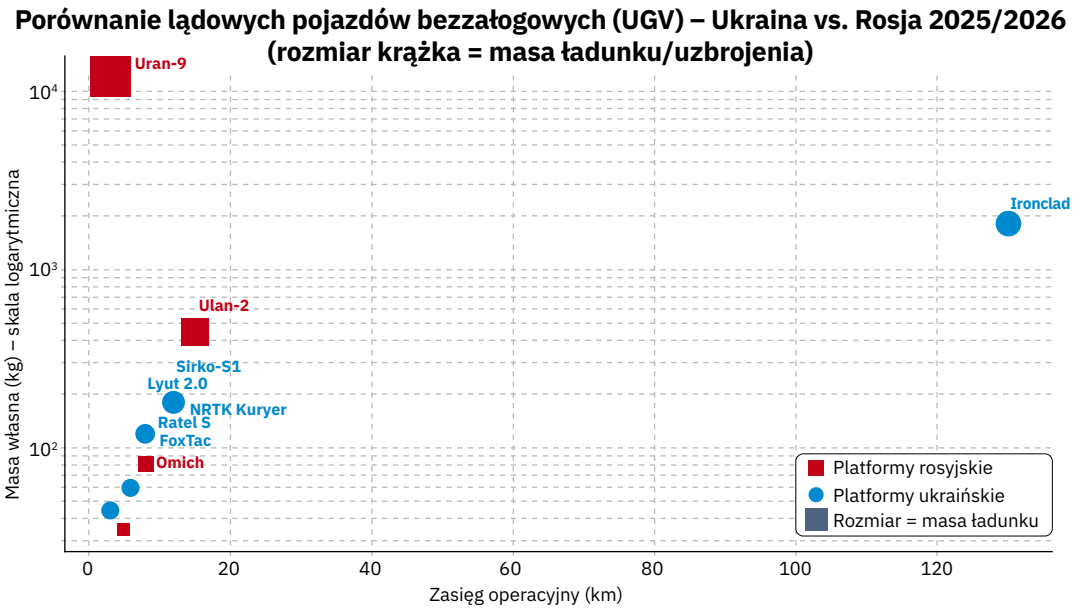


Poza niebem – roboty na ziemi i na wodzie

Lądowe pojazdy bezzałogowe (UGV) i morskie drony (USV) na współczesnym polu walki

Lądowe pojazdy bezzałogowe (UGV – *Unmanned Ground Vehicle*) i morskie drony nawodne (USV – *Unmanned Surface Vehicle*) są mniej spektakularne od FPV i rzadziej trafiają na pierwsze strony – ale ich znaczenie strategiczne jest w niektórych zastosowaniach nie mniejsze. Ukraiński dron morski Magura V5 zepchnął rosyjską Flotę Czarnomorską z zachodniej części Morza Czarnego bez jednej bitwy morskiej w tradycyjnym sensie. To jest wynik, którego nie osiągnęłyby nawet najdroższe zachodnie fregaty.
W tym artykule przyglądamy się obu kategoriom – lądowej i morskiej – opisując zarówno osiągnięcia, jak i ograniczenia, które wciąż czynią te platformy uzupełnieniem, a nie zastępstwem dla systemów latających.

eprasa.pl a93bb99ddb



1. Porównanie lądowych pojazdów bezzałogowych (UGV) – masa własna, zasięg i ładunek. Źródło: Oryx, ISW, Ukraine MOD, OSINT 2025/2026, oprac. Młody Technik

Lądowe pojazdy bezzałogowe – trudna ziemia

Ziemia jest trudniejszym środowiskiem niż powietrze. Dron latający omija przeszkody z góry. Robot lądowy musi przez nie przejechać, ominąć je lub się zatrzymać. Teren wojskowy – doły po bombach, gruzy, błoto, zasieki, transzeje – jest projektowany tak, żeby utrudnić właśnie tego rodzaju ruch. Właśnie dlatego robotyka lądowa, mimo dekad badań, wciąż nie dorównała lotnictwu bezzałogowemu.

Filozofia rosyjska: masa i specjalizacja

Kuryer – mięso armatnie na kółkach. NRTK Kuryer to elektryczny, uzbrojony robot bojowy o masie około 80 kg. Napęd elektryczny daje mu kluczową zaletę: jest cichy i ma minimalny ślad termiczny, co utrudnia wykrycie przez drony z termowizją. Przenosi karabin maszynowy lub granatnik i może działać jako autonomiczny punkt ognia lub retransmiter łączności dla innych dronów.

W praktyce bojowej Kuryer jest używany do atakowania pozycji ukraińskich i osłony odwrotu – ale ma poważne ograniczenia. Elektryczny napęd i stosunkowo mała moc silników sprawia, że łatwo grzęźnie w błocie i lejach po bombach. Gdy przyjmuje pozycję ogniową, sam staje się łatwym celem ukraińskich dronów FPV. Mimo tych wad Kuryer produkowany jest w dużych ilościach właśnie dlatego, że jest tani – tańszy niż szkolenie żołnierza i nie wymaga zastępowania go w przypadku zniszczenia.



NRTK Kuryer – rosyjski uzbrojony robot lądowy na froncie wschodnim. Elektryczny pojazd bojowy Kuryer z zamontowanym karabinem maszynowym na prowadnicach. Widoczna niska sylwetka, układ czterokołowy i pancerz boczny z płyt stalowych. Antena łączności z tyłu kadłuba. Masa ok. 80 kg, napęd elektryczny – cichy i o małym śladzie termicznym. Źródło: www.globalsecurity.org

eprasa.pl a93bb99ddb



Uran-9 – widoczna armata 30 mm 2A72, wyrzutnia rakiet przeciwpancernych Ataka i masywna sylwetka (12 ton). W warunkach bojowych zasięg łączności wyniósł 300 m zamiast deklarowanych 3 km, co czyniło pojazd praktycznie bezużytecznym. Źródło: Boevaya mashina – Praca własna, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=72788153



Ulan-2 – rosyjski dron logistyczny z hybrydowym napędem. Pojazd transportowy Ulan-2 z otwartą przestrzenią ładunkową na nosze dla rannych żołnierzy. Widoczny napęd gąsienicowy (wersja z 2025 r.) i antena łączności. Nośność 200...500 kg, napęd hybrydowy elektryczno-spalinowy. Jeden z niewielu rosyjskich UGV z udokumentowaną skutecznością bojową. Źródło: ИЗВЕСТИЯ/Дмитрий Астрахань, vpk.name

Najnowsza seria Kuryera używa modułów Nvidia Jetson Orin Nano do nawigacji w terenie. Pozwala to na bardziej autonomiczne przemieszczanie się i omijanie przeszkód, choć problem podstawowy – fizyczne ograniczenia kołowego podwozia na zniszczonym terenie – pozostaje nierozwiązany.

Uran-9 – droga lekcja z pokazu

Uran-9 to jeden z najbardziej spektakularnych błędów projektowych w historii nowoczesnej robotyki wojskowej. Na papierze wyglądał rewelacyjnie: 12-tonowy pojazd bojowy z armatą 30 mm, wyrzutnią rakiet Ataka i zestawem sensorów. Pokazany uroczyście przed manewrami Zapad-2021 miał być symbolem rosyjskiej potęgi technologicznej.

Na froncie okazał się kompletnie bezużyteczny. Armata 30 mm bez żadnej stabilizacji ognia jest niecelna na ruchomym podwoziu. Masa 12 ton powoduje ogromne problemy z awaryjnością zawieszenia na zniszczonym terenie. Silnik diesla czyni go doskonałym celem dla dronów z termowizją. Najgorsze: faktyczny zasięg łączności w terenie miejskim wyniósł 300 metrów zamiast deklarowanych 3 km. Przy tak krótkim zasięgu operator musi znajdować się w strefie bezpośredniego ognia – co przekreśla główną zaletę bezzałogowego pojazdu.

Ulan-2 i Omich – co Rosji wyszło

Ulan-2 to dron logistyczny o nośności 200...500 kg, zdolny do transportu rannych żołnierzy na noszach. Używa napędu hybrydowego – może cicho podjechać pod linię frontu na silniku elektrycznym, a na dłuższych dystansach przełączyć się na spalinowy. Skuteczność ewakuacji medycznej wynosi szacunkowo 30%, co jest wysokim wynikiem jak na warunki frontu rosyjskiego.

Omich to mniejszy dron elektryczny, stosowany do transportu krytycznych zapasów – wody, baterii, amunicji małego kalibru – i jako kamikaze lądowy. Kluczową cechą jest łączność wyłącznie przez światłowód, co czyni go odpornym na wszelkie zagłuszanie elektroniczne.

Filozofia ukraińska: precyzja i ewakuacja

Ratel S – podjeżdżam i wysadzam – to ukraiński kołowy dron kamikaze o niezwykle niskim profilu (około 40 cm wysokości), zaprojektowany z jednym, precyzyjnym celem: podjechać pod pojazd wroga i zdetonować potężny ładunek wybuchowy. Platforma ta najczęściej wykorzystuje w tym celu dwie standardowe, sowieckie miny przeciwpancerne TM-62. Niska sylwetka drona pozwala na swobodny wjazd pod podwozie czołgu lub opancerzonego wozu bojowego – dokładnie tam, gdzie

eprasa.pl a93bb99ddb



Ratel S – ukraiński dron kamikaze tuż przed atakiem na pojazd wroga. Kołowy dron kamikaze Ratel S w trakcie misji. Widoczny bardzo niski profil nadwozia (ok. 40 cm) pozwalający na wjazd pod podwozie czołgu. Z przodu widoczny czujnik zbliżeniowy i mocowania dla dwóch min TM-62. Pojazd sterowany zdalnie przez operatora z pomocą latającego drona-retransmitera

dolne płyty pancerza są najcieńsze i najbardziej podatne na przełamanie falą uderzeniową. Oprócz niszczenia pojazdów, odnotowano również przypadki skutecznego użycia Ratel S do wysadzania przęseł mostów i fortyfikacji.

Ratel S jest sterowany zdalnie przez cały czas. Jako wsparcie łączności używane są latające drony DJI Mavic 3 lub Autel EVO II z wojskowym retransmiterem – unosząc się na wysokości 300...500 metrów, zapewniają zasięg kilku kilometrów.

Lyut 2.0 – karabin maszynowy na kółkach

Lyut 2.0 to ukraiński dron wsparcia ogniowego wyposażony w ciężki karabin maszynowy kalibru 7,62 mm i system automatycznego śledzenia celów. Kamera z zoomem 30× i termowizją pozwala na identyfikację celów z bezpiecznej odległości. Ciekawą taktyką jest pozostawianie Lyuta w zasadzce: robot ustawiony w ukrytej pozycji czeka na sygnał aktywacyjny. Ta taktyka – „robot w zasadzce" – byłaby niemożliwa z żołnierzem w roli strzelca.

Ironclad – ciężki pancerz Ukrainy

Ironclad to najcięższy bojowy dron lądowy Ukrainy – opancerzona maszyna o masie 1800 kg składająca się z dwóch połączonych przegubem modułów. Budowa przegubowa to kluczowa innowacja: każda z par kół może niezależnie dostosować się do ukształtowania terenu. Hybrydowy układ napędowy pozwala na cichą pracę przyfrontową i większy zasięg poza linią kontaktu.

Ironclad może samodzielnie przemieszczać się dzięki nawigacji satelitarnej, a AI pozwala na automatyczne śledzenie celów – operator wydaje jedynie polecenie strzału. Uzbrojenie stanowi



Lyut 2.0 – ukraiński dron wsparcia ogniowego z CKM i operatorem. Pojazd Lyut 2.0 z zamontowanym ciężkim karabinem maszynowym 7,62 mm i kamerą termowizyjną z zoomem 30×. Obok widoczny operator z kontrolerem. Charakterystyczna niska i szeroka sylwetka zapewnia stabilność podczas prowadzenia ognia. Źródło: Brygada Azova/Telegram



Ironclad – najcięższy ukraiński dron bojowy (1800 kg) podczas testów terenowych. Opancerzony pojazd Ironclad w konfiguracji bojowej z granatnikiem automatycznym. Widoczna charakterystyczna budowa przegubowa – dwa moduły połączone przegubem centralnym. Napęd hybrydowy. Masa: 1800 kg, zasięg: 130 km, prędkość maks. 20 km/h na drodze. Źródło: defencetech.community

eprasa.pl a93bb99ddb

Napęd hybrydowy w pojazdach bojowych – dlaczego się opłaca?
Wojskowy napęd hybrydowy to nie to samo co hybryda Toyota. Zasada podobna – silnik elektryczny + spalinowy – ale priorytety inne. W warunkach bojowych liczy się: cisza termiczna (elektryczny silnik przy ziemi nie daje plamy IR na obrazie drona termowizyjnego), moment obrotowy (silniki elektryczne mają 100% momentu od zera – idealne do pokonywania przeszkód), i zasięg (akumulatory + generator = eliminacja ograniczenia pojemności baterii). Typowy schemat bojowy: silnik elektryczny na linii frontu (cichy, chłodny), generator spalinowy włącza się do ładowania akumulatorów gdy pojazd wycofuje się poza strefę kontaktu. Ten schemat stosują zarówno ukraiński Ironclad jak i rosyjski Ulan-2 – jeden z nielicznych przypadków konwergencji rozwiązań po obu stronach konfliktu.

granatnik automatyczny lub ciężki karabin maszynowy, masa ładunku bojowego do 300 kg.

Ewakuacja medyczna – FoxTac i Sirko-S1

Do ewakuacji rannych Ukraina używa dedykowanych dronów FoxTac o wyjątkowo niskim profilu – ranny żołnierz leży kilkanaście centymetrów nad ziemią, co minimalizuje sylwetkę podczas przejazdu pod ostrzałem. Drony mają zasięg sterowania zaledwie 700 metrów, ale potrafią samodzielnie wrócić do bazy. Sirko-S1 firmy SkyLab UA to tańszy dron logistyczny o nośności do 200 kg – głównie do transportu amunicji i zapasów, ale z opcją masztu z kamerą jako mobilny punkt obserwacyjny.



Dron ewakuacji medycznej FoxTac – ranny żołnierz kilkanaście cm nad ziemią. Ukraiński dron FoxTac z rannym żołnierzem na platformie. Charakterystyczny wyjątkowo niski profil – ranny leży dosłownie kilkanaście centymetrów nad ziemią, co minimalizuje ryzyko postrzału podczas ewakuacji. Zasięg sterowania: 700 m, autonomiczny powrót do bazy. Źródło: Ukraine MOD (domena publiczna), mod.gov.ua

Drony morskie – niewidzialna armada

Morskie drony nawodne to kategoria, o której medialne relacje z Ukrainy mówią znacznie mniej niż na to zasługuje. A to właśnie one osiągnęły jeden z najbardziej strategicznie znaczących wyników całego konfliktu: zmusiły rosyjską Flotę Czarnomorską do opuszczenia zachodniej części Morza Czarnego bez jednej bitwy morskiej w tradycyjnym sensie.

Magura V5 – dron, który zmienił Morze Czarne

Magura V5 to ukraiński dron nawodny o długości 5,5 m i masie około 1000 kg. Napędza go silnik benzynowy dający prędkość maksymalną 42 węzły – znacznie szybszą niż większość okrętów wojennych, które mają go ścigać. Zasięg operacyjny wynosi około 800 km, a głowica bojowa przenosi 320 kg materiału wybuchowego – wystarczająco dużo, by poważnie uszkodzić okręt klasy korwety lub fregaty.

System nawigacji łączy GPS, nawigację inercyjną i kamery dzienną i termowizyjną. Operator może sterować dronem przez łącze satelitarne Starlink na odległości setek kilometrów, albo ustawić go na autonomiczne podążanie do zadanych współrzędnych. W końcowej fazie ataku FPV pozwala precyzyjnie naprowadzić dron na wybrany punkt okrętu.



Ukraiński dron morski Magura V5. Widoczna smukła sylwetka o długości 5,5 m, głowica bojowa z przodu (320 kg materiału wybuchowego), anteny łączności i kamera FPV. Prędkość maksymalna 42 węzły (78 km/h), zasięg 800 km. Źródło: Telegram/Головне управління розвідки МО України

eprasa.pl a93bb99ddb



Ukraiński atak USV na rosyjski desantowiec – zapis z kamery drona. Klatka z nagrania ataku ukraińskiego drona morskiego na rosyjski okręt desantowy klasy Ropucha. Widoczny dron USV w ostatnich metrach przed uderzeniem w burtę okrętu. Nagranie opublikowane przez GUR (wywiad wojskowy Ukrainy). Źródło: Telegram/ Головне управління розвідки МО України

Operacje na Morzu Czarnym – strategia bez floty

Ukraina nie ma floty wojennej – rosyjskie okręty zniszczyły ukraińskie jednostki w pierwszych dniach konfliktu. Zamiast odbudowywać flotę – co zajęłoby dekady i miliardy – Ukraina postawiła na asymetrię: tanie drony morskie atakujące drogie okręty.

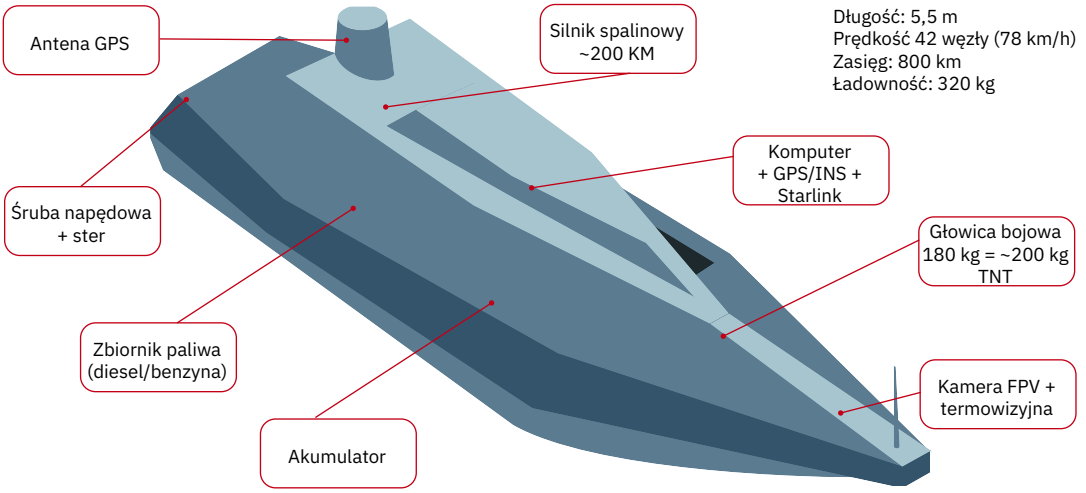
Pierwsza spektakularna operacja miała miejsce w październiku 2022 roku: kilka dronów USV zaatakowało rosyjskie okręty w Sewastopolu. Atak nie zatopił okrętów, ale udowodnił, że ukraińskie drony mogą działać głęboko na wodach kontrolowanych przez Rosję. Kolejne miesiące przyniosły serię ataków: desantowiec Olenegorsky Gornyak uszkodzony w Noworosyjsku w lipcu 2023, tankowiec Sig trafiony w cieśninie Kerczeńskiej, okręty przy moście Kerczeńskim.

Strategicznym efektem była ewakuacja znacznej części Floty Czarnomorskiej z Sewastopola do Noworosyjska – bazy oddalonej o prawie 400 km więcej od ukraińskiego wybrzeża. To dramatycznie ograniczyło zdolność Rosji do ostrzeliwania Ukrainy rakietami Kalibr z Morza Czarnego. Ukraina – bez jednego własnego okrętu wojennego – wymogła strategiczne cofnięcie rosyjskiej marynarki wojennej.

Drony podwodne – następny krok

Ukraina eksperymentuje z bezzałogowymi pojazdami podwodnymi (UUV – *Unmanned Underwater Vehicle*), choć szczegóły tych

Anatomia ukraińskiego drona morskiego (USV) – na przykładzie Magura v5



2. Anatomia ukraińskiego drona morskiego USV – Magura V5 z przekrojem kadłuba i systemami. Źródło: oprac. własne na podst. Ukraine MOD, H.I. Sutton/NavalNews 2025, Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb

Jak działa naprowadzanie drona morskiego na okręt?

Okręt wojenny to duży, powolny cel – ale nie statyczny. Sekwencja ataku Magury V5: (1) GPS prowadzi drona do rejonu celu, (2) kamera termowizyjna wykrywa okręt jako gorący obiekt (maszynownia), (3) AI klasyfikuje typ celu i wskazuje punkt ataku, (4) operator przez Starlink potwierdza identyfikację lub przejmuje sterowanie FPV, (5) na ostatnich metrach precyzyjnie kieruje dron na wrażliwy punkt okrętu. Obrona przeciw USV jest trudna: dron jest mały (przekrój radarowy podobny do fali), szybki (42 węzły) i może atakować w grupie kilku jednocześnie. Rosja odpowiedziała sieciami podwodnymi, patrolami śmigłowców i motorówkami, ale żadne z rozwiązań nie okazało się w pełni skuteczne.

programów są w dużej mierze niejawne. Logika jest analogiczna do USV: UUV jest znacznie trudniejszy do wykrycia, bo sonar ma ograniczoną skuteczność przy dużej liczbie obiektów w wodzie. Kilka niepotwierdzonych doniesień wskazuje na ataki przez urządzenia podwodne w 2024–2025 roku.

Z technicznego punktu widzenia UUV stawia inne wymagania niż USV: napęd wyłącznie elektryczny, nawigacja GPS nie działa pod powierzchnią (konieczna inercyjna lub hydroakustyczna), a łączność z operatorem wymaga akustycznych modemów podwodnych lub wynurzenia anteny. To znacznie trudniejsze problemy inżynierskie – i właśnie dlatego UUV są na razie uzupełnieniem, nie głównym narzędziem.

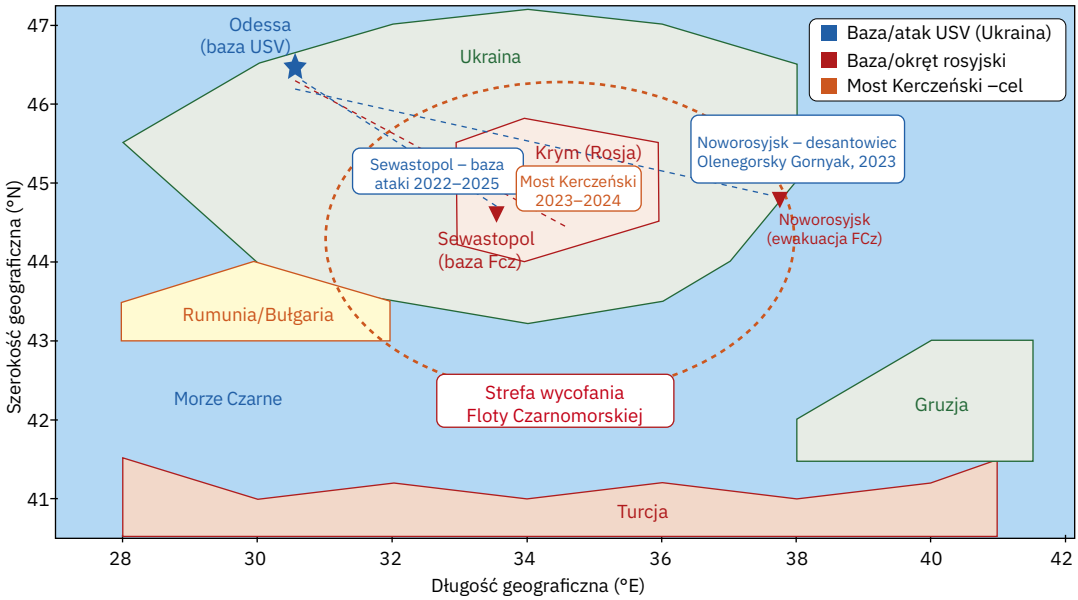
Wspólna lekcja: środowisko determinuje technologię

Przeglądając UGV i USV tej wojny, dostrzegamy wzorzec powtarzający się we wszystkich kategoriach: środowisko operacyjne brutalnie weryfikuje projekty. Uran-9 wyglądał doskonale w hali produkcyjnej. W błocie Donbasu był bezużyteczny. Magura V5 jest prosta, niska i szybka – bo to właśnie jest potrzebne do przeżycia na morzu pod ostrzałem.

Zarówno lądowe jak i morskie drony bojowe tej wojny są w zasadzie jednorazowe. Nikt nie planuje odzyskania Ratel S po ataku ani Magury V5 po trafieniu w okręt. To fundamentalna zmiana filozofii wobec tradycyjnego sprzętu wojskowego projektowanego na 20...30 lat eksploatacji. Dron jednorazowy może być znacznie prostszy, tańszy i można go produkować w tysiącach. I właśnie dlatego go produkują – w tysiącach. ■

Paul Bavarian

Morze Czarne – operacje ukraińskich dronów morskich USV 2022–2026
Strategiczne zepchnięcie Floty Czarnomorskiej z zachodniego Morza Czarnego



Operacje ukraińskich USV na Morzu Czarnym 2022–2026 – kluczowe ataki i strategiczna ewakuacja Floty Czarnomorskiej. Źródło: H.I. Sutton/NavalNews, ISW, Ukraine MOD, OSINT, oprac. Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



Ukraińska produkcja seryjna części do dronów FPV z wykorzystaniem drukarek 3D. Kilkadziesiąt drukarek FDM pracujących równocześnie w przestrzeni coworkingowej we Lwowie. Drukowane elementy: obudowy kontrolerów lotu, mocowania kamer, stabilizatory. Materiał: PET-G i nylon PA12 wzmocniony włóknem szklanym. Źródło: Telegram/47 окрема механізована бригада «Маґура»

Fabryka w garażu

Jak Ukraina produkuje milion dronów rocznie – manufaktury, druk 3D i open source na froncie

Najważniejsza lekcja z ukraińskiej produkcji dronów nie jest techniczna. Jest organizacyjna. Kiedy w lutym 2022 roku Rosja zaatakowała, Ukraina nie miała prawie żadnego przemysłowego zaplecza do produkcji dronów wojskowych. Cztery lata później produkuje ponad milion jednostek rocznie. Zrobiła to nie przez budowanie wielkich fabryk – ale przez uruchomienie setek małych, rozproszonych punktów produkcyjnych, połączonych wspólną wiedzą, otwartymi projektami CAD i siecią Starlink.

Ta historia jest ważna nie tylko dla Ukrainy. Pokazuje, że nowoczesna produkcja zbrojeniowa nie musi wyglądać jak Boeing albo Lockheed Martin. Może wyglądać jak sieć garaży, coworkingów i szkolnych warsztatów – i być zarazem szybsza, odporniejsza i tańsza niż tradycyjny przemysł obronny.

Dwa modele produkcji: garść fabryk vs tysiąc garaży

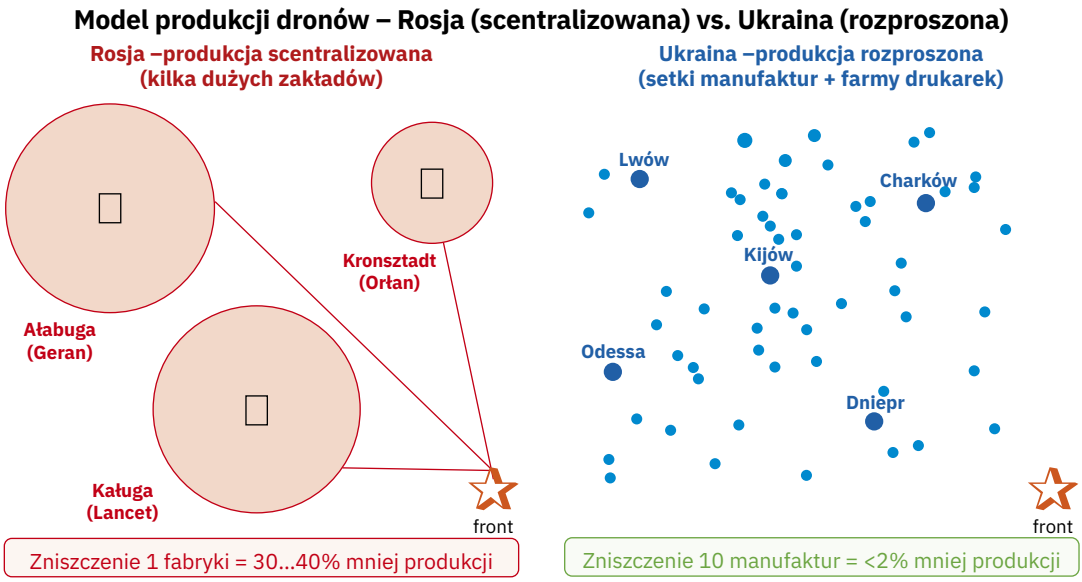
Rosja i Ukraina wybrały diametralnie różne modele produkcji dronów – i oba mają swoje logiki.

Model rosyjski: skalowalność i powtarzalność

Rosja produkuje drony w kilku dużych, wyspecjalizowanych zakładach – m.in. w specjalnej strefie ekonomicznej Ałabuga w Tatarstanie, gdzie powstaje większość Geranów. Scentralizowany model ma realne zalety: łatwiejsze zapewnienie jakości, ekonomia skali, prosta logistyka komponentów, możliwość szybkiego zwiększenia wolumenu produkcji konkretnego modelu.

Wada jest oczywista: każdy z tych zakładów to strategiczny cel. Ukraina atakowała

eprasa.pl a93bb99ddb

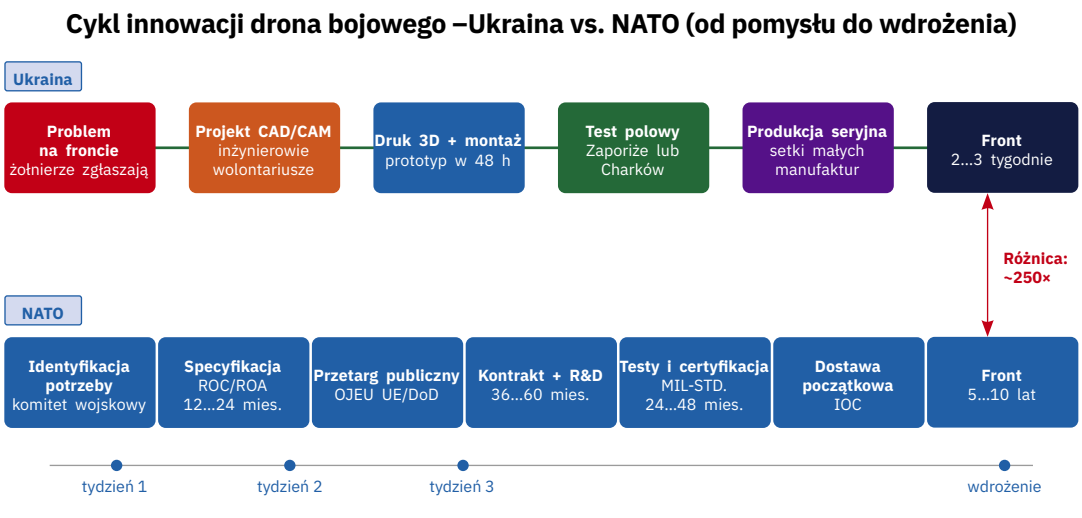


1. Centralizacja vs decentralizacja produkcji dronów – Rosja vs Ukraina. Źródło: VGI Kyiv, ISW, Ukraine MOD 2025/2026, oprac. Młody Technik

rosyjskie fabryki dronów wielokrotnie – używając własnych dronów dalekiego zasięgu. Zniszczenie lub poważne uszkodzenie jednego zakładu oznacza utratę 20...40% mocy produkcyjnej całego sektora. Rosja odpowiedziała wzmocnieniem obrony przeciwlotniczej wokół fabryk i przeniesieniem części produkcji w głąb terytorium – ale to wydłuża i podraża łańcuchy dostaw.

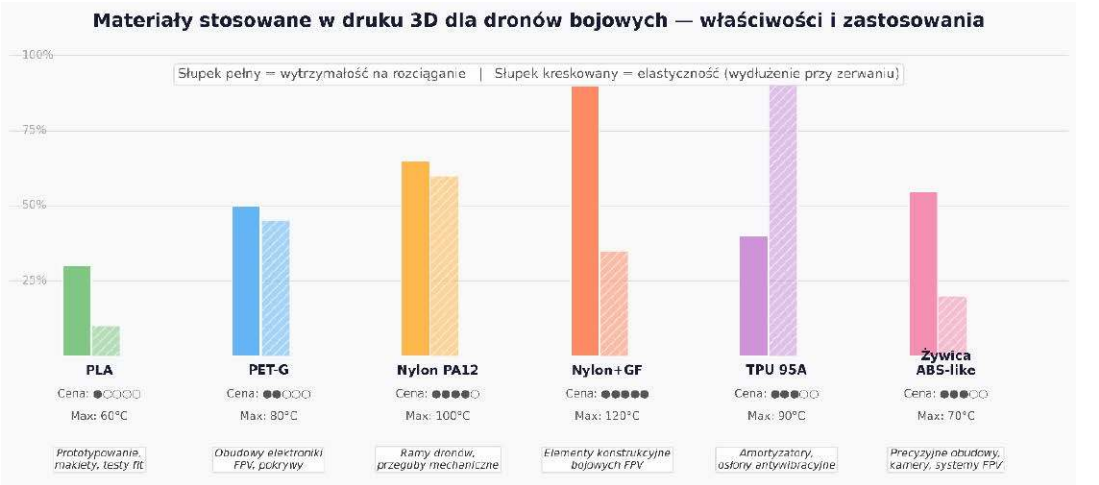
Model ukraiński: odporność i prędkość adaptacji

Ukraina poszła w przeciwnym kierunku: zamiast kilku dużych fabryk – setki małych manufaktur, rozproszonych po całym kraju. Garaże, przestrzenie coworkingowe, hale sportowe, sale szkolne. Każda produkuje inny element lub inny model drona. Żadna nie jest niezbędna do działania całego systemu.



2. Cykl innowacji drona bojowego – Ukraina vs NATO. Różnica: około 250 razy szybciej. Źródło: VGI Kyiv 2026, Inside Unmanned Systems 2026, 423rd Gryphon Unit, oprac. Młody Technik

eprasa.pl a93bb99ddb



3. Materiały stosowane w druku 3D dla dronów bojowych – właściwości i zastosowania. Źródło: dane producentów filamentów, praktyka produkcji dronów UA, Młody Technik

Kluczowa zaleta to odporność: Rosja musiałaby zniszczyć setki celów jednocześnie, żeby istotnie zaburzyć ukraińską produkcję dronów. W praktyce jest to niemożliwe. Dodatkowa zaleta to szybkość adaptacji: mała manufaktura może zmienić produkowany model w ciągu dni. Duża fabryka potrzebuje tygodni lub miesięcy na rekonfigurację linii produkcyjnej.

Wadą modelu rozproszonego jest trudność w zapewnieniu jednorodnej jakości i wyższe jednostkowe koszty produkcji. Ukraina akceptuje te kompromisy, bo w jej sytuacji odporność i szybkość adaptacji są ważniejsze niż optymalna efektywność ekonomiczna.

Cykl innowacji: dwa tygodnie od pomysłu do frontu

Ukraiński cykl innowacji drona bojowego wygląda następująco: żołnierz na froncie zgłasza problem – „dron nie może wlecieć w strefę jammera po północy, bo kamera nie widzi w ciemności". Informacja trafia do wolontariusza-inżyniera przez Telegram lub Discord. Ten projektuje modyfikację w CAD, eksportuje do druku 3D, drukuje prototyp w nocy. Następnego dnia rano części jadą na front pociągiem albo autokarem. Po tygodniu wiadomo, czy rozwiązanie działa. Jeśli tak – projekt trafia do sieci i w ciągu kolejnego tygodnia setki manufaktur drukuje nowe wersje.

Cały cykl: dwa do trzech tygodni. Dla porównania: analogiczny cykl w systemie zamówień obronnych NATO – od identyfikacji potrzeby do dostawy zmodyfikowanego sprzętu – trwa średnio od pięciu do dziesięciu lat. To nie jest zarzut pod adresem NATO. To konsekwencja procedur bezpieczeństwa, przetargów publicznych i wieloletnich kontraktów, które są sensowne w czasie pokoju. Ale na wojnie ta różnica jest strategiczna.

Druk 3D – serce ukraińskiej produkcji

Ukraina ma według różnych szacunków największą na świecie sieć farm drukarek 3D używanych do produkcji militarnej. Liczba aktywnych maszyn szacowana jest na kilkadziesiąt tysięcy – od profesjonalnych drukarek przemysłowych

Jak działa druk FDM i dlaczego orientacja warstw ma znaczenie?

FDM (Fused Deposition Modeling) – najczęstszy typ drukarki 3D – wytłacza roztopiony filament przez dyszę i nakłada go warstwa po warstwie. Grubość warstwy (typowo 0,1...0,3 mm) to kluczowy parametr: cieńsze warstwy to lepsza jakość powierzchni i wytrzymałość, ale dłuższy czas druku. Przy druku orientowanym pionowo właściwości mechaniczne między warstwami (oś Z) są znacznie gorsze niż wewnątrz warstwy (osie XY) – bo wiązanie chemiczne między warstwami jest słabsze niż wewnątrz wyciśniętej nitki. Dlatego projektant musi myśleć o orientacji druku: element, który będzie ściskany prostopadle do kierunku Z, należy orientować tak, żeby linie sił biegły wzdłuż XY. Ignorowanie tego prowadzi do pęknięć w nieoczekiwanych miejscach.

eprasa.pl a93bb99ddb

FDM i SLA w zakładach produkcyjnych, po domowe Prusa i3 i Bambu Lab w mieszkaniach wolontariuszy.

Co się drukuje? Wbrew pozorom nie są to kompletne drony – druk 3D ma za małe prędkości i za słabe właściwości mechaniczne do produkcji ram nośnych. Drukuje się natomiast: obudowy elektroniki (kontrolery lotu, odbiorniki RC, regulatory ESC), mocowania kamer i anten, stabilizatory lotu dla granatów zrzucanych z dronów, osłony antywibracyjne silników, adaptery do montażu różnych komponentów, a także całkowite osłony i karoserie dronów zwiadowczych i logistycznych.

PET-G – ulubiony filament frontu

PET-G (glikol politereftalanu etylenu) stał się dominującym materiałem dla bojowych zastosowań FPV nie przez przypadek. Łączy umiarkowaną wytrzymałość mechaniczną z doskonałą udarnością – nie pęka od razu przy uderzeniu, tylko odkształca się i absorbuje energię. Jest hydrofobowy – odporny na wilgoć i deszcz, co jest istotne dla elektroniki w terenie. Temperatura odkształcenia około 80°C jest wystarczająca dla większości zastosowań. I drukuje się łatwo – bez podgrzewanej komory, bez specjalnych warunków.

Nylon z domieszką włókna szklanego (PA-12-GF) jest twardszy i odporniejszy termicznie, ale trudniejszy w druku – wymaga podgrzewanej komory i dokładnej kalibracji. Używany do bardziej wymagających elementów konstrukcyjnych: przegubów, mocowania silników, elementów przenoszących większe obciążenia.

Open source na wojnie

Jednym z najmniej oczywistych filarów ukraińskiej produkcji dronów jest kultura open-source. Projekty CAD dronów, schematy elektroniczne, zmodyfikowany firmware Betaflight i kody źródłowe systemów AI – to wszystko krąży po ukraińskich serwerach Discord, kanałach Telegram i repozytoriach GitHub. Wolontariusze z całego świata mogą pobrać projekt, wydrukować i złożyć drona.

Ministerstwo Cyfryzacji Ukrainy, kierowane przez Mychajła Fedorowa, aktywnie wspierało tę kulturę – publikując oficjalne projekty stabilizatorów do granatów, organizując hackathony dla inżynierów-wolontariuszy i tworząc platformy do koordynacji między potrzebami frontu a możliwościami produkcyjnymi. Platforma Brave1 – ukraiński klaster obronny – połączyła setki startupów technologicznych z wojskiem i finansowaniem.

Ta transparentność ma swoich krytyków: otwarte projekty mogą trafić do przeciwnika. Ukraina świadomie akceptuje to ryzyko, bo korzyść z szybkiej iteracji i masowej produkcji przewyższa ryzyko kopiowania. Poza tym: Rosja i tak analizuje zestrzelone drony i replikuje rozwiązania – otwarcie projektów niewiele zmienia po stronie wroga, a bardzo dużo po stronie własnej zdolności produkcyjnej.

Starlink – kręgosłup systemu

Trudno przecenić rolę sieci satelitarnej Starlink w ukraińskiej produkcji i logistyce dronów. Starlink zapewnia szerokopasmowy internet w całym kraju – również w rejonach przyfrontowych, gdzie infrastruktura kablowa została zniszczona. To oznacza, że manufaktura w Zaporożu może w czasie rzeczywistym synchronizować pliki projektowe z inżynierami we Lwowie, pobierać aktualizacje firmware z serwera w Kijowie i przesyłać raporty jakości do koordynatora w Warszawie.

Drony Baba Jaga i bardziej zaawansowane platformy latające używają terminali Starlink bezpośrednio jako systemu łączności – zamiast tradycyjnych linków RC o ograniczonym zasięgu. Terminal Starlink mini o wadze 1,2 kg zapewnia połączenie z przepustowością do 100 Mbps nawet w czasie lotu – co jest absolutnie wystarczające do transmisji obrazu HD z wielu kamer jednocześnie i sterowania dronem z dowolnego miejsca na świecie.

Starlink mini na dronie – fizyka i inżynieria

Terminal Starlink mini waży 1,2 kg i pobiera około 25 W – to dużo jak na drona, ale do zniesienia dla ciężkich heksakopterów klasy Baba Jaga (udźwig 10...15 kg). Kluczowe wyzwanie: terminal musi być skierowany ku niebu z dokładnością kilku stopni, żeby utrzymać połączenie z satelitą. Na dronie w ruchu wymaga to gimbalu stabilizującego antenę – dodatkowe 300...500 g masy i kolejny system do zasilania. Alternatywa: antena phased-array mini, która elektronicznie kieruje wiązkę bez mechanicznego ruchu. Satelity Starlink są na orbicie niskiej (LEO, 550 km) – latencja wynosi około 20...40 ms, co jest wystarczające do sterowania dronem w czasie rzeczywistym (ludzki czas reakcji to około 200 ms).

eprasa.pl a93bb99ddb

Co to znaczy dla reszty świata

Ukraiński model produkcji dronów rozstrzyga debatę, która toczy się w środowiskach obronnych od lat: czy można skutecznie walczyć tanimi, masowymi, ciągle ewoluującymi systemami zamiast drogimi, dopracowanymi, certyfikowanymi platformami? Odpowiedź brzmi: tak, pod warunkiem że masz dostatecznie duży ekosystem inżynierów, kulturę open-source i infrastrukturę komunikacyjną łączącą ich w jeden organizm.

Polska planuje zakup ukraińskiej technologii antydronowej – ale warto zwrócić uwagę, że sama technologia bez towarzyszącego jej ekosystemu produkcyjnego i innowacyjnego jest tylko połową rozwiązania. Prawdziwa lekcja z Ukrainy nie brzmi „kupcie te drony". Brzmi: „zbudujcie ten ekosystem".

Dla młodych inżynierów – adresatów tego numeru Młodego Technika – jest w tym osobiste przesłanie. Większość przełomowych rozwiązań technicznych opisanych w tym numerze nie powstała w korporacyjnych laboratoriach R&D. Powstała w garażu, coworkingu lub mieszkaniu wolontariusza. Przez kogoś, kto rozumiał problem, miał odpowiednie narzędzia i nie czekał na zezwolenie od komitetu.

Si vis pacem – jeśli chcesz pokoju – naucz się projektować, programować i budować. Reszta przyjdzie sama. ■

Paul Bavarian

O Autorze
Paul Bavarian jest wnukiem mojego bułgarskiego przyjaciela z czasów studenckich w Politechnice Kijowskiej. Pasjonują go nowe technologie, które obserwuje z perspektywy kalifornijskiej.
The last but not least – odziedziczył po swoim dziadku fascynację Polską.

Prof. Wiesław Marciniak

Bibliografia:

Drony na polu walki i autonomia

1. Kaluderovic C., The Coming Compute War in Ukraine, Atlantic Council, Washington, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
2. Putnam M., Battlefield Drones and the Accelerating Autonomous Arms Race in Ukraine, Modern War Institute, West Point, 2025, online, dostęp: 10.04.2026.
3. Kumar A., Autonomous Drones: Emerging Trends from the Ukraine War, Centre for Air Power Studies, New Delhi, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
4. CEPA, How Are Drones Changing War? The Future of the Battlefield, Center for European Policy Analysis, Washington, 2025, online, dostęp: 10.04.2026.
5. CEPA, The Heart of War: Ukraine's Key Battlefield System, Center for European Policy Analysis, Washington, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
6. The Economist, Autonomous Swarms Are the Future of Drone Warfare, The Economist, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
7. Defender Media, Drone Autonomy 2026 – Real-World Development and Deployment of Autonomous Drone Systems and AI in Defense, materiały konferencji branżowej, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.

FPV, roje i lekcje z Ukrainy

8. VGI, From Quantity to Algorithms: How FPV Warfare Is Changing in 2026, VGI, Kijów, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
9. Minculete G., Essential Approaches to the Use of Combat Drones. Specific Elements of the Armed Conflict in Ukraine, Bulletin (Romanian National Defence University), 2023, online, dostęp: 10.04.2026.
10. Inside Unmanned Systems, Drone Dominance and the Lessons of Ukraine's FPV War, Inside Unmanned Systems, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
11. 423rd Gryphon Unit, Military Drones 2026: How Modern Warfare Has Changed, 423grifony.com, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.

Konstrukcje bojowe i drony dalekiego zasięgu (OWA-UAV)

12. Sutton H. I., Guide to Ukraine's Long Range Attack Drones, NavalNews.com, 2025, online, dostęp: 10.04.2026.
13. SSBCrack, Top 10 Military Drones of 2026: Capabilities and Features, SSBCrack, 2024, online, dostęp: 10.04.2026.

Systemy C-UAS i obrona przed dronami

14. CNN, Ukraine's Counter-Drone Expertise Has Been Hard Won. War in Ukraine Shapes Global C-UAS, CNN.com, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
15. Forecast International, New Counter-Drone Capability and New Markets Raise Profile of Advanced Vehicle Protection Systems, Defense & Security Monitor, 2025, online, dostęp: 10.04.2026.
16. VettaFi, Why 2026 Will Be a Big Year for Drones, VettaFi, 2026, online, dostęp: 10.04.2026. Sekcje dotyczące radarów, RF-analizatorów, AI-driven jamming i interceptor drones.
17. TEKNOFEST, Autonomous Aerial Combat Takes the Stage at TEKNOFEST 2026: Combat UAV Hunter Drone Competition Rules, TEKNOFEST, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.

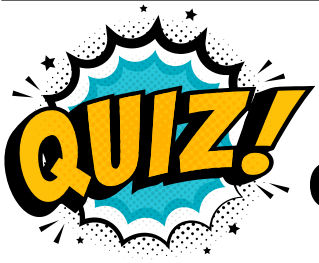
Opracowania techniczno-analityczne (ogólne)

18. Atlantic Council/The Big Story, The Coming Compute War in Ukraine, Atlantic Council, 2026, online, dostęp: 10.04.2026. Seria materiałów dotyczących rojów i AI-assisted targeting.
19. Militär Aktuell, Ukraine: Current Figures from the Drone War, Militär Aktuell, 2026, online, dostęp: 10.04.2026.
20. United24 Media, Military Drone Types Explained: UAVs, FPV & Beyond, United24 Media, 2025, online, dostęp: 10.04.2026.

Źródła OSINT i analityczne cytowane w tekstach artykułów:

- Oryx (oryxspioenkop.com) – dokumentacja zniszczonego sprzętu obu stron konfliktu z weryfikacją fotograficzną.
- Institute for the Study of War (ISW, understandingwar.org) – codzienne raporty z frontu ukraińskiego.
- Conflict Armament Research (conflictarm.com) – analizy komponentów elektronicznych z rosyjskich dronów.
- H. I. Sutton/NavalNews (navalnews.com) – analizy ukraińskich i rosyjskich dronów morskich.
- Ukraine MOD (mil.gov.ua) – oficjalne komunikaty, statystyki zestrzelonych dronów.
- Defense Express (defense-ua.com) – ukraiński serwis analityczny poświęcony technice wojskowej.

eprasa.pl a93bb99ddb



Sprawdź co wiesz o dronach bojowych

15 pytań. Jedna odpowiedź prawidłowa. Odpowiedzi znajdziesz na ostatniej stronie – ale spróbuj najpierw samodzielnie!

1. Czym jest loitering munition i czym różni się od tradycyjnego pocisku rakietowego?
- ☐ A. Pociskiem balistycznym wystrzelonym po krzywej paraboli
- ☐ B. Amunicją krążącą, która może czekać nad celem i uderzyć w wybranym momencie
- ☐ C. Dronem wielokrotnego użytku powracającym do bazy po misji
- ☐ D. Miniaturową torpedą do ataków na okręty nawodne

2. Skąd pochodzi rosyjski dron Geran-2?
- ☐ A. Jest oryginalną rosyjską konstrukcją opracowaną w Ałabudze od podstaw
- ☐ B. Pochodzi z chińskiej platformy DJI Agricultural zmodyfikowanej przez Rosję
- ☐ C. Jest kopią irańskiego Shaheda-136 produkowanego przez HESA
- ☐ D. Bazuje na ukraińskim projekcie Boba przechwyconym w 2014 roku

3. Jaki moduł obliczeniowy AI najczęściej stosuje się w zaawansowanych ukraińskich i rosyjskich dronach kamikaze?
- ☐ A. Intel Core i9 – procesor laptopowy
- ☐ B. Nvidia Jetson Orin Nano – 40 TOPS przy 7...15 W
- ☐ C. Raspberry Pi Zero 2W – najtańsze dostępne rozwiązanie
- ☐ D. STM32F4 – mikrokontroler ARM Cortex-M4

4. Dlaczego Ukraina produkuje setki różnych modeli dronów zamiast skupić się na jednym doskonałym?
- ☐ A. Ze względu na brak koordynacji między różnymi jednostkami wojskowymi
- ☐ B. Przepisy UE wymagają dywersyfikacji dostawców sprzętu wojskowego
- ☐ C. Aby skrócić cykl innowacji – testować wiele rozwiązań jednocześnie i wdrażać najlepsze
- ☐ D. Ponieważ poszczególne regiony Ukrainy mają różne przepisy dotyczące produkcji

5. Co to jest jamming i czym różni się od spoofingu GPS?
- ☐ A. Jamming to atak hakerski na oprogramowanie drona; spoofing to fizyczne uszkodzenie anteny
- ☐ B. Jamming zagłusza sygnał szumem; spoofing emituje fałszywy sygnał GPS, który dron uznaje za prawdziwy
- ☐ C. Oba terminy oznaczają to samo – zagłuszanie elektroniczne
- ☐ D. Jamming dotyczy sygnałów radiowych; spoofing wyłącznie sygnałów optycznych

6. O ile słabszy jest sygnał GPS z satelity w porównaniu do typowego sygnału Wi-Fi?
- ☐ A. Około 1000 razy (30 dB)
- ☐ B. Około milion razy (60 dB)
- ☐ C. Około miliard razy (90 dB)
- ☐ D. 10 miliardów razy – 10^{10} (100 dB)

7. Jaka jest kluczowa zaleta drona FPV z łącznością światłowodową (seria Vandal)?
- ☐ A. Nieograniczony zasięg operacyjny bez utraty jakości obrazu
- ☐ B. Całkowita odporność na zagłuszanie – brak sygnału radiowego do zakłócenia
- ☐ C. Możliwość samodzielnego powrotu do bazy po zakończeniu misji
- ☐ D. Mniejsza masa dzięki wyeliminowaniu akumulatora nadajnika

8. Ile dronów FPV wyprodukowała Ukraina szacunkowo w 2025 roku?
- ☐ A. Około 10 000 sztuk
- ☐ B. Około 100 000 sztuk
- ☐ C. Ponad milion sztuk
- ☐ D. Około 5 milionów sztuk

9. Czym jest głowica HEAT stosowana w dronach FPV i dlaczego pokonuje rosyjskie siatki ochronne?
- ☐ A. Głowicą termobaryczną tworzącą chmurę aerozolu detonowaną po kontakcie z siatką
- ☐ B. Głowicą kumulacyjną odstrzelającą strumień z 2...3 m – siatka jest już za nią

eprasa.pl a93bb99ddb

☐ C. Głowicą odłamkową detonowaną nad siatką, zasypującą żołnierzy kulkami
☐ D. Głowicą termobaryczną detonowaną elektrycznie po sygnale z drona-matki

10. Co to jest stigmergia w kontekście algorytmów rojowych?
☐ A. Protokół szyfrowania komunikacji między dronami w roju
☐ B. Koordynacja przez wspólne środowisko – drony reagują na dane zostawione przez inne drony
☐ C. System centralnego zarządzania przydzielający zadania każdemu dronowi z osobna
☐ D. Technika nawigacji wizualnej używana przez drony zwiadowcze

11. Jaki strategiczny efekt osiągnęły ukraińskie drony morskie USV na Morzu Czarnym?
☐ A. Całkowite zniszczenie Floty Czarnomorskiej w bitwie morskiej
☐ B. Zablokowanie cieśniny Kerczeńskiej i odcięcie Krymu od dostaw
☐ C. Zmuszenie Floty Czarnomorskiej do ewakuacji z Sewastopola do Noworosyjska
☐ D. Przechwycenie rosyjskich okrętów podwodnych w akwenie Morza Czarnego

12. Dlaczego Ukraina stosuje sieć 14 000 mikrofonów w systemie obrony antydronowej?
☐ A. Do podsłuchiwania rosyjskiej komunikacji radiowej na froncie
☐ B. Drony FPV mają minimalny ślad radarowy – łatwiej je wykryć akustycznie niż radarowo
☐ C. Jako backup dla systemu GPS w przypadku rosyjskiego spoofingu
☐ D. Do triangulacji pozycji własnych żołnierzy w terenie zurbanizowanym

13. Jaka jest główna zaleta napędu hybrydowego w bojowych UGV (np. Ironclad, Ulan-2)?
☐ A. Wyższa prędkość maksymalna niż przy napędzie czysto spalinowym
☐ B. Cicha praca elektryczna przy froncie + większy zasięg generatora spalinowego poza nim
☐ C. Niższy koszt produkcji dzięki uproszczonej skrzynce biegów
☐ D. Lepsza odporność na zakłócenia elektromagnetyczne jammera

14. Co to jest MARL w kontekście rojów dronów?
☐ A. Morskie Autonomiczne Rozpoznawanie Lądowisk – system nawigacji USV
☐ B. Multi-Agent Reinforcement Learning – uczenie maszynowe wielu agentów jednocześnie
☐ C. Modularny Agregator Radiowy Lotniczy – protokół sieciowy mesh dla dronów
☐ D. Miniaturowy Akcelerator Rozpoznawania Liniowego – chip AI firmy Sipeed

15. Ile wynosi szacunkowy stosunek kosztu ataku do kosztu obrony gdy Ukraina używa Patriota PAC-3 do zestrzelenia rosyjskiego Gerana-2?
☐ A. Około 1:2 – Geran kosztuje połowę ceny rakiety Patriot
☐ B. Około 1:10 – Geran jest 10 razy tańszy od pocisku Patriot
☐ C. Około 1:80 – Geran (50 tys. USD) vs Patriot PAC-3 (4 mln USD)
☐ D. Około 1:500 – Geran kosztuje tyle co jeden pocisk odłamkowy

Klucz odpowiedzi
Każda poprawna odpowiedź = 1 punkt. Maksymalnie: 15 punktów.
1. B – Loitering munition = amunicja krążąca – czeka, wybiera cel, uderza. Artykuł 3.
2. C – Geran-2 = Shahed-136 z rosyjską awioniką. Genealogia: HESA → Shahed → Geran. Artykuł 3.
3. B – Jetson Orin Nano: 40 TOPS, 155 g, 7…15 W – stosunek wydajności do masy idealny dla drona. Artykuł 3.
4. C – Setki platform = szybsze testowanie i adaptacja. Cykl innowacji: 2…3 tygodnie. Artykuł 1 i 9.
5. B – Jamming = szum zamiast sygnału. Spoofing = fałszywy sygnał mocniejszy od satelity. Artykuł 7.
6. D – GPS: -130 dBm, Wi-Fi w pomieszczeniu: –30 dBm. Różnica 100 dB = 10^{10} = 10 miliardów razy. Artykuł 7.
7. B – Światłowód przenosi fotony – pole EM jammera nie oddziałuje na fotony. Artykuł 4.
8. C – Oficjalne dane Ukraine MOD: ponad 1 000 000 dronów FPV w 2025 roku. Artykuł 1.
9. B – HEAT = kumulacyjna, odpala z 2…3 m. Strumień przebija siatkę i dociera do pojazdu. Artykuł 4.
10. B – Stigmergia: jak mrówki z feromonami – lokalne reakcje prowadzą do globalnej koordynacji. Artykuł 6.
11. C – Bez jednej bitwy morskiej – FCz wycofała się do Noworosyjska, tracąc przewagę operacyjną. Artykuł 8.
12. B – Małe drony FPV = niewidoczne dla radaru przy ziemi. Ale BLDC + śmigła brzmią charakterystycznie. Artykuł 7.
13. B – Elektryczny = cichy, chłodny przy froncie. Spalinowy = zasięg i ładowanie poza strefą kontaktu. Artykuł 8.
14. B – MARL: wiele agentów (dronów) uczy się jednocześnie, nagrody częściowo kolektywne. Artykuł 6.
15. C – Geran ~50k USD, Patriot PAC-3 ~4 mln USD. Stosunek ~1:80. Właśnie dlatego powstał Sting za 3k USD. Art. 2.

12…15 pkt.– Ekspert: znasz szczegóły techniczne lepiej niż niejeden wojskowy analityk.
8…11 pkt.– Zaawansowany: solidna baza, warto wrócić do artykułów o systemach, które sprawiły trudność.
0…7 pkt.– Początkujący: zacznij od artykułu 1 i czytaj kolejno. Drugi raz powinno pójść znacznie lepiej.

eprasa.pl a93bb99ddb

Nauka języków z czatbotem (1)



Znajomość języków obcych to w dobie globalizacji niemal konieczność, jednak tradycyjne metody nauki bywają kosztowne i mało elastyczne. Czy rozwiązaniem może być wirtualny nauczyciel, który nigdy nie traci cierpliwości i jest dostępny przez całą dobę? W pierwszej części naszego cyklu przyglądamy się, jak rewolucja AI zmienia sektor edukacji. Analizujemy popularną aplikację Praktika, sprawdzając, jak technologie takie jak ChatGPT i silniki gier 3D tworzą nową rzeczywistość nauki – od poziomu podstawowego po zaawansowane konwersacje z awatarami. Przekonajcie się, czy przyszłość korepetycji rzeczywiście należy do maszyn.

Dzięki popularyzacji Internetu każdy z nas ma dostęp do znacznie szerszej puli informacji, mediów i kontaktów niż poprzednie pokolenia. Dotyczy to zarówno zagranicznych portali popowych, jak i materiałów biznesowych. Obejmuje sferę rozrywki – od wysokobudżetowych filmów po amatorskie produkcje publikowane na platformie YouTube. Wreszcie, wiąże się z dostępem do kultury i historii odległych miejsc oraz możliwością nawiązywania nowych znajomości. W końcu jedynie 0,5% ludzi na świecie zna język polski [1]. Jednym z niewielu pozostałych ograniczeń dostępu do tych zasobów jest bariera językowa. Komputery oferują dziś wiele różnych sposobów tłumaczenia, takich jak klasyczne translatory czy modele językowe. Ich dostępność w świecie rzeczywistym stale rośnie dzięki rozwojowi nowych narzędzi. Jednakże najlepszym sposobem na zrozumienie obcego języka pozostaje jego nauka. Ponad 4 miliardy ludzi zna i używa drugiego języka [2], z czego według niektórych danych 1,5 miliarda uczy się go aktywnie [3]. Bliżej naszego podwórka – około 86% Polaków w dużych miastach jest co najmniej komunikatywnych w obcym języku [4]. Czy rewolucja AI dosięgła również tę gałąź edukacji? Pomijając oczywiste oszustwa w testach, które stały się plagą szkół na całym świecie, w tym artykule przyjrzymy się koncepcji wykorzystania dużego modelu językowego – agenta LLM, czyli po prostu chatbota – jako korepetytora.

Nauczyciel wirtualny

Językoznawca w maszynie zawsze znajdzie dla Ciebie czas, poświęci całą swoją uwagę na zapamiętywanie informacji o Tobie i Twoim procesie nauki. Co najważniejsze,



kosztuje znacznie mniej niż tradycyjny nauczyciel z krwi i kości. Omówmy więc najpopularniejszą aplikację oferującą tego typu boty. Praktika jest dostępna do pobrania za darmo w sklepie Google Play i figuruje na szczycie

eprasa.pl a93bb99ddb







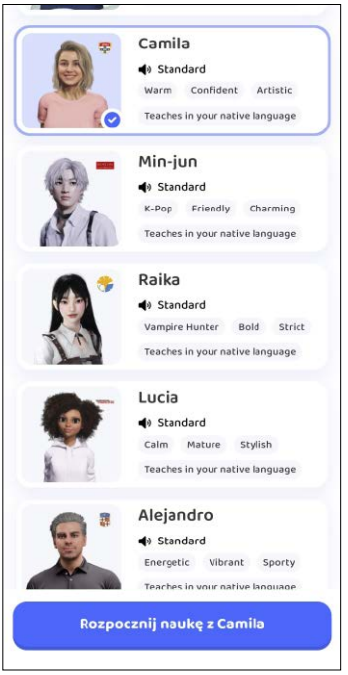
rankingów z ponad dziesięcioma milionami pobrań oraz milionem stosunkowo pozytywnych recenzji. Aplikacja opiera się na trzech głównych technologiach: silniku Unity do wyświetlania awatarów 3D, integracji ChatGPT jako głównego modelu językowego oraz funkcji zamiany mowy na tekst i odwrotnie, opartej na autorskich modelach opracowanych za pomocą ElevenLabs – aplikacji, która może pojawić się w jednym z kolejnych artykułów.

Poziom Ao

Po uruchomieniu aplikacji, pierwsze pięć minut spędzimy na odpowiadaniu na pytania, aby spersonalizować nasze doświadczenie. Innymi słowy, będziemy klikać w kolejne pozycje menu z opcjami takimi jak: „Interesuję się: sportem", „Usłyszałem o aplikacji od: ChatGPT" czy „Uczę się tego języka w celu: podróży". Ten etap mógłby zostać usprawniony dzięki komunikacji z chatbotem, jednak, prawdę powiedziawszy, większość pytań nie ma wpływu na naukę – aplikacja zmusza nas do podania danych diagnostycznych przed dopuszczeniem do użycia. Po zakończeniu tego etapu możemy wreszcie wybrać język i awatara naszego korepetytora.

Do wyboru mamy obecnie dziewięć języków i szesnaście postaci korepetytorów. Ich wygląd można podzielić na trzy style: realistyczny, wschodni i „disneyowski". Dwayne czy Steve przypominają prawdziwych ludzi, natomiast Xander, Min-jun i Raika wyglądają jak postacie z koreańskiej gry wideo. Jeśli dobrze zrozumiałem, zajmują się kolejno rolą wampira, gwiazdy K-popu oraz japońskiej uczennicy i łowczyni wampirów. Lucia natomiast posiada niepokojąco duże oczy, przypominające postacie ze współczesnych filmów animowanych. Mamy więc do wyboru szeroki wachlarz kolorowych instruktorów. Ich osobowość, styl wypowiedzi oraz głos są opisane tagami takimi jak „Spokojny", „Energiczny", „Skupienie" czy „Gotycki".

Po wybraniu korepetytora zostaje załadowana scena, w której spędzimy większość czasu w aplikacji. Na górze ekranu znajduje się model awatara, a niżej widzimy czat, na którym



eprasa.pl a93bb99ddb







możemy zarówno rozmawiać z botem, jak i do niego pisać. Jego pierwszym zadaniem jest oszacowanie naszej znajomości języka, mimo iż dopiero co podaliśmy go ocenie wraz z danymi diagnostycznymi. Jest to oczywiście rozmowa demonstracyjna, mająca pokazać możliwości aplikacji. Subskrypcja kosztuje 50 zł miesięcznie lub 400 zł rocznie, zaczynając od tygodnia bezpłatnego okresu próbnego, który wymaga naturalnie podłączenia karty kredytowej. Aplikacja przewiduje krótkie, codzienne sesje nauki w formacie zapewne inspirowanym Duolingo. Z technicznego punktu widzenia aplikacja łączy wiele modułów uczenia maszynowego, aby utworzyć czat, w którym odbywa się nauka. Rozmowy dzielą się na „lekcję" oraz „praktykę", przy czym w pierwszej awatar tworzy dla nas zadania, a w drugiej prowadzimy swobodną konwersację. W praktyce każda lekcja może trwać dowolnie długo – możemy w nieskończoność przerabiać zadania tego samego typu lub całkowicie odbiec od celu rozmowy. Istnieje szeroka różnorodność lekcji, dostosowana do poziomu znajomości, który wybierzemy – od A0 do C2. Poziom A0 zaczyna się od nauki najpopularniejszych zwrotów, podczas gdy w C2 znajdziemy ciekawsze lekcje, np. zrobienie zdjęcia przedmiotów z otoczenia i ich opisanie lub wysłuchanie nagrania i zinterpretowanie jego treści. Wszystkie materiały używane do lekcji są na bieżąco generowane przez model językowy.

Podsumowanie

W pierwszej części publikacji analizowaliśmy idee wirtualnego korepetytora i jak w praktyce wygląda zetknięcie z aplikacją. Od personalizacji profilu, przez wybór awatara, aż po strukturę lekcji i model subskrypcyjny. Na tym etapie widać już wyraźnie potencjał dużych modeli w edukacji językowej, ale także pierwsze sygnały kompromisów, na które muszą zgodzić się użytkownicy. W kolejnej części skupimy się na identyfikacji największych wad oraz zalet aplikacji, jej ograniczeń technologicznych oraz niespotykanej do tej pory personalizacji. Druga część poradnika ukaże się w wydaniu czerwcowym. ■

Przemysław Borys

Źródła:
1. https://researchinpoland.org/polish-language/
2. https://www.researchgate.net/publication/351588756
3. https://www.lingomelo.com/blog-page/language-learning-statistics
4. https://www.zymetria.pl/en/publications/75-percent-of-polands-urban-population-speaks-english
5. https://praktika.ai

eprasa.pl a93bb99ddb

Sterowiec „Norge" nad Biegunem Północnym

W dniach 11–14 maja br. wyprawa pod dowództwem Roalda Amundsena dokonała pierwszego przelotu nad Biegunem Północnym. Półsztywny sterowiec zaprojektowany przez Umberto Nobile wystartował ze Spitsbergenu i po 72 godzinach wylądował na Alasce, przemierzając ponad 5500 km. Przelot obalił mit o nieodkrytych lądach w centralnej Arktyce.

Komandor Byrd jako pierwszy nad Biegunem

W dniu 9 maja br. komandor Richard E. Byrd wraz z pilotem Floydem Bennettem odbyli przelot nad Biegunem Północnym na pokładzie trójsilnikowego Fokkera F.VII „Josephine Ford". Lot ze Spitsbergenu i z powrotem trwał 16 godzin. Po powrocie do Nowego Jorku Byrd witany był paradą na Broadwayu i odznaczony Medalem Honoru Kongresu.

Schrödinger rewolucjonizuje fizykę kwantową

W bieżącym roku austriacki fizyk Erwin Schrödinger opublikował serię czterech prac, w których sformułował równanie opisujące mechanikę cząstek subatomowych jako fal materii. Mechanika falowa pozwala precyzyjnie obliczać energie elektronów w atomach i okazuje się matematycznie równoważna mechanice macierzowej Heisenberga. Oba ujęcia tworzą fundament nowoczesnej fizyki kwantowej.

Narodziny kina dźwiękowego

W dniu 6 sierpnia br. wytwórnia Warner Bros. zaprezentowała w Nowym Jorku film „Don Juan" z pełną orkiestrową ścieżką dźwiękową w technologii Vitaphone. System zsynchronizowanych płyt gramofonowych i projektora udowodnił, że dźwięk wysokiej jakości może towarzyszyć obrazowi przez cały seans. Krytycy zgodnie zapowiadają koniec ery kina niemego.

Tunel pod rzeką Hudson

W bieżącym roku niemal ukończono drążenie tunelu drogowego pod rzeką Hudson między Manhattanem a New Jersey. Obiekt długości 2,6 km będzie pierwszym na świecie wentylowanym tunelem samochodowym – mechaniczny system wymienia powietrze co 90 sekund, neutralizując spaliny. Otwarcie planowane jest na rok przyszły.

Rekordy prędkości w wyścigach o Puchar Schneidera

Tegoroczne zawody o Puchar Schneidera na wodnosamolotach przyciągają najlepszych konstruktorów Europy i Ameryki. Silniki chłodzone cieczą, o mocy przekraczającej 700 KM, pozwalają osiągać prędkości bliskie 400 km/h. Rywalizacja ta staje się laboratorium rozwiązań aerodynamicznych, które wkrótce trafią do lotnictwa wojskowego i cywilnego.

Chrysler podbija rynek motoryzacyjny

Chrysler Corporation, powstała zaledwie rok temu, umacnia się jako trzecia siła amerykańskiej motoryzacji. Nowe modele Four i Six wyposażone są standardowo w hydrauliczne hamulce czterokolowe, a luksusowy Imperial z silnikiem 92 KM rywalizuje z Cadillakiem. Sprzedaż wzrosła do ponad 160 000 sztuk rocznie, a prasa coraz częściej mówi o „Wielkiej Trójce" Detroit (Ford, General Motors, Chrysler).

CWS T-1 – pierwszy polski samochód

Inżynier Tadeusz Tański w Centralnych Warsztatach Samochodowych w Warszawie finalizuje projekt pierwszego seryjnie produkowanego samochodu polskiej konstrukcji. Sześciocylindrowy CWS T-1 ma dowodzić, że rodzima myśl techniczna dorasta do wyzwań współczesnej motoryzacji. Uruchomienie produkcji planowane jest na najbliższe lata.

Jan Czochralski i hodowla kryształów

Polska nauka może poszczycić się w bieżącym roku rosnącą sławą Jana Czochralskiego, którego metoda wyciągania monokryształów metali zyskuje uznanie w laboratoriach całej Europy. Opracowana przez niego technika pozwala otrzymywać kryształy o niezwykłej czystości, otwierając perspektywy dla metalurgii i elektrotechniki. Niewielu jeszcze zdaje sobie sprawę, że metoda ta stanie się kiedyś fundamentem produkcji krzemowych układów scalonych.

Polski przemysł lotniczy na własnych skrzydłach

W bieżącym roku działają w Polsce dwie poważne wytwórnie samolotów: zakłady Plagego i Laśkiewicza w Lublinie oraz Podlaska Wytwórnia Samolotów w Białej Podlaskiej. Obie produkują maszyny na potrzeby wojska i rozwijają własne konstrukcje. Polska dołącza tym samym do nielicznego grona państw posiadających w pełni krajowy przemysł lotniczy. ■

eprasa.pl a93bb99ddb



1. Symboliczna wizualizacja końca gotówki – banknot i smartfon

Gotówka

Ostatnie życie banknotów

Gotówka umiera (**1**) albo – zależnie od kontynentu, pokolenia i zasobności portfela – ma się całkiem dobrze. W Szwecji płatności gotówkowe stanowią dziś zaledwie kilka procent wszystkich transakcji detalicznych. W Polsce BLIK stał się narodowym sportem płatniczym. W Niemczech – paradoksie Europy – gotówka wciąż odpowiada za ponad połowę transakcji. A na globalnym Południu miliardy ludzi bez konta bankowego trzymają cały swój majątek w banknotach. Historia zakończenia gotówki jest jednocześnie historią tego, czego jeszcze nie wymyśliliśmy, żeby ją zastąpić.

Szwecja idzie pierwsza

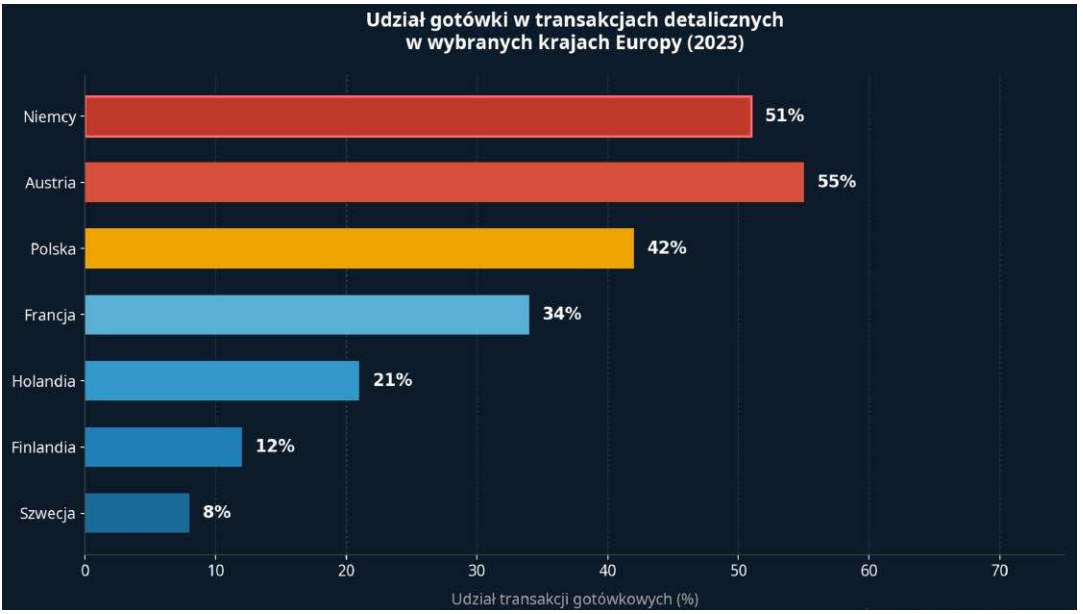
Królestwo Szwecji było jednym z pierwszych krajów na świecie, które wprowadziły banknoty – stało się to w 1661 roku. I teraz jest pierwszym, które prawie z nich rezygnuje. Udział gotówki w płatnościach detalicznych spadł tam z ok. 40 proc. w 2010 roku do mniej niż 8 proc. w 2023 (**2**). Większość Szwedów nie pamięta, kiedy ostatni raz płaciła banknotem.

Ale Szwecja natknęła się na ścianę, której nie przewidziała. Riksbank żąda od banków i sklepów, by zachowały gotówkową infrastrukturę jako rezerwę kryzysową. Co się dzieje, kiedy klęska żywiołowa lub atak cybernetyczny odcinają obywateli od systemów elektronicznych? Szwecja wycofała się krok do tyłu: gotówka miała zniknąć, ale okazało się, że jest potrzebna jako ostateczne zabezpieczenie.

Niemcy mówią „Nein”

Niemcy są jednym z najbardziej przywiązanych do gotówki narodów Zachodu. Badania Bundesbanku pokazują, że Niemcy płacą gotówką w około 51 procentach transakcji detalicznych (**3**). Niemcy nazywają to Bargeldmentalität – mentalnością gotówkową. Ekonomiści wskazują na historyczne traumy: hiperinflację lat 20. XX wieku i powojenną wymianę waluty w 1948 roku. Gotówka daje poczucie kontroli i prywatności – nie zostawia śladu transakcji.

eprasa.pl a93bb99ddb



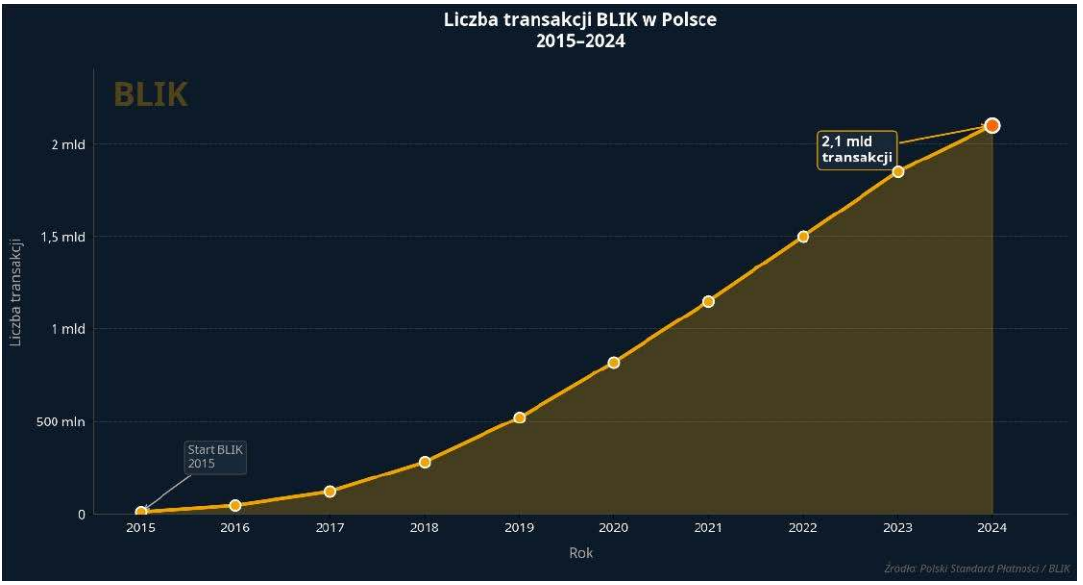
2. Udział transakcji gotówkowych w wybranych krajach Europy, 2023 r.



3. Dane Bundesbanku: Niemcy za gotówką

BLIK i Polska droga

Polska jest ciekawym przypadkiem pośredniego świata. Serwis płatności mobilnych BLIK, uruchomiony w 2015 roku, stał się europejskim fenomenem: w 2024 roku obsłużył ponad 2,1 miliarda transakcji (**4**). Polacy wysyłają sobie pieniądze BLIKiem tak samo naturalnie, jak SMS-ami. Ale gotówka w Polsce nie zniknie szybko z innego powodu: nieoficjalny



4. Infografika: liczba transakcji BLIK w Polsce 2015–2024

eprasa.pl a93bb99ddb



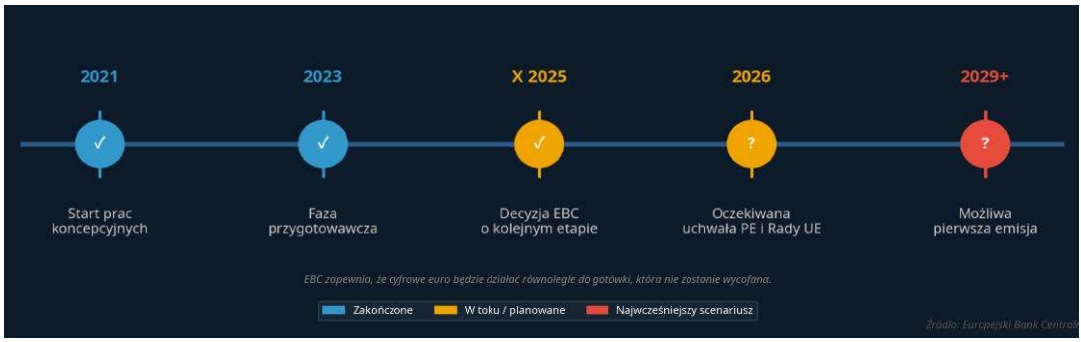
5. Zdjęcie użytkownika M-Pesa w Kenii podczas transferu pieniędzy na zwykłej komórce

obrót gotówką odpowiada za kilka do kilkunastu procent PKB. Remonty, usługi drobne, handel na bazarach – to ekosystem gotówkowy z silną motywacją, by pozostać niewidzialnym dla systemu podatkowego.

Co istotne – dyskusja prawna o granicy gotówki w Polsce jest wciąż żywa. Od stycznia 2026 roku obowiązuje limit transakcji gotówkowych dla firm na poziomie 15 000 zł, a od 2027 roku w całej Unii Europejskiej wejdzie w życie unijny limit 10 000 euro dla płatności gotówkowych. Dla konsumentów indywidualnych na razie żadnych ograniczeń ilościowych nie ma – choć projekt wprowadzenia limitu gotówkowego również dla transakcji prywatnych był już kilkakrotnie rozpatrywany w parlamencie.

Dwa miliardy ludzi bez konta

Rozmowa o końcu gotówki toczona w Europie jest luksusem ludzi z dostępem do banków i smartfonów. Tymczasem Bank Światowy szacuje, że ok. 1,4 miliarda dorosłych ludzi na świecie nie posiada żadnego rachunku bankowego (5). Dla nich gotówka nie jest reliktem ani wyborem stylu życia – jest jedyną dostępną formą pieniądza. Kenijski system M-Pesa, umożliwiający przesyłanie pieniędzy za pomocą zwykłych SMS-ów bez internetu i smartfona, ma ponad 50 milionów użytkowników w kilkunastu krajach Afryki i Azji. To dowód, że pieniądz cyfrowy może dotrzeć tam, where nie ma banku – ale nie wszędzie i nie od razu.



6. Harmonogram cyfrowego euro – emisja najwcześniej 2029

eprasa.pl a93bb99ddb

Cyfrowe euro: bliżej niż kiedyś, ale wciąż daleko

Europejski Bank Centralny robił przez lata wrażenie instytucji, która niemal za rok ogłosi emisję cyfrowego euro. W październiku 2025 roku Rada Prezesów EBC podjęła decyzję o przejściu do kolejnego etapu projektu – i przesunęła datę ewentualnej emisji. Zgodnie z obecnymi planami, jeśli Parlament Europejski i Rada UE przyjmą niezbędne przepisy w 2026 roku, pierwsza emisja cyfrowego euro mogłaby nastąpić najwcześniej w 2029 roku (**6**). To niemal dekada od startu prac koncepcyjnych.

Zwolennicy cyfrowego euro podkreślają jego zalety: dostępność dla wszystkich, natychmiastowe rozliczenia, możliwość płatności offline bez dostępu do internetu. Krytycy alarmują o czymś odwrotnym: państwo śledzące każdą transakcję obywatela. EBC zapewnia, że cyfrowe euro miałoby działać równolegle do gotówki, która nie zostałaby wycofana z obiegu. Tymczasem w Stanach Zjednoczonych decyzje polityczne administracji Trumpa w 2025 roku zawiesiły prace nad cyfrowym dolarem, uznając projekt za zbyt duże ryzyko dla prywatności obywateli.

Kto zabije gotówkę?

Na razie nikt. Gotówka kurczy się jako udział w transakcjach, ale globalna wartość banknotów w obiegu paradoksalnie rosła przez ostatnie dwie dekady równolegle z ekspansją płatności elektronicznych – ekonomiści



7. Logotypy europejskiego porozumienia płatniczego (EPI Company (Wero), Bizum (Hiszpania), Vipps MobilePay (Nordycy), SIBS (Portugalia) i Bancomat (Włochy)): podpisanie MoU, luty 2026

nazywają to Bargeldparadox. W lutym 2026 roku pięciu głównych europejskich dostawców rozwiązań płatniczych – w tym Bizum, EPI i Vipps MobilePay – podpisało porozumienie o współpracy przy budowie paneuropejskiego systemu płatniczego, niezależnego od amerykańskich sieci kartowych (**7**). Jeśli im się uda, Europa dostanie alternatywę dla Visy i Mastercarda.

Gotówka nie zyska przez to nowego życia – ale jej zastępca przestanie być zagraniczną korporacją. Gotówka umiera więc powoli i nierównomiernie. Umiera jako środek codziennych płatności w bogatych krajach Północy. Żyje jako ostateczna rezerwa i jako jedyna opcja dla miliardów ludzi. Żyje też jako argument filozoficzny i prywatnościowy dla tych, którzy uważają, że możliwość zapłacenia anonimowo to nie kaprys, lecz wolność. ■

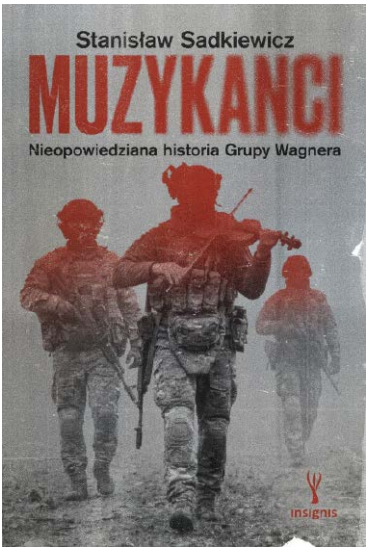
Paweł Biernacki

Muzykanci. Nieopowiedziana historia Grupy Wagnera

Stanisław Sadkiewicz

Wydawnictwo: Insignis, stron: 470, sugerowana cena: 59,99 zł

„Muzykanci, których zna cały świat" – tak mówią sami o sobie. Najemnicy w służbie Kremla, którzy przez ponad dekadę pilnowali rosyjskich interesów tam, gdzie trzeba było działać w cieniu. Najsłynniejsza, a jednocześnie najbardziej tajemnicza prywatna armia świata. Jej szlak bojowy rozpoczął się w Donbasie. Walczyła przeciw Państwu Islamskiemu w Syrii, służyła afrykańskim dyktatorom, brała udział w najkrwawszej bitwie XXI wieku, a w końcu rzuciła wyzwanie samemu Putinowi. Oto historia Grupy Wagnera opowiedziana jak nigdy dotąd. Autor odsłania kulisy jej powstania, rozwoju i finansowania – od pierwszych prób stworzenia rosyjskiej prywatnej firmy wojskowej po współczesność. Odtwarza z porywającą szczegółowością przebieg najważniejszych kampanii i bitew, w których uczestniczyli wagnerowcy, a sięgając po nieznane wcześniej źródła, próbuje zrozumieć etos tej organizacji, jej wewnętrzne mity oraz motywacje ludzi, dla których wojna stała się rzemiosłem i sposobem na życie.



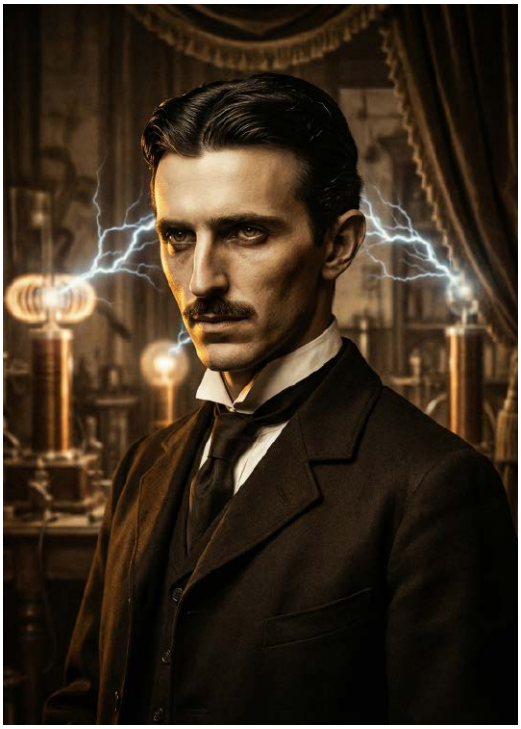
eprasa.pl a93bb99ddb

O tych, co przekuli innowacyjne wizje w biznesowy sukces

W polskim życiu publicznym coraz częściej używanym słowem jest odmieniany na wszystkie sposoby wyraz „innowacje". I tak powinno być przez najbliższe lata, bo ambicją naszego kraju jest spektakularny awans do grona państw o gospodarce kreatywnej, tworzącej własne produkty i marki, znane i szanowane w świecie.

To Wy, młodzi Czytelnicy MT, macie tego dokonać! Żeby Was natchnąć dobrymi przykładami, co miesiąc przedstawiamy reprezentantów czołówki światowych liderów innowacji. Najczęściej byli oni jeszcze w wieku szkolnym lub studenckim, gdy w ich głowach rodziły się śmiałe pomysły skutkujące później powstaniem superproduktów, wielkich brandów i fantastycznych fortun.

To oni kształtują cywilizację technologiczną. To bohaterowie naszych czasów.



1. Nikola Tesla ok. 1890 roku

Człowiek, który zapalił świat i przegrał z własnym geniuszem

Nikola Tesla

Wyobraź sobie człowieka, który wynalazł prąd zmienny, stworzył podwaliny pod silnik elektryczny, radio, zdalne sterowanie i bezprzewodowy przesył energii. Człowieka, który jednocześnie umarł sam w hotelowym pokoju, głodny i zadłużony, otoczony jedynie gołębiami. To Nikola Tesla – być może najbardziej niedoceniany geniusz w historii nauki i techniki.

CV: Nikola Tesla (Никола Тесла)

Data i miejsce urodzenia	10.07.1856, Smiljan, dzisiejsza Chorwacja (zm. 07.01.1943 w Nowym Jorku, USA)
Adres zamieszkania	Nie żyje
Obywatelstwo	Serbskie, amerykańskie
Stan cywilny	Kawaler
Majątek	Umarł w ubóstwie, dług wobec hotelu New Yorker ok. 20 tys. USD
Edukacja	Politechnika w Grazu (1875–1878, bez dyplomu) Uniwersytet w Pradze (1880, jeden semestr) Liczne honorowe doktoraty (Yale, Columbia i inne)
Doświadczenie zawodowe	1882–1884 – inżynier w Continental Edison, Paryż 1884–1885 – Edison Machine Works, Nowy Jork 1887 – założyciel Tesla Electric Company Od 1900 – niezależny wynalazca i badacz
Zainteresowania	Fizyka, filologia (mówił ośmioma językami), poezja, gołębie

eprasa.pl a93bb99ddb

Syn popa z Serbii

Nikola Tesla przyszedł na świat 10 lipca 1856 roku o północy w małej wiosce Smiljan na terenie dzisiejszej Chorwacji, wówczas będącej częścią Imperium Austro-Węgierskiego. Jego ojciec Milutin był prawosławnym kapłanem i poetycką duszą, matka Duka – córka wiejskiego popa – nie miała formalnego wykształcenia, ale słynęła z niezwykłej pamięci i pomysłowości. Sama konstruowała urządzenia domowego użytku. Tesla często mówił, że swój geniusz zawdzięczał właśnie jej (**1**).

Już jako dziecko wykazał się nieprzeciętną wyobraźnią przestrzenną i zdolnościami matematycznymi. Potrafił w pamięci mnożyć liczby sześciocyfrowe, recytować z pamięci całe strony książek i – jak sam twierdził – projektować w wyobraźni kompletne maszyny, obracać je, sprawdzać każdą część i dopiero potem przenosić na papier. Wielu biologów i psychologów uważa, że posiadał niezwykłą formę synestezji i eidetycznej pamięci wzrokowej. Jako nastolatek przeżywał epizody, które sam opisywał jako rodzaj wizji: intensywne obrazy i błyski światła poprzedzające jego najważniejsze odkrycia. Rodzina i lekarze na przemian podejrzewali chorobę nerwową, religię i mistycyzm. Tesla wierzył, że chodzi o coś w rodzaju intelektualnego objawienia. Bez względu na diagnozowanie – wizje się zdarzały i często kończyły się realnym wynalazkiem.

Edison i Wielka Wojna Prądów

Po studiach na politechnice w Grazu i krótkim epizodzie na Uniwersytecie w Pradze Tesla trafił w 1882 roku do Paryża, gdzie pracował dla firmy Continental Edison – europejskiego oddziału imperium Thomasa Edisona. Tam po raz pierwszy zaczął szkicować ideę silnika na prąd zmienny. Jego przełożeni nie wykazywali zainteresowania. W 1884 roku Tesla wsiadł na statek i popłynął do Ameryki.



2. Tesla i Edison – ilustracja z epoki przedstawiająca Wojnę Prądów

Dostał list polecający do samego Edisona. Edison przeczytał, podniósł wzrok i powiedział: „Mam tu wielu elektrycznych ekspertów. Ale ten człowiek z pewnością się wyróżni". I Tesla się wyróżnił – choć nie tak, jak obaj się spodziewali. Pracował dniami i nocami, ulepszając generatory Edisona. Edison podobno obiecał mu 50 tysięcy dolarów premii, jeśli uda mu się tego dokonać. Gdy Tesla zażądał wypłaty, Edison podobno odrzekł: „Nie rozumiesz amerykańskiego poczucia humoru". Tesla złożył wymówienie (**2**).

Równolegle rozwijał swoje koncepcje prądu zmiennego (AC). W 1887 roku zarejestrował szereg patentów dotyczących silników indukcyjnych i systemów przesyłu prądu zmiennego. Zainteresował się nimi George Westinghouse – przemysłowiec i rywal Edisona. Kupił patenty Tesli za 60 tysięcy dolarów i udział w zyskach. Rozpoczęła się „Wojna prądów": Edison broniący prądu stałego (DC) kontra Westinghouse i Tesla promujący prąd zmienny (AC).

Edison prowadził bezwzględną kampanię propagandową. Publicznie raził prądem zmiennym psy i konie, by pokazać jego śmiertelność. Doprowadził do skonstruowania pierwszego fotela elektrycznego dla sądowej egzekucji – oczywiście na prąd zmienny, by skojarzyć AC ze śmiercią. Wojnę przegrał. Prąd zmienny jest łatwiejszy do przesyłu na duże odległości, tańszy i bardziej elastyczny. To Tesla i Westinghouse oświetlili Wystawę Światową w Chicago w 1893 roku – za cenę o połowę niższą niż oferta Edisona.

Niagara i sława

W 1895 roku uruchomiono elektrownię wodną w Niagara Falls, zaprojektowaną w oparciu o system Tesli. To było przełomowe wydarzenie – pierwsza wielka elektrownia na prąd zmienny w historii. Światło i energia elektryczna pojawiły się w Buffalo, a potem coraz szerzej. Cały świat uważał to za cud. Tesla chwilowo był sławny i bogaty. Ale pieniądze trwały krótko.

W tym samym czasie Tesla pracował nad kilkoma ideami równolegle. Zbudował pierwsze urządzenie zdalnie sterowane – łódkę, którą demonstrował publicznie na Manhattanie w 1898 roku. Widownia, nieświadoma technologii, podejrzewała sztuczkę magiczną albo tresowaną małpę ukrytą w kadłubku. Tesla próbował sprzedać pomysł armii amerykańskiej jako broń zdalnie sterowaną. Wojsko nie było zainteresowane.

eprasa.pl a93bb99ddb

Wardenclyffe i wielki upadek

Na przełomie wieków Tesla sformułował ideę Wardenclyffe – wieży nadawczej, która miała bezprzewodowo przesyłać energię elektryczną i sygnały na cały świat. Znalazł inwestora: Johna Pierponta Morgana, najpotężniejszego finansistę Ameryki. Morgan wyłożył fundusze i budowa ruszyła na Long Island. Niestety, w trakcie prac Guglielmo Marconi jako pierwszy nadał transatlantycki sygnał radiowy – używając w dużej mierze patentów Tesli (co potwierdził później sąd). Morgan uznał projekt Tesli za nieistotny i wycofał finansowanie (3).

Tesla przez lata próbował znaleźć kolejnych inwestorów. Bezskutecznie. Jego pomysły – przesył bezprzewodowej energii, globalna sieć komunikacyjna, promień śmierci – brzmiały zbyt fantastycznie, zbyt odległe od natychmiastowego zysku. Tymczasem rachunki rosły. Tesla przenosił się z hotelu do hotelu, płacąc długami, patentami i obietnicami.

Pod koniec życia mieszkał w pokoju 3327 w hotelu New Yorker na Manhattanie. Rzadko wychodził. Karmił gołębie w pobliskim parku – i przynosił do pokoju te ranne. Był samotny, coraz dziwniejszy w swoich zwyczajach: niejedzący mięsa, obsesyjnie bojący się bakterii, przywiązany do liczb podzielnych przez trzy. Gdy 7 stycznia 1943 roku pokojówka weszła do pokoju, Nikola Tesla nie żył. Miał 86 lat.

Co zostało po Tesli

Praktycznie cała współczesna cywilizacja elektryczna stoi na fundamentach Tesli. Prąd zmienny płynący z gniazdek elektrycznych – jego wynalazek. Silniki indukcyjne napędzające fabryki i windy – jego wynalazek. Transformator pozwalający na przesył energii na setki kilometrów – bez Tesli niemożliwy. Radio – sąd w USA ostatecznie przyznał w 1943 roku pierwszeństwo Tesli przed Marconim, choć było już po śmierci wynalazcy. Radar, świetlówki, pilot do telewizora, rezonans magnetyczny – wszędzie można odnaleźć wkład Tesli.

Jednostka indukcji magnetycznej w układzie SI nosi jego imię. W 2003 roku Elon Musk i Martin Eberhard nazwali swoją firmę samochodów elektrycznych Tesla Inc. – żaden wybór nazwy nie mógł być bardziej trafny. W 2006 roku Nikola Tesla pojawił się na serbskim banknocie 100-dinarowym. Jego podobizna widnieje też na starszych banknotach jugosłowiańskich.

Historyków i filozofów nauki od lat fascynuje pytanie: dlaczego Tesla, żyjąc w epoce swojej sławy, umarł w ubóstwie? Część odpowiedzi tkwi w jego charakterze. Tesla był wizjonerem, nie biznesmenem. Nie potrafił sprzedawać siebie, bronić patentów ani budować sojuszy. Edison miał fabrykę wynalazków – Tesla pracował sam. Edison budował markę osobistą – Tesla udoskonalał maszyny. Historia nagrodziła obydwu, ale życie było dla nich niejednakowo łaskawe.

Idol czy mit?

W ostatnich dekadach Tesla przeżył rodzaj kulturowego zmartwychwstania. Stał się idolem w kulturze internetowej – symbolem niezrozumianego geniusza skradzionego przez system. W memach i artykułach popularnonaukowych bywa podnoszony na piedestał kosztem Edisona. To uproszczenie. Edison był innym rodzajem geniusza – organizatorem, inżynierem systemu, budowniczym instytucji. Tesla był marzycielem i samotnikiem. Obaj zmienili świat.

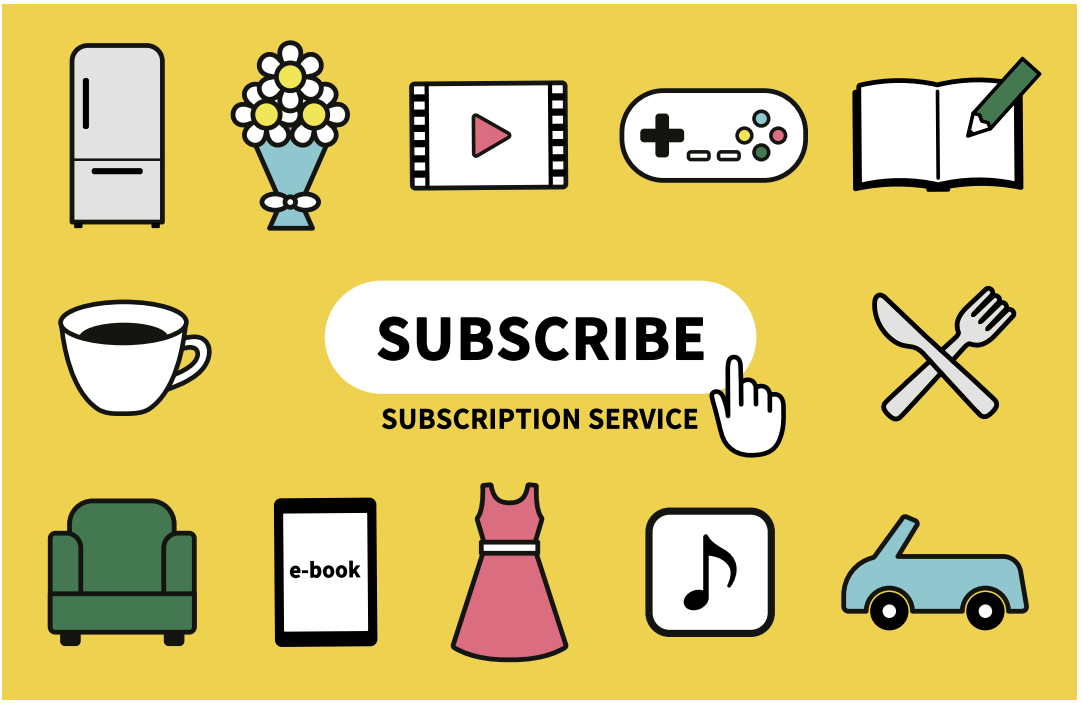
Prawdziwy Tesla jest ciekawszy niż mit. Był człowiekiem z pasji i obsesji, genialnym i złamanym, wyprzedzającym epokę o dekady. Już w 1901 roku szkicował plany globalnej sieci bezprzewodowej komunikacji – tego, co dziś nazywamy internetem. Już na początku XX wieku przewidywał, że człowiek będzie mógł z dłoni mieć dostęp do całej wiedzy świata. Mylił się co do szczegółów technicznych i co do czasu realizacji. Ale kierunek miał dobry. ■

Paweł Biernacki



3. Wieża Wardenclyffe na Long Island, ok. 1904 roku

eprasa.pl a93bb99ddb



Już nie kupujesz, tylko wynajmujesz

Mamy maj 2026 roku. Płacisz miesięcznie za muzykę, filmy, gry i pakiet biurowy. Niedługo być może zapłacisz abonament za funkcję podgrzewania fotela w samochodzie, który formalnie należy do ciebie. Witaj w świecie, w którym własność powoli staje się przywilejem, a nie prawem. I w którym twój dostęp do rzeczy, za które zapłaciłeś, zależy od tego, czy firma po drugiej stronie internetu nadal istnieje.

Oprogramowanie pociągnęło za spust

Zacznijmy od początku – a początkiem jest Adobe. W 2013 roku firma ogłosiła, że pakiet Creative Suite, który fotografowie, graficy i filmowcy kupowali w pudełku za jednorazową opłatą, znika z półek. Od tej pory można go tylko wynajmować w modelu Creative Cloud. Reakcja użytkowników była wściekła. Petycje, bojkoty, złorzeczenia na forach. Po trzech latach – cisza. Wszyscy płacą.

Adobe pokazało branży, że da się to zrobić. Microsoft poszedł tym samym tropem z pakietem Office. Autodesk zamknął sprzedaż licencji wieczystych na AutoCAD. Corel, Affinity, mniejsze studia – jeden po drugim przestawiały model biznesowy. Użytkownicy marudzili i płacili. Mechanizm okazał się nieodparty: dla firmy subskrypcja oznacza przewidywalny, miesięczny strumień przychodów. Dla użytkownika – wieczny rachunek.

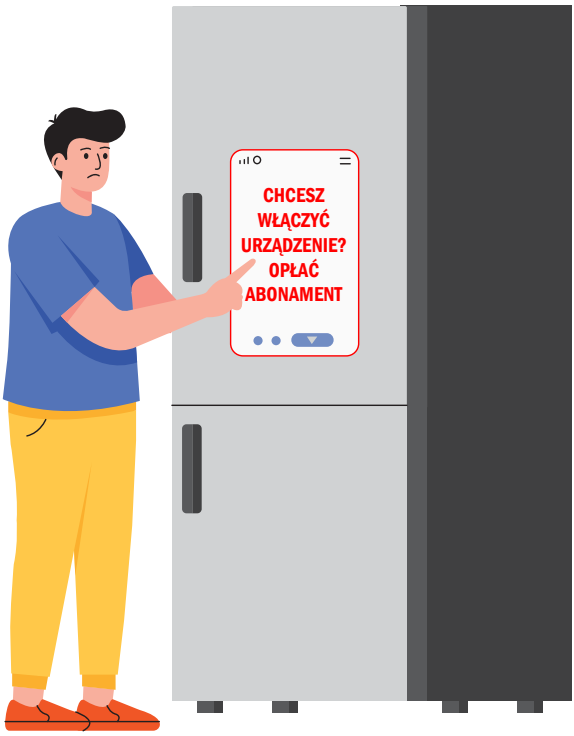
eprasa.pl a93bb99ddb



Samochód na abonament

Kiedy BMW w 2022 roku ogłosiło, że podgrzewanie foteli będzie płatną subskrypcją – internet eksplodował. Sprzęt był fizycznie w samochodzie, kable poprowadzone, grzałki zamontowane. Tylko oprogramowanie blokowało dostęp, dopóki nie wniesiesz opłaty. Firma szybko wycofała się z tego pomysłu pod presją opinii publicznej. Na razie.

Tesla od lat sprzedaje „pełny potencjał jazdy autonomicznej" jako opcję software'ową za kilkadziesiąt tysięcy złotych – w samochodzie, który ma już odpowiednie sensory. General Motors planuje uzależnić dostęp do zaawansowanych funkcji bezpieczeństwa od aktywnej subskrypcji OnStar. John Deere od lat blokuje rolnikom prawo do samodzielnej naprawy traktorów, bo oprogramowanie sterujące silnikiem objęte jest licencją. Farmer kupił maszynę za równowartość mieszkania – ale nie może jej samodzielnie naprawić bez autoryzowanego serwisu.



Lodówka, która wygaśnie po trzech latach

To nie science fiction. W 2023 roku firma Keurig zaprezentowała ekspres do kawy zintegrowany z subskrypcją kapsułek. Używanie nieoryginalnych wkładów blokowało urządzenie. Projekt przepadł po kilku miesiącach, ale nikt nie zapomniał pomysłu – tylko schował go do szuflady. Tymczasem producenci sprzętu AGD coraz chętniej uzależniają pełen dostęp do funkcji od aplikacji. A aplikacja wymaga konta. A konto – regularnego logowania i akceptowania nowych regulaminów.

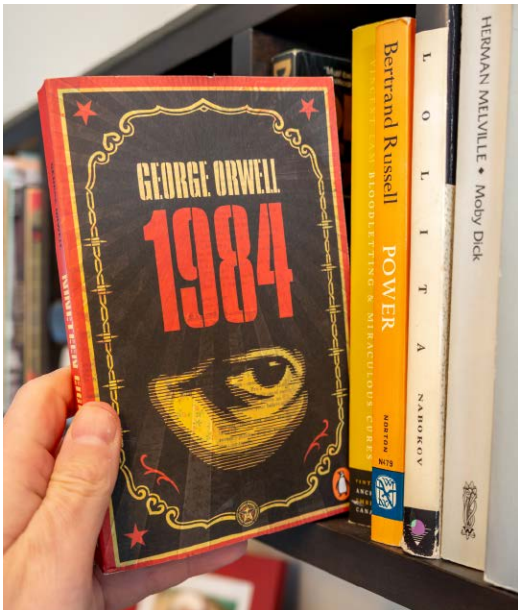
W 2024 roku firma Sonos wypuściła aktualizację, która trwale uszkodziła starsze głośniki. Fizyczny sprzęt, za który użytkownicy zapłacili kilka lat wcześniej, przestał działać z powodu błędu w oprogramowaniu. Nikt nie zwrócił pieniędzy. Podobnie stało się z właścicielami kamer Instax Link Wide, których część funkcji zniknęła po cichu w kolejnej aktualizacji aplikacji. Sprzęt masz. Funkcji – już nie.

Prawo własności w erze cyfrowej

Unia Europejska od lat zmaga się z tym problemem. Dyrektywa o prawie do naprawy weszła w życie w 2024 roku i zmusza producentów do udostępnienia części zamiennych i instrukcji serwisowych. Ale nie rozwiązuje kwestii oprogramowania. Twój samochód może być technicznie naprawialny, ale jeśli kluczowe dane diagnostyczne są zaszyfrowane i dostępne tylko dla autoryzowanych warsztatów – faktyczna autonomia jest iluzją.

W Stanach Zjednoczonych ruch „right to repair" stoczył już kilka spektakularnych bitew. Apple przez lata walczył z niezależnymi serwisantami, Apple też w końcu ustąpił – ale tylko częściowo, i tylko pod presją stanowych legislatur. Wielkie korporacje technologiczne mają jeden argument, który zawsze działa: bezpieczeństwo. Nieautoryzowane oprogramowanie to rzekomo zagrożenie. Fakt, że jednocześnie eliminuje to całą konkurencję serwisową – to już szczegół.

eprasa.pl a93bb99ddb



Kto naprawdę jest właścicielem?

Postawmy pytanie wprost: jeśli producent może zdalnie wyłączyć funkcję w urządzeniu, które kupiłeś, albo skasować treści, za które zapłaciłeś – czy jesteś właścicielem czegokolwiek? Amazon dwukrotnie kasował zdalnie e-booki z czytników Kindle użytkowników, po sporach prawnych z wydawcami. Raz skasowaną książką był „Rok 1984" Orwella. Trudno o bardziej ironiczny przykład.

Modele językowe i usługi AI dorzucają kolejną warstwę problemu. Twoje dokumenty, zdjęcia i notatki przechowywane w chmurze konkretnego dostawcy to dane, do których dostęp masz przez interfejs tej firmy. Jeśli firma upada, zmienia regulamin albo zostaje przejęta – tracisz dostęp. Albo płacisz za migrację. Albo po prostu tracisz wszystko.

Wygoda ma swoją cenę – i warunki umowy

Nie zamierzam udawać, że model subskrypcyjny jest wyłącznie złem. Spotify dało słuchaczom dostęp do czterdziestu milionów utworów za cenę dwóch płyt miesięcznie. Netflix zrewolucjonizował dystrybucję treści. Adobe Creative Cloud umożliwia uczniom i małym studiom korzystanie z narzędzi, na zakup których nigdy by ich nie było stać. Subskrypcja potrafi demokratyzować dostęp. Pytanie, za jaką cenę.



Ceną jest zależność. I stopniowe przyzwyczajenie do tego, że nie posiadamy – korzystamy. Że dostęp jest warunkowy. Że warunki mogą się zmienić. Że to, co dziś kosztuje 30 złotych miesięcznie, jutro może kosztować 60, bo firma osiągnęła wystarczającą skalę, żeby przestać się przejmować churn rate (wskaźnik rezygnacji klientów). Ekonomiści nazywają to vendor lock-in. Marketingowcy – ekosystemem. Prawnicy – zapisami w regulaminie, który i tak nikt nie czyta.

Cyfryzacja zmieniła znaczenie słowa „mój". „Moja" muzyka na Spotify zniknie, gdy przestanę płacić. „Mój" samochód może jutro stracić funkcję, którą kupiłem razem z nim. „Moje" zdjęcia w chmurze istnieją, dopóki serwer działa i firma uważa, że warto go utrzymywać. Subskrypcyjna gospodarka jest wygodna, elastyczna i skutecznie zaciera granicę między kupnem a dzierżawą. Zanim zaakceptujesz kolejny regulamin – zastanów się, czy przypadkiem nie podpisujesz umowy najmu na własne życie. ■

De Coder



eprasa.pl a93bb99ddb



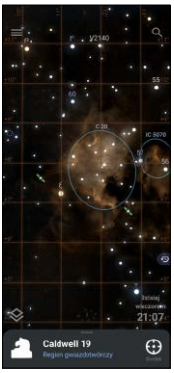
Photomath

Matematyka w obiektywie

Photomath to jedna z najpopularniejszych aplikacji edukacyjnych na świecie, która potrafi rozwiązać zadanie matematyczne w chwilę po tym, jak skierujemy na nie aparat telefonu. Wystarczy sfotografować równanie, układ równań, całkę czy zadanie z treścią – aplikacja natychmiast rozpoznaje zapis i prezentuje nie tylko wynik, ale krok po kroku całe rozwiązanie.

To właśnie ta ostatnia funkcja odróżnia Photomath od zwykłego kalkulatora. Uczeń nie tylko dostaje odpowiedź – widzi, jaką metodą należy się posłużyć, gdzie zastosować dane twierdzenie i jak unikać typowych błędów. Aplikacja obejmuje materiał od podstawówki aż po pierwsze lata studiów technicznych: arytmetykę, algebrę, trygonometrię, rachunek różniczkowy i statystykę.

Interfejs jest wyjątkowo przejrzysty i nie wymaga żadnej nauki obsługi. Wersja bezpłatna w pełni wystarcza do codziennej pracy; subskrypcja Photomath Plus odblokowuje dodatkowe wyjaśnienia i animacje. Aplikacja działa bez połączenia z internetem, co docenią uczniowie korzystający z niej podczas nauki w terenie.



Stellarium Mobile

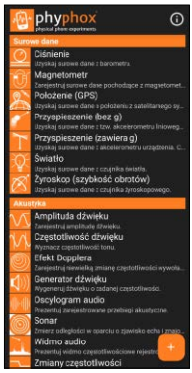
Planetarium w kieszeni

Stellarium Mobile to pełnoprawne planetarium, które wystarczy skierować ku niebu, by natychmiast dowiedzieć się, co świeci nad głową. Aplikacja korzysta z czujników żyroskopu i kompasu smartfona, nakładając na obraz z aparatu lub na renderowany widok nieba nazwy gwiazd, planet, gwiazdozbiorów i obiektów Messiera.

Baza danych liczy ponad 600 000 gwiazd oraz tysiące galaktyk, mgławic i gromad. Można śledzić bieżące pozycje planet Układu Słonecznego, przewijać czas do przodu i wstecz, by obserwować wschody i zachody ciał niebieskich w dowolnej dacie, a nawet symulować widok nieba z różnych miejsc na Ziemi.

Funkcja nocna przełącza ekran w tryb czerwonego światła – niezbędny, gdy obserwujemy niebo teleskopem i nie chcemy tracić adaptacji wzroku do ciemności.

Aplikacja sprawdza się doskonale zarówno w roli szybkiej identyfikacji jasnego obiektu na niebie, jak i przy planowaniu poważniejszych obserwacji astronomicznych. Wersja bezpłatna jest bardzo rozbudowana; wersja Plus dodaje realistyczne obrazy obiektów głębokiego nieba i zaawansowane filtry.



phyphox

Laboratorium fizyczne w smartfonie

phyphox to aplikacja stworzona przez fizyków z Politechniki w Akwizgranie, która zamienia smartfon w precyzyjny przyrząd pomiarowy. Telefon kryje w sobie akcelerometr, żyroskop, barometr, magnetometr, mikrofon i czujnik światła – phyphox udostępnia je wszystkie w postaci gotowych eksperymentów fizycznych z automatycznym zbieraniem i wykreślaniem danych.

Wbudowana biblioteka zawiera dziesiątki gotowych doświadczeń: pomiar przyspieszenia grawitacyjnego, analiza drgań wahadła, badanie efektu Dopplera, pomiar prędkości dźwięku, spektrum akustyczne w czasie rzeczywistym czy wyznaczanie współczynnika tarcia. Każdy eksperyment można uruchomić zdalnie przez przeglądarkę WWW na komputerze – telefon leży w miejscu pomiaru, a wyniki pojawiają się na dużym ekranie.

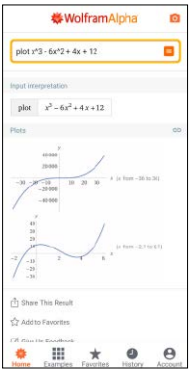
Aplikacja jest całkowicie darmowa i dostępna na otwartej licencji, a twórcy udostępniają edytor pozwalający konstruować własne doświadczenia. phyphox trafia do listy obowiązkowych narzędzi dla każdego ucznia i nauczyciela fizyki – pozwala przeprowadzać prawdziwe eksperymenty ilościowe bez drogiego sprzętu laboratoryjnego.

Photomath
Producent: Photomath Inc.
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 9,5
Łatwość obsługi: 9,5
Ocena ogólna: 9,5

Stellarium Mobile
Producent: Noctua Software
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 9,0
Łatwość obsługi: 9,5
Ocena ogólna: 9,0

phyphox
Producent: RWTH Aachen Univ.
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 9,5
Łatwość obsługi: 8,0
Ocena ogólna: 9,0

eprasa.pl a93bb99ddb



Wolfram Alpha

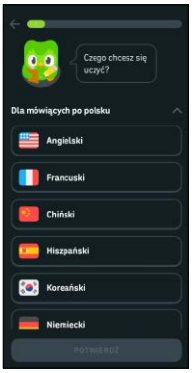
Silnik wiedzy naukowej

Wolfram Alpha to nie wyszukiwarka i nie chatbot – to silnik obliczeniowy, który odpowiada na pytania precyzyjnie i z pełną dokumentacją obliczeń. Wpisując wyrażenie matematyczne, zapytanie chemiczne, fizyczne czy statystyczne, otrzymujemy natychmiast kompletną odpowiedź: wynik, wykres, alternatywne formy zapisu, jednostki, przybliżenia i krok po kroku rozwiązanie.

Zakres tematyczny jest imponujący: matematyka od arytmetyki po równania różniczkowe, chemia ze wzorami strukturalnymi i właściwościami pierwiastków, fizyka z przeliczaniem jednostek, astronomia, lingwistyka, a nawet dane demograficzne czy kursy walut w czasie rzeczywistym. Aplikacja potrafi narysować wykres funkcji w układzie 2D i 3D, rozłożyć liczbę na czynniki pierwsze, podać właściwości każdego pierwiastka układu okresowego i obliczyć orbitę planety.

Wersja bezpłatna daje dostęp do większości funkcji, choć ogranicza szczegółowość kroków rozwiązania. Subskrypcja Pro odblokowuje pełne rozwiązania krok po kroku – nieocenione przy samodzielnej nauce. Wolfram Alpha jest obowiązkowym narzędziem dla uczniów szkół technicznych i studentów pierwszych lat kierunków ścisłych.

Wolfram Alpha
Producent: Wolfram Alpha LLC
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 10,0
Łatwość obsługi: 8,0
Ocena ogólna: 9,0



Duolingo

Nauka języków z AI i pingwinem

Duolingo to najpopularniejsza aplikacja do nauki języków obcych na świecie, z ponad 500 milionami użytkowników. Oferuje kursy ponad 40 języków – od angielskiego, przez japoński i koreański, aż po łacinę i język Klingonów. Nauka odbywa się przez krótkie, grywalizowane lekcje, które angażują jak gra mobilna: zdobywamy punkty, pniemy się w rankingach i budujemy serie codziennych ćwiczeń.

Najnowsze aktualizacje wprowadziły funkcje oparte na sztucznej inteligencji: konwersację z wirtualnym rozmówcą AI, który cierpliwie odpowiada na nasze pytania po angielsku lub innym języku, koryguje wymowę i dostosowuje poziom trudności do naszych postępów. Tryb "Aventuras" prowadzi przez interaktywne historyjki, w których podejmujemy decyzje, co zmusza do aktywnego użycia języka w kontekście.

Aplikacja jest bezpłatna z opcjonalną subskrypcją Super Duolingo, która usuwa reklamy i dodaje nielimitowane próby. Duolingo najlepiej sprawdza się jako uzupełnienie tradycyjnej nauki – codzienne 10–15 minut wyrabia nawyk i utrwala słownictwo. Dla osób przygotowujących się do egzaminów językowych warto połączyć aplikację z innymi materiałami.

Duolingo
Producent: Duolingo Inc.
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 9,0
Łatwość obsługi: 9,5
Ocena ogólna: 9,0



Google Lens

Świat przez obiektyw AI

Google Lens to aplikacja, która potrafi rozpoznać niemal wszystko, na co skierujemy aparat telefonu. Sfotografuj roślinę – dostaniesz jej nazwę i opis botaniczny. Skieruj obiektyw na owada – aplikacja zidentyfikuje gatunek. Zrób zdjęcie fragmentu tekstu w obcym języku – Lens natychmiast go przetłumaczy, nakładając tłumaczenie wprost na obraz w czasie rzeczywistym.

Funkcja rozpoznawania tekstu jest wyjątkowo przydatna: można skopiować odręczne notatki do schowka, przepisać tekst z tablicy szkolnej, skopiować adres ze zdjęcia lub zeskanować wizytówkę bezpośrednio do kontaktów. Lens rozpoznaje też kody QR i kreskowe, wyszukuje produkty na podstawie ich zdjęcia i identyfikuje budynki, dzieła sztuki oraz znaki drogowe.

Aplikacja jest całkowicie bezpłatna i głęboko zintegrowana z ekosystemem Google – wyniki trafiają bezpośrednio do wyszukiwarki, Map Google i Tłumacza. Na urządzeniach z Androidem Lens jest dostępny jednym przytknięciem palca do zdjęcia w Galerii lub bezpośrednio z aparatu. To jedno z najwygodniejszych narzędzi codziennego użytku, które łączy świat fizyczny z informacją cyfrową.

Google Lens
Producent: Google LLC
Platformy: Android, iOS
Oceny
Możliwości: 9,5
Łatwość obsługi: 9,5
Ocena ogólna: 9,5

eprasa.pl a93bb99ddb

Księżyc

Drugiego dnia po lądowaniu Jim Irwin i Dave Scott mieli w planach spenetrować łazikiem dalszą okolicę. Załadowali na pojazd księżycowy niezbędny sprzęt, by zbadać i zebrać próbki gruntu i skał.

– Ten pył wciska się wszędzie, prawie czuję jego zapach i metaliczny posmak w ustach.

– Racja, Dave, wczoraj tylko krótki spacer i przejażdżka, a skafandry i cała reszta uwalone konkretnie, i za nic nie da się tego pozbyć. Aż przeguby w kombinezonach się zacinają. Ciekawe, czy NASA opracowała kosmiczną pralkę. – Roześmiali się obaj.

– Pralką nie zawracałbym sobie głowy. Za to niewielki problem może stanowić kierowanie pojazdem. Po wczorajszej przejażdżce ciężko sterować przednimi kołami, zablokowały się w pozycji jazdy na wprost. Pewnie przez ten pył.

– Całe szczęście, że mamy łebskich inżynierów i obie osie są skrętne; będziemy kierować tylko tyłem, to powinno starczyć. Damy radę.

– Mądrale na pewno pękają teraz z dumy.

– Aha, i z pewnością liczą na dobrą premię!

W pełni naładowane baterie łazika umożliwiały przejechanie sześćdziesięciu kilometrów, ale procedury pozwalały oddalać się od lądownika na maksymalnie dziesięć, bo w razie awarii astronauci mieli go porzucić i wracać pieszo. Spacer ograniczała ilość powietrza i chłodziwa w plecakach. Lądowali w regionie Hadley-Apennine, lekko pofałdowanej równinie niemal w całości otoczonej górami i zamkniętej szerokim na półtora kilometra i głębokim na trzysta metrów kanionem. Teren wydawał się o wiele ciekawszy od tego, jaki mogli zobaczyć ich poprzednicy. Krajobraz był tu pełen skrajności, cieni i ostro rysujących się jasnych plam. Poprzedniego dnia, gdy wyprawili się do podnóża pobliskiej góry, powierzchnia, po której prowadzili łazik, była w miarę równa. Dziś grunt z każdym przejechanym metrem stawał się coraz mniej przyjazny. Był pokryty drobnym gruzem, a koła grzęzły w regolicie. Wzniesienia i ostre spadki nie ułatwiały jazdy. Oddalali się od lądowiska, jadąc na wprost. Skręcili w prawo, a łazik zaczął podskakiwać niebezpiecznie. Pasy, którymi byli przypięci, bardzo się przydały. Kierując się ku szerokiej dolinie, mieli nadzieję, że trafią na coś wyjątkowo ciekawego. Blisko jej krawędzi znajdował się duży krater. Widzieli go podczas lądowania, a ich uwagę przykuło wtedy rumowisko na ścianie potężnego leja. Jechali niezbyt szybko, omijając większe kamienie. Pojazd co rusz wznosił się i opadał, czasem zarzucając tyłem. Taka podróż wymagała wyjątkowo skupionej uwagi.

– Dave, spójrz tam! – krzyknął Jim. – Popatrz na koronę tego krateru!

Kierowca zwrócił wzrok tam, gdzie wskazał kolega. Nagle łazik podskoczył gwałtownie. Chwilę toczył się przechylony na dwóch kołach, jednak w końcu wywrócił się na jeden bok i tak utkwił w szarym pyle powierzchni Księżyca. Nastąpił moment ciszy, lecz zaraz potem astronauci rozpoczęli procedurę ratunkową.

– Kombinezony szczelne, systemy podtrzymywania życia sprawne. Wygramolmy się z tego złomu.

– Jim, słuchaj, nie zauważyłem tej skałki.

– Spokojnie, nic poważnego się nie stało, jesteśmy cali. Zresztą wcale ci się nie dziwię. Ta krawędź krateru... Nigdy nie widziałem podobnej struktury.

– Co robimy? Wracamy?

– Postawmy najpierw łazik i spróbujmy jechać dalej.

Lekki pojazd, przy słabszej grawitacji łatwo dał się postawić na kołach. Lecz na tym fart się wyczerpał, bo nie udało się go uruchomić. Astronauci podjęli kilka prób, po czym postanowili go porzucić.

eprasa.pl a93bb99ddb

– Przejechaliśmy kilka mil, lądownik jest w tamtą stronę, droga powrotna zajmie niecałe trzy godziny. Mamy całkiem spory zapas tlenu, skafandry w dobrej kondycji. Ale decyzję musimy podjąć wspólnie. Idziemy dalej czy wracamy?

Jim pomyślał chwilę, spoglądając w stronę krateru.

– Zapas powietrza, owszem, duży, niemniej trzeba minimalizować ryzyko. Ostatecznie zdani jesteśmy tylko na siebie.

Ciekawość i zimna kalkulacja szans przez moment walczyły o rację.

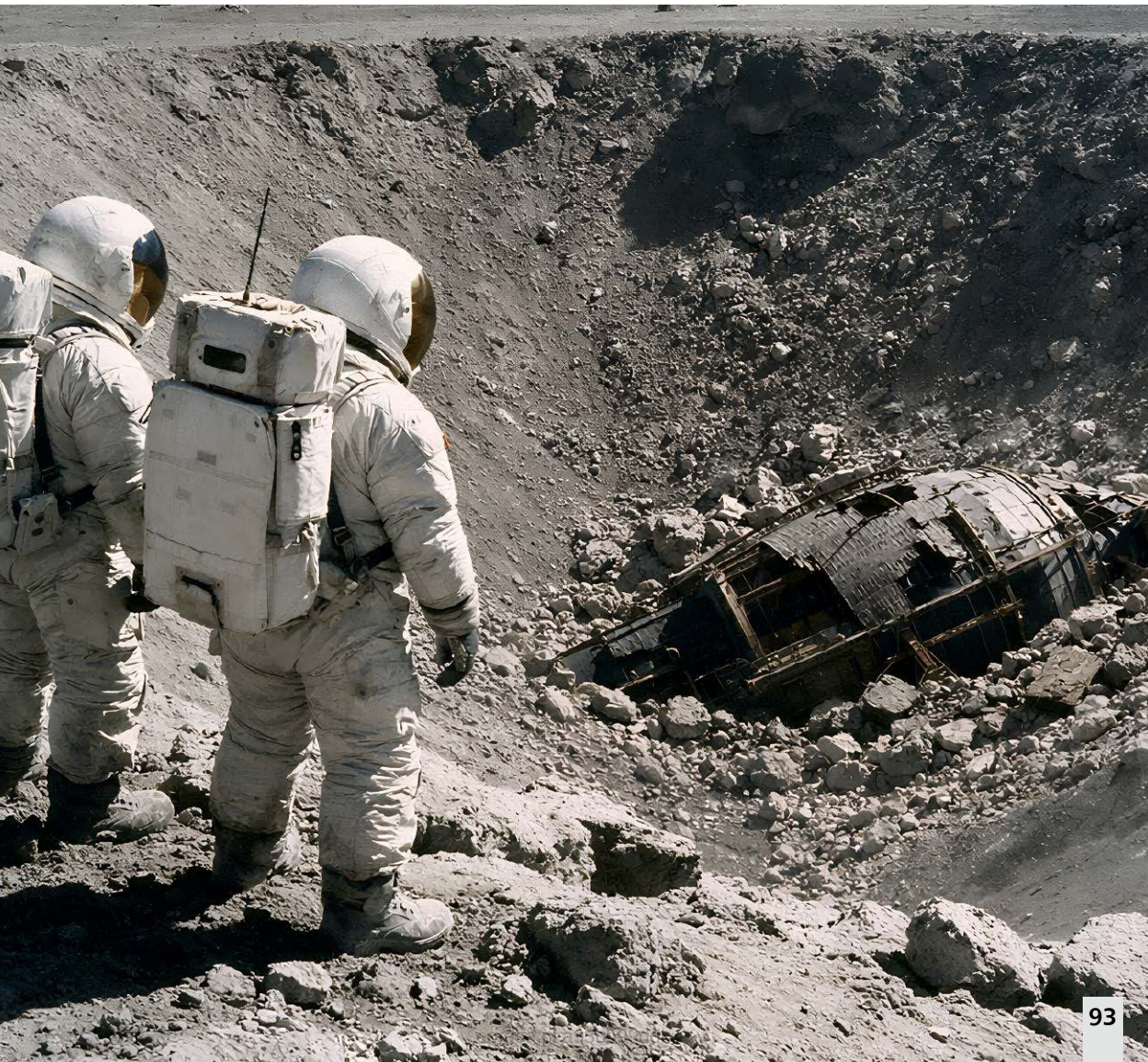
– Jesteśmy prawie u celu. Zobaczmy chociaż z bliska ten krater.

Ruszyli, podskakując niezgrabnie, w miarę pokonywania drogi wprawiając się w coraz dłuższych susach. Stanęli tuż przed osuwiskiem wznoszącego się na około trzydzieści metrów wału utworzonego z materii wyrzuconej z wnętrza krateru.

– Popatrz! To tam! To coś na szczycie zupełnie tu nie pasuje. Widzieliś kiedyś coś takiego?

– Nigdy. Dziwna rzecz. Księżyc pozostaje niezmieniony od czterech miliardów lat, kratery są wszędzie podobne, a to tutaj wygląda, jakby powstało przed chwilą. I nie mam pojęcia, w jaki sposób.

Krawędź, jak okiem sięgnąć, była w miarę równa, podobna innym koronom kraterów pouderzeniowych. Gdyby nie jeden szczegół – poprzeczne wyżłobienie, tak regularne, jakby nie stworzyły go siły natury.



– Jak to coś mogło powstać?

– Nie wiem, nie mam pomysłu. I chyba się nie dowiemy, jeśli się tam nie wdrapiemy.

– Hmmm... Może wyczerpaliśmy limit szczęścia na dziś. Ale znasz mnie, ruszaj! Będę tuż za tobą.

Mimo niewielkiego kąta nachylenia droga nie okazała się łatwa. Podłoże osypywało się. Brnęli pod górę, momentami opierając się na kolanach. Przypominało to zabawę chłopców w żwirowni.

– Zostało parę kroków. Stąd widzę, że ta szczerba jest spora. Pewnie kiedyś odłamek skalny, przelatując równolegle do powierzchni, zahaczył tutaj i runął do krateru. Może te odłamki widzieliśmy podczas lądowania.

W końcu obaj stanęli w regularnym wyżłobieniu, szerokim na dobrych parę metrów, a głębokim może na trzy. Wyglądało jak płytki wąwóz kilkunastometrowej długości, łączący zewnętrzną ścianę, po której się wspięli, z lejem. Podeszli, by zobaczyć, jak krater wygląda wewnątrz.

– Jim, to całkiem spory lej, będzie dobrych kilkadziesiąt jardów w dół. Ściany są dość gładkie i pokryte pyłem, ale pod nim podłoże może być gęste i twarde. Kąt nachylenia, tak na oko, trzydzieści stopni. Jedyna ciekawostka to rumowisko po przeciwnej stronie. Moglibyśmy zejść i przyjrzeć mu się z bliska, jak myślisz? – powiedział Dave, rozglądając się pobieżnie dookoła.

Jego kolega nie odpowiedział od razu. Stał nieruchomo ze wzrokiem wbitym w przeciwległe zbocze leja.

– To nie jest rumowisko skalne... – Wypowiedział to dopiero po chwili, bardzo wolno, w sposób taki, że jego kompan natychmiast obrócił się i skupił wzrok!

– Kontrola misji! Tu Apollo 15! Chłopaki! Jesteśmy w kraterze, przesyłamy obraz. To niemożliwe! Nie uwierzycie!

W końcu piętnastego wieku żeglarz Kolumb, poszukując zachodniej drogi do Indii, odkrył nowy ląd. Rozwijała się nauka, budowano akademie, badano środowisko, poszerzano wiedzę w niemal każdej dziedzinie. Nadchodziły zmiany. Dwadzieścia lat przedtem, w innej części Europy, na Uniwersytet Jagielloński uczęszczał imć Twardowski, młody, biedny żak, często głodny, a na dodatek wyśmiewany za brzydotę. Baty, których nie skąpił mu los, zahartowały młodego ducha. Zyskał pewność siebie. Nieźle poznał też historię ówczesnego świata. Często rozmyślał o tym, że ludzie zmarnowali już niemal milenium... Jako czterdziestolatek zrobił wiele, by wziąć udział w trzeciej wyprawie do Nowego Świata. Osiemnaście lat wstecz towarzyszył już Kolumbowi w jego pierwszej eskapadzie z Portugalii do Islandii. Po tych wydarzeniach nasz bohater, zafascynowany śmiałością Kolumba, przedłożył śmiałą myśl. Nie chciał już żeglować po oceanach. Myślał, by wznieść się ponad lądy, ponad najwyższe znane góry.

– Jak myślisz, uda się wzlecieć tak wysoko?

– Mamy cel, starczy pokonać drogę, przyjacielu. Dym ponad paleniskiem wznosi się ku górze. Potrzeba nam niewyobrażalnej ilości gorącego powietrza. Wspomnij podróż do Islandii w 1480 roku. Widzieliśmy wulkany, siarkę wypływającą z czeluści planety, ciepłe źródła i gejzery na tych piekielnych ziemiach. Wspomnij, jak odpływając, obserwowaliśmy z morza mieszkańców jednej z niewielkich wysepek, którym zagrażał ziejący bez ustanku ogniem wulkan. Przekopali jego zbocze, aby ugasić żywioł wodą morską. Nastąpił potężny wstrząs i erupcja, a potężne skały wzleciały w powietrze niczym kule armatnie. Pamiętasz, jak czekaliśmy, by zobaczyć, gdzie spadną? A one nigdy nie spadły. Chcę wiedzieć, co się z nimi stało. Zaprzęgnijmy piekło do pracy! Gdyby tak doprowadzić kipiel morską do ognia wulkanu i połączyć te żywioły, wytworzyłoby się w mgnieniu oka tyle pary, że niewielki okręt z załogą mógłby wznieść się na jej szczycie w przestworza. To może się udać! Jedno, co znamy, to nasz cel!

– Tak, mamy cel. Nie wiadomo tylko, jak daleko do niego i co tam jest. Nawet nie wiemy, czy tam wysoko jest powietrze. A i słońce może nas spalić za naszą zuchwałość. Wspomnij legendę o Ikarze...

Kadłub okrętu wypchnięty siłą eksplozji na skraj atmosfery nie rozpadł się od razu. Szczęśliwym trafem wydarł się z okowów ziemskiego przyciągania. Rzecz oczywista, nikt z kilku śmiałków kryjących się w szczelnych, okutych pancerzem kajutach nie przetrwał. Po długim czasie swobodnego lotu w przestrzeni szczątki przechwyciła grawitacja Księżyca. Minęły miesiące, nim wrak zbliżył się do powierzchni na tyle, by w końcu na nią opaść. Po długim dryfie tuż nad księżycowym gruntem zahaczył o koronę dużego krateru i runął v dół leja, rozbijając się doszczętnie... ■

Krzysztof Szczechowski

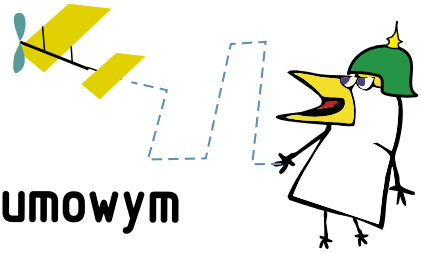
eprasa.pl a93bb99ddb



Halowe modele latające z napędem gumowym to fascynujące połączenie prostoty i inżynierii. Są to bardzo lekkie modele, których siła napędowa pochodzi z mocno skręconej gumy. Choć mogą wydawać się zabawkami, stanowią doskonałe wprowadzenie w świat konstrukcji lotniczych.

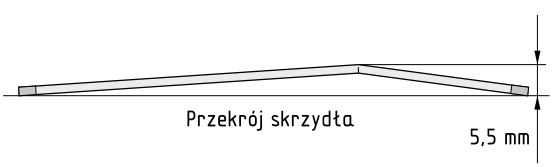
Schmetterling

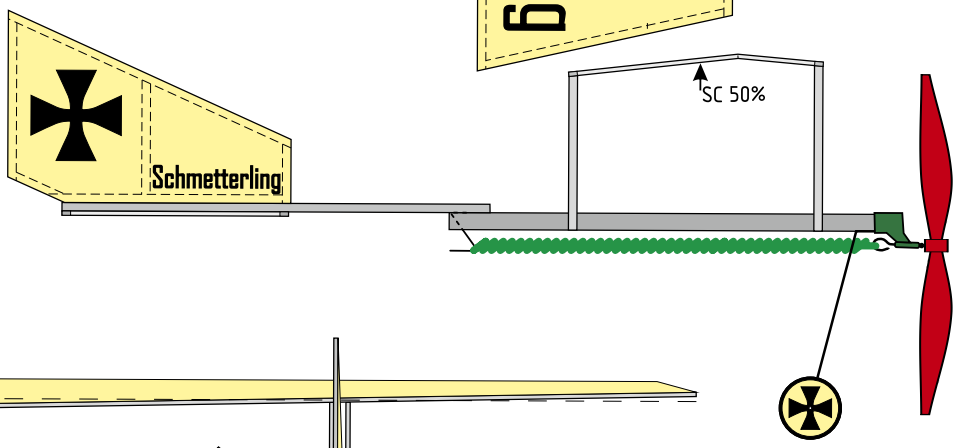
Model halowy z napędem gumowym

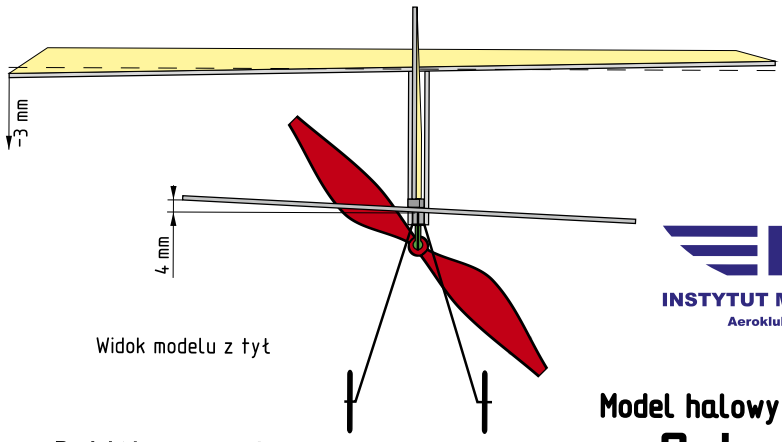


Halowy model latający z napędem gumowym to prosty, ale niezwykle pomysłowy przykład zastosowania fizyki w praktyce. Jego działanie opiera się na zamianie energii potencjalnej zgromadzonej w nakręconej gumce w energię kinetyczną, która napędzając śmigło modelu, powoduje, że może on wzbić się w powietrze. Gumka w modelu pełni rolę mechanicznego akumulatora energii – nakręcając ją, „ładujemy" akumulator. Od jakości zastosowanej gumy w dużej mierze zależeć będą osiągi modelu – na świecie jest tylko jedna firma, która produkuje gumę specjalnie na potrzeby modelarzy. Jest to guma wykonana z naturalnego kauczuku, a proces jej produkcji jest zoptymalizowany pod kątem zdolności gromadzenia energii. Taka guma jest niestety dostępna tylko w specjalistycznych sklepach modelarskich, ale do proponowanego poniżej modelu w zupełności wystarczy napęd wykonany z gumek „recepturek". Osiągi modelu z taką gumką będą gorsze, ale w zupełności wystarczające do zabawy czy eksperymentów.

eprasa.pl a93bb99ddb







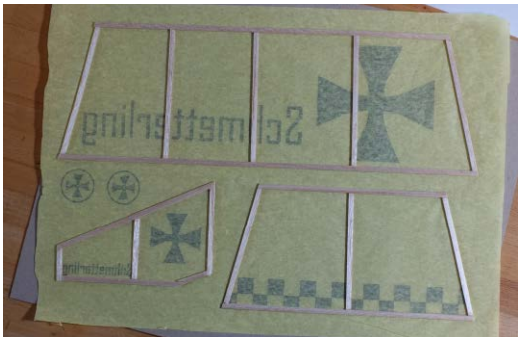
Widok modelu z tył

Projekt i opracowanie:
Mariusz Wrona

IML
INSTYTUT MAŁEGO LOTNICTWA
Aeroklubu Częstochowskiego

Model halowy z napędem gumowym
Schmetterling

eprasa.pl a93bb99ddb



Listewki smarujemy klejem i przyklejamy do bibułki



Wycinamy części skrzydeł i stateczników

Budujemy model Schmetterlinga

Do budowy modelu potrzebować będziemy deseczki z drewna balsowego o grubości 1,5 mm, plastikowego śmigła o średnicy 120...150 mm i arkusza bibułki – może to być zwykła, gładka bibułka ozdobna. Ponadto niezbędne będą: klej w sztyfcie, klej do drewna, ostry nożyk do tapet i żyletka. Deseczkę balsową i śmigiełko należy zakupić w sklepie modelarskim; pozostałe materiały są dostępne w sklepach papierniczych i budowlanych. Budowę modelu rozpoczynamy od wydrukowania planu montażowego modelu (https://tiny.pl/zmb2b62cv), a następnie na gładkiej bibułce drukujemy pokrycie modelu. Bibułka jest jednak zbyt delikatna, żeby na niej drukować – trzeba ją wstępnie nakleić na kartkę papieru, używając kleju tymczasowego w sprayu. Taki klej pozwoli na późniejsze oddzielenie bibułki od kartki papieru. Z deseczki balsowej, używając ostrego nożyka do tapet i linijki, odcinamy listewki o szerokości 3 mm na krawędzie skrzydeł i stateczników. Listewki przycinamy na wymiar, następnie smarujemy klejem w sztyfcie i przyklejamy do bibułki. Miejsca łączeń listewek wzmacniamy kropelkami kleju do drewna. Przednią część kadłuba sklejamy z trzech listewek o szerokości 8 mm, a tylną z dwóch o szerokości 4 mm. Po wyschnięciu kleju części modelu wycinamy, używając żyletki. Stateczniki i skrzydła przyklejamy do kadłuba. Z przodu kadłuba montujemy obsadkę śmigła, natomiast tylny zaczep gumy wyginamy ze szpilki krawieckiej i wklejamy z tyłu belki kadłuba. Podwozie należy wygiąć z drutu stalowego o średnicy 0,6 mm. Do napędu modelu można użyć naciągu złożonego z kilku gumek recepturek – najlepiej użyć gumek lateksowych. Gumkę nakręcamy, kręcąc śmigłem – w zależności od jakości i przekroju gumy należy wykonać od 100 do 500 obrotów. Model możemy puszczać na otwartej przestrzeni lub na sali gimnastycznej – w przypadku lotów na zewnątrz model wypuszczamy zawsze pod wiatr. Przed pierwszymi lotami należy sprawdzić wyważenie modelu – środek ciężkości powinien się znajdować w około 1/3...1/2 skrzydła szerokości skrzydła. Jak lata model Schmetterlinga, można zobaczyć na filmie (https://tiny.pl/s-kp8x97j). Życzę udanych lotów i kreatywnej zabawy. ■

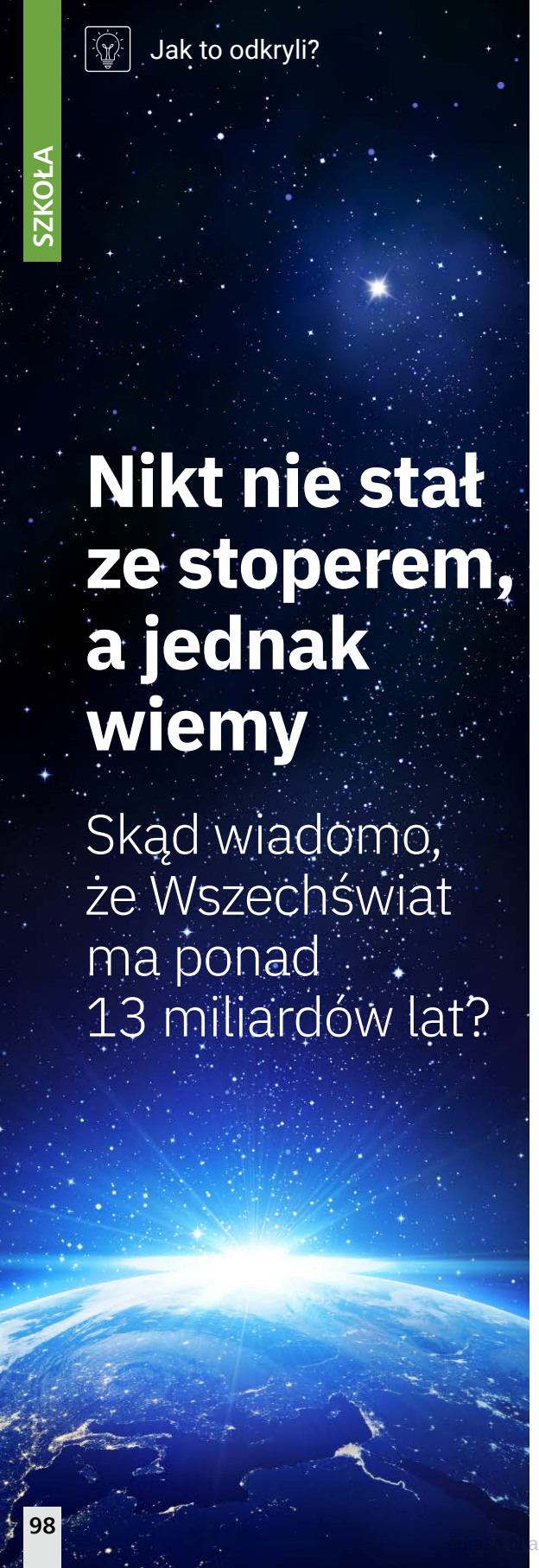
Mariusz Wrona





Gotowy model i stadko „Schmetterlingów” wykonane przez młodych modelarzy

eprasa.pl a93bb99ddb



Nikt nie stał ze stoperem, a jednak wiemy

Skąd wiadomo, że Wszechświat ma ponad 13 miliardów lat?

Ciekawski pyta. Wiki odpowiada. Tak działa ta rubryka. Ciekawski reprezentuje każdego z nas – pełnego wątpliwości i zdroworozsądkowego niedowierzania. Wiki to kosmiczny detektyw: operuje twardymi danymi, nie uznaje odpowiedzi „bo tak" i potrafi wytłumaczyć wiek Wszechświata przez analogię do balonika.

Redaktor X

Liczba wzięta z sufitu?

Ciekawski: Wiki, wytłumacz mi to. Czytam wszędzie: „Wszechświat ma 13,8 miliarda lat". Brzmi jak liczba wzięta z sufitu. Skoro najstarszy zegarek ma góra kilkaset lat – skąd ta pewność?

Wiki: Mylisz chronometrię mechaniczną z kosmologiczną. Nie mamy zegarka – mamy coś lepszego: sam Wszechświat zachowuje się jak zegar. I mamy aż trzy niezależne metody jego odczytu, które dają ten sam wynik.

Ciekawski: Trzy metody? To zacznijmy od pierwszej.

Wiki: Pierwsza: stała Hubble'a. Wyobraź sobie balon z naklejonymi kropkami – to są galaktyki. Gdy balon puchnie, kropki oddalają się od siebie. Edwin Hubble odkrył w 1929 roku, że prawie wszystkie galaktyki uciekają od nas. Im dalej galaktyka – tym szybciej ucieka.

Ciekawski: No dobra, balon puchnie. I co? Mierzycie go centymetrem krawieckim?

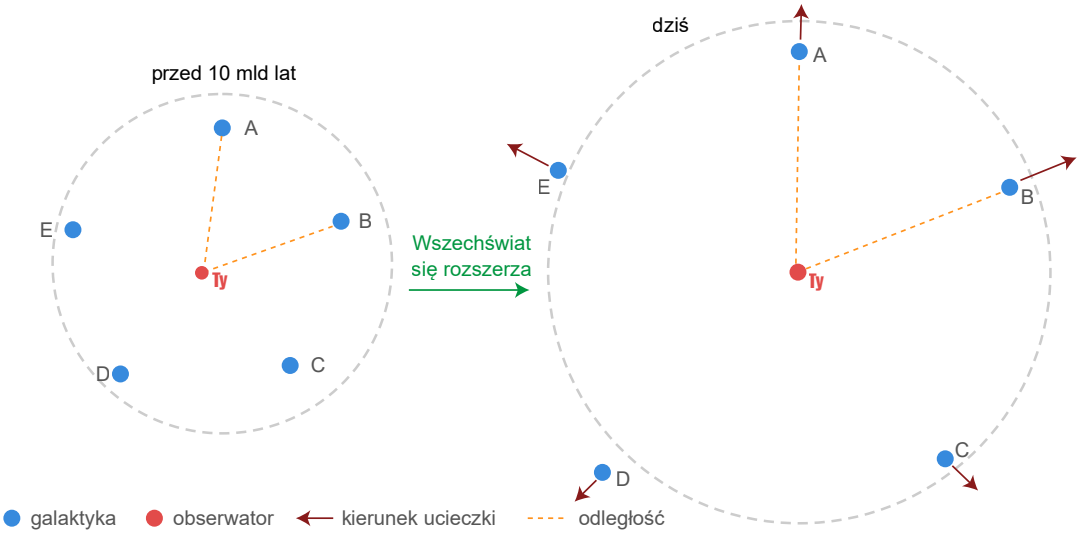
Wiki: Prawie. Mierzymy, jak szybko galaktyki się od siebie oddalają. Skoro wiemy, jak szybko i jak daleko są teraz, możemy „cofać film". Moment, w którym wszystkie galaktyki spotykają się w jednym punkcie – to nasz start. Odwrotność stałej Hubble'a daje przybliżony wiek Wszechświata.

Ciekawski: Ale skąd wiecie, jak daleko są te galaktyki? Nie można tam pojechać z taśmą mierniczą.

Wiki: Tu wchodzi drabinka odległości. Pierwsze szczeble: paralaksa i cefeidy. Cefeidę odkryła Henrietta Leavitt – to gwiazda pulsująca jak latarnia morska. Czas pulsacji mówi, jak jasna jest naprawdę gwiazda. Porównujesz jasność prawdziwą z tym, co widzisz – i masz odległość. Dalej: supernowe typu Ia – zawsze wybuchają tak samo jasno. Standardowa świeca.

> **Wszechświat to balon. Galaktyki to kropki na jego powierzchni. Nie uciekają jedna od drugiej – to przestrzeń między nimi się rozciąga.**

a93bb99ddb



Galaktyki nie poruszają się – to przestrzeń między nimi się rozciąga

Efekt Dopplera – dlaczego galaktyki „czerwienieją”?

Ciekawski: Ale jak „mierzysz prędkość ucieczki galaktyki”? Słyszysz, że jedzie szybciej?

Wiki: Niemal dosłownie! To efekt Dopplera, ale dla światła. Gdy karetka jedzie do ciebie – syrena brzmi wyżej. Gdy odjeżdża – niżej. To samo dzieje się ze światłem: galaktyka uciekająca wysyła światło przesunięte ku czerwieni. Im szybciej ucieka – tym bardziej czerwone.

Wiki-Fiszka: Edwin Hubble (1889–1953)
Amerykański astronom, który w 1923 r. udowodnił, że mgławica Andromedy to osobna galaktyka poza Drogą Mleczną.
W 1929 r. sformułował prawo: prędkość ucieczki galaktyki rośnie proporcjonalnie do jej odległości. To fundament kosmologii ekspansji.
Ironia losu: Hubble nigdy nie dostał Nagrody Nobla – w jego czasach astronomia nie była uznawana za fizykę.

Ciekawski: I z tej czerwoności obliczacie wiek?

Wiki: Z niej obliczamy prędkość, a z prędkości – odległość i tempo ekspansji. Pierwsze obliczenia Hubble’a dały tylko dwa miliardy lat – siedem razy za mało. Mierzył odległości błędnie. Trwało to pół wieku poprawek.



Im szybciej galaktyka ucieka – tym bardziej czerwone jej światło

eprasa.pl a93bb99ddb

Ciekawski: Pół wieku?! To tak długo szukali kluczy pod latarnią!

Wiki: Nauka tak działa. Każda poprawka dawała lepszy wynik. Ale żeby go potwierdzić, potrzeba było fizycznego dowodu. I tu pojawia się najpiękniejsze odkrycie w historii astronomii.

Ciekawski-Tip
Stary telewizor kineskopowy na pustym kanale wyświetlał śnieg szumu. Część tego szumu to dosłownie echo Wielkiego Wybuchu! Promieniowanie tła CMB jest tak wszechobecne, że łapała je każda antena – także telewizyjna.

Echo Wielkiego Wybuchu – najstarsze zdjęcie świata

Ciekawski: Jaki fizyczny dowód? Co faktycznie „widać"?

Wiki: Promieniowanie tła Wszechświata – CMB (Cosmic Microwave Background). To najstarsze światło we Wszechświecie, swoiste echo Wielkiego Wybuchu. I odkryto je przez przypadek.

Ciekawski: Przez przypadek?

Wiki: W 1965 roku dwóch inżynierów Bell Telephone, Penzias i Wilson, walczyło z tajemniczym szumem w antenie radiowej. Szum przybywał z każdego kierunku nieba. Podejrzewali gołębie.

Ciekawski: Gołębie?!

Wiki: Serio. Sprawdzili, czy antena nie jest zanieczyszczona odchodami ptaków. Nie była. Szum pozostał. Zadzwonili do kosmologów z Princeton, którzy właśnie kończyli budować detektor, by ten szum znaleźć. Penzias i Wilson odkryli go pierwsi – i dostali za to Nobla.

Ciekawski: Ale co to ma wspólnego z wiekiem Wszechświata?

Wiki: Wszystko. Wyobraź sobie Wszechświat 380 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu. Wcześniej materia była tak gęsta, że światło nie mogło przejść. Potem Wszechświat ostygł, elektrony połączyły się z protonami – przestrzeń stała się przezroczysta. Całe promieniowanie wystrzeliło. Leci do dziś.

Ciekawski: I ta fala ma 13 miliardów lat?

Wiki: Prawie 13,8. Ostygła do minus 270 stopni. Satelity COBE, WMAP i Planck zmierzyły ją z dokładnością do ułamka procenta. Z jej wzorca temperatur można odczytać dokładnie, ile lat temu została wysłana. To jak zdjęcie noworodka w kosmicznym albumie.

CMB to najstarsza fotografia w historii. Zrobiona 380 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu. Wywołana 13 miliardów lat później przez antenę telefoniczną w New Jersey – zanim ktokolwiek wiedział, czego szuka.

Gwiazdy, które nie mogą być starsze od Wszechświata

Ciekawski: Mówiłeś o trzech metodach. Trzecia?

Wiki: Wiek najstarszych gwiazd. Prosta logika: dom nie może być młodszy od mieszkańców, którzy się w nim urodzili. Gwiazdy nie mogą być starsze niż Wszechświat, w którym powstały.

Ciekawski: I jak mierzycie wiek gwiazdy? Pytacie ją o PESEL?

Wiki: Gwiazdy są żywymi zegarami. Wiadomo, ile wodoru gwiazda określonej masy ma na starcie i jak szybko go spala. Porównujesz obserwowany skład chemiczny z modelem – i odczytujesz wiek. Najstarsze gromady kuliste w naszej galaktyce mają ok. 13,2 miliarda lat.

Ciekawski: Czyli Wszechświat musi mieć co najmniej tyle.

Wiki: Dokładnie. I to się zgadza z CMB i z Hubble'em. Trzy niezależne termometry pokazują tą samą temperaturę – to nie przypadek.

Ciekawski: Ostatnie pytanie: 13,787 miliarda lat z błędem 20 milionów – to dużo czy mało?

Wiki: To 0,15% pełnego wieku. Porównaj to do dokładności, z jaką znasz swój wiek – wiesz, ile masz sekund? Nie. Jednak wiesz, ile masz lat.

Ciekawski: Słusznie. Ale mówiłeś, że ta historia nie jest skończona?

Wiki-Fiszka: Satelity, które usłyszały echo Stworzenia
COBE (NASA, 1989) – pierwszy satelita mierzący fluktuacje CMB. Odkrycie uhonorowane Noblem w 2006 r.
WMAP (NASA, 2001) – wiek Wszechświata: 13,77 ± 0,06 mld lat.
Planck (ESA, 2009) – najdokładniejsza mapa. Wynik: 13,787 ± 0,020 mld lat. Błąd: 0,1%.

eprasa.pl a93bb99ddb

Wiek najstarszych gwiazd: 13,2 miliarda lat. Wszechświat musi być od nich starszy. Dom nie może być młodszy od mieszkańców, którzy się w nim urodzili.

Wiki: Nie. Dwie główne metody różnią się o kilka procent – kosmologowie nazywają to napięciem Hubble'a. Albo któraś metoda ma ukryty błąd, albo – w fizyce Wszechświata jest coś, o czym jeszcze nie wiemy. Nauka rzadko kończy się okrągłą odpowiedzią.

Ciekawski: Czyli może być, że to 15 miliardów lat?

Suwak czasu	Wszechświata
0	Wielki Wybuch
0,38 mln lat	Pierwsze atomy. Wszechświat staje się przezroczysty. Powstaje CMB.
200 mln lat	Pierwsze gwiazdy i galaktyki
9,2 mld lat	Narodziny Układu Słonecznego
9,6 mld lat	Powstanie Ziemi
13,4 mld lat	Pierwsze życie lądowe
13,787 mld lat	Dziś

Wiki: Może. Ale na pewno nie milion. I na pewno nie bilion. Jesteśmy blisko – i z każdym nowym satelitą bliżej. ■

Redaktor X

Kto wymyślił nazwę „Wielki Wybuch"?

Odpowiedź jest przewrotna: człowiek, który w tę teorię nie wierzył.

Był rok 1949. Brytyjski astronom Fred Hoyle wziął udział w audycji radiowej BBC, w której bronił własnej teorii – tzw. stanu stacjonarnego – zakładającej, że Wszechświat nie ma początku ani końca. Chcąc zadrwić z konkurencyjnej hipotezy Georges'a Lemaître'a, użył pogardliwego określenia: „that big bang idea". Miało to brzmieć absurdalnie.

Efekt był odwrotny od zamierzonego. Słuchacze BBC zapamiętali barwną nazwę, dziennikarze zaczęli jej używać, a środowisko naukowe – początkowo niechętnie – w końcu ją przejęło. Hoyle do końca życia uważał, że zrobił teorii niedźwiedzią przysługę: nadał jej chwytliwą markę, przez co publiczność zaczęła traktować ją poważniej, niż on sam sobie życzył.

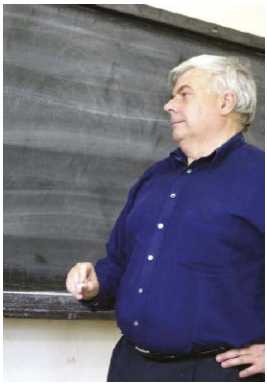
Ojcem samej teorii był natomiast belgijski ksiądz i fizyk Georges Lemaître, który w 1927 roku opublikował obliczenia wskazujące na rozszerzanie się Wszechświata, a w 1931 r. zaproponował koncepcję „pierwotnego atomu" – jednego punktu, z którego wszystko się zaczęło. Hubble dostarczył obserwacyjnych dowodów, Lemaître – matematycznych podstaw. Hoyle – tylko nazwę.

Ciekawostka: teoria Hoyle'a o stanie stacjonarnym upadła ostatecznie w 1965 r., gdy Penzias i Wilson odkryli promieniowanie tła CMB – ów kosmiczny szum, który jest właśnie echem tego, w co Hoyle nie wierzył.

REKLAMA



eprasa.pl a93bb99ddb



Z „Młodym Technikiem” jestem związany od półwiecza. Wtedy w naszym kraju można było jeszcze spotkać dinozaura. W 1976 roku opublikowałem w MT artykuł o poszukiwaniu liczb pierwszych – w przededniu eksplozji tej tematyki związanej z metodami szyfrowania wiadomości za pomocą niesamowitych własności tych liczb. Potem przyszła bliższa współpraca. Od 1978 roku pisuję co miesiąc o mojej pięknej matematyce. Chcę i muszę tu podziękować mojemu nauczycielowi matematyki z liceum. Był nim inż. Wacław Chyra (1904–1970) – dowódca kompanii w Powstaniu Warszawskim. Kilkakrotnie podrywał kompanię do straceńczego ataku. Sam przeżył przypadkiem. Kłaniam się nisko, Panie Profesorze.
Na pytanie, jakie mam hobby, odpowiadam, że trzy: 1) matematyka, 2) matematyka, 3) matematyka. Na pytanie o szczęśliwe liczby odpowiadam: 1, 41, 116. Autobusem warszawskiej linii 116 dojeżdżałem do mojej szkoły: warszawskiego Liceum nr 41 im. Joachima Lelewela. Gdy jechałem na egzamin maturalny, podjechał autobus z numerem bocznym 1. Wtedy „jedynka” nie kojarzyła się z oceną niedostateczną, lecz miała raczej znaczenie: „będziesz pierwszy”. Udało się. Zdałem maturę!
Piszę zatem o matematyce. Przenika ona nasze życie. Uczy myślenia, precyzji i spokoju. Nie rozwiązuje naszych codziennych problemów, ale daje nadzieję na ciekawe życie. Dorastają już Czytelnicy „Młodego Technika”, którzy będą żyć w XXII wieku. Zainteresujcie się matematyką.

Mój internetowy test z matematyki

Jesteśmy wszyscy obserwowani przez tajemniczego Wielkiego Brata. W każdym razie ci z nas, którzy używając ich, komunikują się ze światem za pomocą komputera albo telefonu komórkowego – czyli pewnie jakieś 95% osób w wieku powyżej 7 lat. Codziennie w swojej komórce zastaję prymitywne testy. Same zadania są, owszem, pewnym ćwiczeniem dla umysłu. Komentarze do nich są jednak na poziomie reklam szamponu, w których ów szampon zwiększa puszystość każdego włosa o 40%. Śmieję się z tego, ale jest w tym dużo złości i żalu, że tak dajemy się manipulować.

Oto autentyczne przykłady z jednego weekendu:
Internet aż huczy na temat tego działania:

$$9 : 3 \cdot 2 - 8 \cdot 3 : 6$$

Nawet najlepsi się mylą: $6 + 2 \cdot (4 + 3 : 1) = ?$
Jaka jest odpowiedź? Internauci podzieleni:

$$77 : 11 \cdot 7 + 7 \cdot 7 : 7 - 11$$

Działanie z x zwodzi nawet największych bystrzaków: $3 \cdot (8 - x) + 2x = 18$

Nigdy nie klikam w te zadania. Ograniczam się do tego, co jest widoczne bez wchodzenia. Nie chcę zwiększać „oglądalności” tych wiadomości. Tym niemniej zmotywowały mnie one do wycieczki w kierunku prostej, a fascynującej arytmetyki. Na rozbudowanej wersji tego artykułu powstały dwa wykłady dla moich studentów ze szkoły informatyki stosowanej. W swoich zajęciach w tej szkole nadużywam zwrotu „niech się Państwu młodość przypomni” (studenci mają po 19...20 lat!).

Zatem i tu odwołam się do wiadomości, które nam wszystkim wpojono we wczesnych latach nauki szkolnej. Mnożenie i dzielenie wiąże mocniej niż dodawanie i odejmowanie, a zatem $a \cdot b + c$ znaczy: najpierw pomnóż a i b, potem do wyniku dodaj c. Do zmiany kolejności służą nawiasy: $(a + b) \cdot c$ odczytamy jako: najpierw dodaj a i b, a następnie wynik pomnóż przez c. Wiemy też, że kropkę przy działaniu mnożenia można opuszczać, ale programy obliczeniowe potraktują napis xy jako zmienną o tej nazwie. Jeżeli chcemy mieć mnożenie, należy postawić gwiazdkę: $x * y$. Niekiedy wystarczy spacja między symbolami: $x\ y$.

Kłopoty (i pułapki) zaczynają się przy działaniach równorzędnych i to tam, gdzie używamy zapisu wygodnego przy wpisywaniu działań z klawiatury. Każdy prawidłowo zrozumie, że $1/(2x)$ oznacza odwrotność liczby $2 \cdot x$.

eprasa.pl a93bb99ddb

Na przykład dla $x = 3$ wynikiem jest ułamek $\frac{1}{6}$. Zapis $1/2 \cdot x$ to oczywiście co innego – to połowa liczby x, a zatem dla $x = 6$ otrzymamy wynik 3. Jeżeli jednak wpiszemy to z klawiatury i podamy komputerowi, to łatwo się pomylić. Naturalnie wyglądający zapis $1/2 \cdot x$ nie oznacza $\frac{1}{2x}$, tylko $\frac{1}{2}x$. A to dlatego, że działania równorzędne wykonujemy w kolejności „od lewej do prawej" – najpierw podziel 1 przez 2, a to, co wyjdzie, pomnóż przez x. Gdy chcemy mieć $\frac{1}{2x}$, musimy użyć nawiasów: $1/(2x)$. Można powiedzieć, że są one odpowiednikiem kreski ułamkowej.

Rozwiązaniem pierwszego z tych zadań (tam, gdzie internet aż huczy) jest zatem taka: liczbę 9 najpierw dzielimy przez 3, a otrzymany wynik mnożymy przez 2, a więc dostajemy 6. Od tej liczby trzeba odjąć 24 podzielone przez 6. Wynikiem jest 2. Przyszło mi do głowy, żeby zobaczyć, jak sobie z tym da radę AI, Sztuczna Inteligencja. Wybrałem ChatGPT. Odpowiedź była ciekawa, bo naprawdę pokazał (pokazała?) mi, jak to robić, a mianowicie, że najpierw trzeba wykonać działania wewnętrzne, najsilniej wiążące, czyli mnożenia i dzielenia, czytając je od lewej do prawej. Miał rację, prawda? Zaczynamy od środka. Dziwne? Może i dziwne, ale nie zastanawiamy się nad tym, bo robimy tak od kilkunastu pokoleń.

Otóż i to. Zapis działań, do którego jesteśmy przyzwyczajeni, nazywany jest infiksowym. W słowie „infiks" mamy przedrostek „in-", który znaczy „w". I właśnie – wróćmy do szkolnych lekcji gramatyki. Jeśli nawet nie pamiętamy, co to są przedrostki i przyrostki, to od razu sobie przypomnimy. Przedrostek doczepia się do wyrazu z przodu: jechać – **wy**jechać, palić – **na**palić. Niekiedy zmienia, mniej lub bardziej, znaczenie słowa: mieć – **u**mieć, leżeć – **na**leżeć, stać – **prze**stać. Przyrostki (sufiksy) są „doczepiane" na końcu wyrazu: dom – dom**ek**. Tu trudno o zmianę znaczenia, chociaż sto**łek** i sto**lik** to nie to samo, a kamienica nie jest żoną kamienia.

Z punktu widzenia językoznawcy bardzo ciekawy jest przyrostek „**-dło**". Mydło służy do mycia, szydło do szycia, a i bydło pochodzi od „być". Zagnieżdżając dygresję, przypomnę Czytelnikom, że gdy Czech zapyta nas: „Kde bydlíš?", to nie znaczy, że porównuje nas do nierogacizny. Po prostu chce się dowiedzieć, gdzie mieszkamy. W powieści „Powrót z gwiazd" Stanisław Lem używa słowa „bradło". To miejsce, gdzie się bierze pieniądze, czyli bank, a raczej bankomat. Ciekawe jest słowo „prześcieradło", z przedrostkiem i przyrostkiem. Sympatyczne jest też określenie „stadło małżeńskie", prawda?

Międzynarodowe określenia na przedrostek i przyrostek to właśnie prefiks i sufiks. W polszczyźnie nie mamy infiksów, czyli czegoś wstawianego w środek wyrazu. Pewnego rodzaju „pseudoinfiksy" mogą służyć do tworzenia kalamburów. Wspomnę żart Juliana Tuwima o Juliuszu Kaden-Bandrowskim (1885–1939). Pisarz ten kandydował do Polskiej Akademii Literatury, więc nielubiący go Julian Tuwim nazwał go „kadendydatem".

Co to ma wspólnego z matematyką? Bardzo wiele. Otóż tradycyjny zapis działań matematycznych, taki jak na przykład:

$$\log(x + y) - xy - \frac{1}{x^2} + \frac{(x+1)^2}{(y-1)^2}$$

to właśnie notacja *infiksowa*. Jest dużo nawiasów, a zaczynamy to wszystko obliczać – zaczynając od wewnątrz, od „uwolnienia się od nawiasów". Tak wymyślono kilkaset lat temu. Co ważniejsze, musimy pamiętać i przestrzegać reguł kolejności działań. Dorośli Czytelnicy nie mają z tym trudności: już przypomniałem, że dodawanie i odejmowanie wykonujemy po kolei, od lewej do prawej, a mnożenie i dzielenie ma pierwszeństwo przed nimi.

Skoro mowa o kolejności działań, to należy wspomnieć o potęgowaniu. Z tym jest wiele pomyłek, choć piętrowe potęgi zdarzają się rzadko. I tu niespodzianka: w potęgowaniu zaczynamy od prawej (a więc od góry). Taka jest zasada, ale łatwo się zgodzić, że jest ona naturalna. Zobaczmy. Najczęściej podawanym i efektownym przykładem jest liczba

$$9^{9^9}$$

Jest ona równa 9 podniesione do potęgi 9^9=387 420 489. Jak wielką liczbę dostaniemy? Trudno nawet opisać, jak wielką. Będzie miała 369 693 100 cyfr, czyli prawie 370 milionów. Można się zabawić zadaniami, ile tomów by ta liczba zajęła i jak szybko wydrukowałaby ją ultraszybka drukarka. To nie jest moim celem. Gdyby rozumieć tę piętrową potęgę tak, że najpierw obliczamy 9^9, a wynik znów podnosimy do 9, rezultat nie byłby tak straszny. Z reguł działań na potęgach wynika, że byłoby 9^{81}, a zatem skromne...

196 627 050 475 552 913 618 075 908 526
912 116 283 103 450 944 214 766 927 315
415 537 966 391 196 809

eprasa.pl a93bb99ddb

Ciekawe, że gdy dziewiątkę zastąpimy dwójką, otrzymamy równe wyniki: $2^4 = 4^2 = 16$.

Nawiasy pomagają, ale gdy jest ich za dużo, szybko tracimy orientację – trzeba do każdego nawiasu otwierającego szukać zamykającego. To był duży kłopot w latach, które mój znajomy matematyk nazywa „epoką komputera łupanego", czyli jakieś 70...80 lat temu. Dziś dobre edytory tekstów matematycznych podpowiadają, gdzie jest ten „braciszek", ten drugi nawias. Czy jednak można uniknąć nawiasów? Można. Ale najpierw dwie ciekawostki.

W moim podręczniku do VI klasy był bardzo ładny rysunek ilustrujący znaczenie nawiasów w matematyce. Na tablicy było napisane działanie matematyczne, nie pamiętam jakie, ale powiedzmy $2 \cdot (3 + 4)$.

Przed tablicą stał chłopiec i zasłaniał dłońmi nawiasy – było to zręcznie narysowane, bo dłonie chłopca doskonale naśladowały te nawiasy. Nie było wątpliwości – najpierw wykonuj to, co w nawiasach! Próbowałem nakłonić AI, żeby mi to jeszcze raz narysowała. Nie dało się jej wytłumaczyć, zawsze coś było nie tak! Mam tylko proste, bezpłatne wersje różnych aplikacji. Profesjonalne na pewno dadzą sobie radę z takim rysunkiem.

Jeszcze ciekawostka o nawiasach. Brytyjski fizyk Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) współtworzył mechanikę kwantową i jest twórcą formalizmu opisującego ją. Miał ciekawy pomysł słowotwórczy. W brytyjskim angielskim „nawiasy" to równie dobrze *parentheses*, jak i *brackets* – w amerykańskim te terminy mają trochę inne znaczenie. Dirac określił dwa operatory: „bra" i „ket", czyli jakby lewy i prawy nawias. Operatory te służą do opisu stanów kwantowych, ale nie mogę wchodzić w szczegóły mechaniki kwantowej. Można to jednak przybliżyć dość prosto, choć jednak w nadmiernym uproszczeniu. Mamy wektor, powiedzmy o trzech współrzędnych. Zapiszmy to w dziwny sposób, z tylko jednym, lewym nawiasem i w dodatku z gwiazdką u góry, a więc $w^* = (1, 2, 3$. Następnie w pionie, ale tylko z prawym nawiasem i bez gwiazdki, ket:

$$w = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}\Bigg)$$

Złączenie ich ma już obydwa nawiasy: (w^*, w)

W algebrze tak oznacza się iloczyn skalarny, czyli $1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 3 = 1 + 4 + 9 = 13$. Jest to kwadrat długości tego wektora. W mechanice kwantowej gwiazdka oznacza wektor sprzężony (cokolwiek to znaczy), a iloczyn opisuje stan kwantowy w stosownej przestrzeni Hilberta (znów cokolwiek to znaczy). Sądzę, że angielska nazwa lewego operatora, która po angielsku znaczy... no, kto nie wie, niech zajrzy do słownika, nie kojarzyła się Diracowi zbyt dosłownie...

Przechodzę do głównego tematu artykułu. Tak zwana beznawiasowa notacja polskiego logika Jana Łukasiewicza (1878–1956) przydaje się w logice formalnej, pomaga w rozumieniu drzewek składniowych i lepiej „wyjaśnia" kalkulatorowi kolejność działań. Zasadą notacji Łukasiewicza (zwanej notacją prostą, bo za chwilę będzie o odwrotnej) jest to, że przy operacjach wiążących dwie liczby (albo na przykład dwie zmienne logiczne) znak działania stawiamy **przed** liczbami, a nie między nimi – zatem nie *a* + *b*, tylko + *a b*. Trzeba oczywiście pilnować, by liczby były oddzielone spacją. Poćwiczmy:

$$2 + 2 = 4 = +2\ 2$$
$$2\ (3 + 4) = \mathrm{x}\ 2 + 3\ 4$$
$$\tfrac{1}{2\mathrm{a}} = /\ 1\ \mathrm{x}\ 2\ \mathrm{a}$$
$$\tfrac{1}{2}\mathrm{a} = \mathrm{x}\ /\ 1\ 2\ \mathrm{a}$$

Jan Łukasiewicz (1878–1956) był współtwórcą warszawsko-lwowskiej szkoły matematycznej. Zapoczątkował (jako jeden z wielu) logikę matematyczną. Był związany z Lwowem i Warszawą. W latach 1922/23 i 1931/32 był rektorem Uniwersytetu Warszawskiego. Po traumatycznych przeżyciach podczas Powstania Warszawskiego wyjechał z kraju i w 1946 osiadł w Irlandii. Zmarł w 1956 roku. Na jego nagrobku w Dublinie jego żona, Regina z domu Barwińska, kazała wyryć napis: „In memory of my dear husband, Prof. Dr Jan Łukasiewicz Born 21 Dec 1878, Died 13 Feb 1956, far from dear Lwów and Poland".

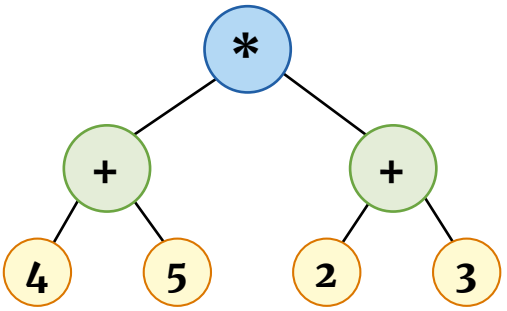
W latach dwudziestych XX wieku Łukasiewicz rozważał taki problem: co w zdaniu logicznym jest pierwotne – znaki czy struktura? Chciał zapisywać zdania logiczne tak, by czytając je znak po znaku, wiedzieć, co się z czym wiąże. Nie myślał wcale o obliczeniach arytmetycznych ani oczywiście o komputerach, bo ich nie było. Ale jego przemyślenia zostały wykorzystane właśnie do analizy „drzewek" struktury działań. Przykłady wyjaśnią to lepiej niż to, co napisałem.

Ile to jest $(4 + 5) * (2 + 3)$? Używam gwiazdki na oznaczenie mnożenia, żeby była bardziej widoczna. Jak to ile? To przecież jest równe 9 razy

eprasa.pl a93bb99ddb

5, czyli 45. Użyliśmy tylko dwóch par nawiasów, ale może da się w ogóle ich uniknąć? Łukasiewicz mówi: spróbujmy uciec od infiksów do prefiksów, czyli przedrostków, a konkretnie: stawiajmy znak działania nie **między** liczbami, a **przed** nimi, a więc nie 2 + 2, tylko + 2 2 . Musimy tylko zadbać, by liczby były oddzielone spacją, bo choć dwie dwójki dają dwadzieścia dwa, to jednak w nieco innym sensie. Zobaczymy, że będziemy mogli zapomnieć o nawiasach. Mamy zatem: * + 4 5 + 2 3.

Sprawdźmy, czy rozumiemy? Mamy najpierw gwiazdkę, znak mnożenia. Będziemy coś mnożyć. Co? Następnym znakiem jest „plus", a więc jakąś sumę. I teraz już jasne: sumę 4 + 5 będziemy mnożyć przez sumę 2 + 3. Ilustruje to drzewko (**rysunek 1**). Widoczny na górze znak mnożenia jest jego korzeniem, a liczby na dole to liście. Tak, nie mylę się. Korzeń na górze, liście na dole. Matematycy rysują drzewa odwrotnie! Wygląda to może dziwnie, ale ma uzasadnienie, które podam nieco dalej. W tej notacji Łukasiewicza idziemy zatem od korzenia do liści. Kierunek „do góry" jest bardziej naturalny niż „w dół", a wykonując te obliczenia, startujemy właśnie od „liści": 4, 5, 3, 2.



Oczywiście im bardziej skomplikowane działanie, tym bardziej rozbudowany diagram. Spróbujmy z wyrażeniem

$$1 + (2 - \frac{3}{4+5} \cdot 6)^7$$

W notacji Łukasiewicza mamy:

$$+\,1\ \hat{}\ -2\ *\ /\ 3\ +\ 4\,5\,6\,7$$

Znowu spróbujmy zrozumieć, że się zgadza. Sherlock Holmes dałby sobie radę od razu. Popatrz, Watsonie, na początku jest plus, znak dodawania. Przypomina mi to sprawę o morderstwo... a zresztą zostawmy to. Mamy do jedynki dodać ^ – 2 * / 3 + 4 5 6 7.

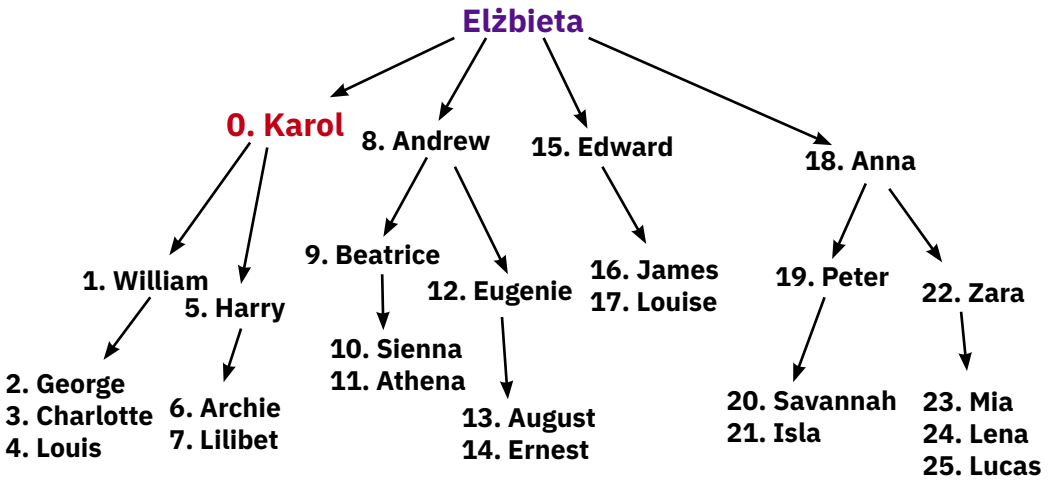
Co to jest? Zaczyna się od znaku potęgowania. Co będziemy potęgować? Zaraz się dowiemy, Watsonie. Na początku mamy znak „minus". Coś będziemy odejmować. Odjemną będzie 2, a co odjemnikiem? Mamy gwiazdkę, a więc iloczyn; inaczej mnożenie. Czego przez co? Następnym znakiem jest ukośnik, a po nim trójka. Będziemy dzielić trójkę przez jakąś sumę. Ale przecież + 4 5 to jest 9. Teraz już z górki. Dzielimy trzy przez 9, mnożymy przez 6 i odejmujemy od 2. Wychodzi zero. To zaś znaczy, że już obliczyliśmy – 2 * / 3 + 4 5 6. Mieliśmy coś potęgować, a konkretnie właśnie liczbę, bo przed nią był „daszek". Do której potęgi mamy podnieść? Oczywiście do siódmej. Wynikiem jest zero. Pozostaje do jedynki dodać „to" zero, co nie jest trudnym działaniem. Wynikiem całego działania jest jeden.

Notacja prefiksowa (przedrostkowa) służy do... sformalizowania zasady dziedziczenia tronu – praktycznie w każdym państwie, gdzie mamy jeszcze królów i królowe. Pomysł „wolnej elekcji" jakoś się nie przyjął w Europie. W Wielkiej Brytanii reguluje to *Succession to the Crown Act* z 2013 roku, chociaż jest to tylko przystosowanie starego prawa (z 1701 r.) do współczesnych realiów. Można to opisać „zasadą pierworództwa". Po zmarłej w 2022 roku Elżbiecie korona przypadła najstarszemu synowi. Jego młodszy brat od zawsze wiedział, że ma szanse tylko wtedy, gdyby Karol nie miał potomstwa, a on go przeżył. Po Karolu nastanie jego starszy syn William, a po nim (jeżeli instytucja monarchii do tej pory przetrwa) jego najstarszy potomek, George. Spójrzmy na diagram poniżej. Nie zastanawiajmy się, czy pretendenci do tronu o dalszych numerach frustrują się. Chodzi mi tylko o bardzo ładną ilustrację porządku prefiksowego.

Nie trzeba nawet tak daleko szukać. Zwykły porządek alfabetyczny jest przecież porządkiem prefiksowym. Wyobraźmy sobie, że w Wielkiej Brytanii nadaje się dzieciom imiona tak, że do imienia ojca albo matki dodaje się kolejne litery alfabetu. Wtedy kolejność sukcesji jest po prostu alfabetyczna. Zobaczmy. Jeżeli królową Elżbietę nazwalibyśmy po prostu E, to jej dzieci Karol, Andrew, Edward i Anna byliby kolejno EA, EB, EC, ED. Dzieci Williama (George, Charlotte i Louis) miałyby oznaczenia EAA, EAB, EAC, EAD, dzieci Harry'ego EBA, EBB, dzieci Andrzeja EBA (=Beatrice) i EBB (= Eugenie) i tak dalej. Ostatni na tej liście, Lucas, byłby EDBC.

***

eprasa.pl a93bb99ddb



2. Kolejność sukcesji tronu Wielkiej Brytanii (stan na wiosnę 2026 r.)

Podobno język polski jest jednym z najtrudniejszych na świecie. Trudno mi w to uwierzyć – przecież nawet małe dzieci z łatwością dają sobie z nim radę! Jesteśmy przyzwyczajeni do pewnego szyku słów w zdaniu: „Poszedłem wczoraj na spacer do pięknego lasu". Brzmi dobrze. Kto, kiedy, gdzie. Natomiast i niemiecki, i łaciński szyk zdania preferuje orzeczenie na końcu: *Gestern bin ich in den schönen Wald spazieren gegangen. Heri ad silvam pulchram ambulatavi*. Gdy po polsku powiemy: „wczoraj na piękny spacer do pięknego lasu poszedłem" – zabrzmi to nieco dziwnie i archaicznie, jak to: „Niech Wasza Królewska Mość na swego wiernego poddanego łaskawie spojrzeć raczy".

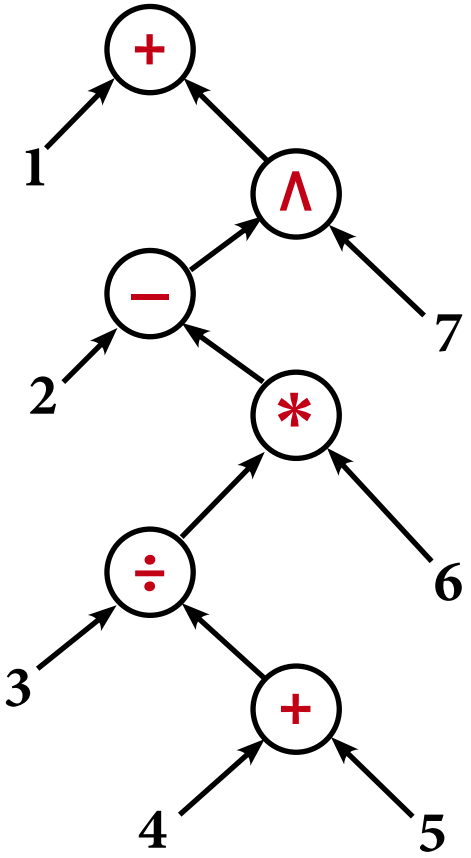


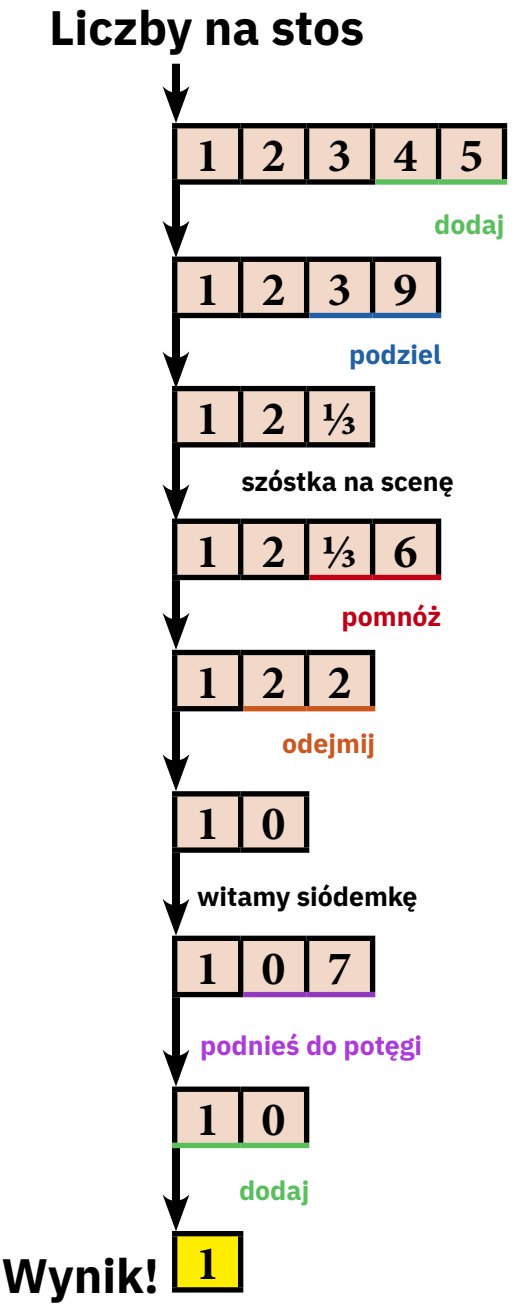
3. Rysunek wykonany z pomocą AI (Gemini)

No i mamy. Bingo! „Hitem" okazała się „odwrotna notacja polska". Tak nazwał ją jej twórca, australijski matematyk Charles Hamblin. Jest to „odwrócenie" beznawiasowej notacji Łukasiewicza na potrzeby zastosowań informatycznych. Hamblin nawet nie uważał się za odkrywcę i twierdził, że tylko lekko zmodyfikował pomysł polskiego logika. Zaproponował nawet nazwę „zciweisakuL notation" – ładne, ale jak to wymówić? Działa ona na zasadzie „stosu" – albo, bardziej przerażająco, jak smok. Rzucamy takiemu liczby, a on je pożera. Mniej straszne porównanie widzimy na **rysunku 3**, gdzie mamy „maszynkę do dodawania". Bierzemy liczby 4 i 5 i wrzucamy je do tej maszynki, a ona je dodaje. Powtórzę: najpierw biorę liczby, a potem dodaję. Można to zapisać symbolicznie: *a b* +.

Porównajmy *a* + *b* znaczy: biorę liczbę *a* i szukam, co by tu do niej dodać. Znajduję *b*. W zapisie Łukasiewicza (w notacji prostej) mam tak: najpierw idzie znak „plus", a zatem będę coś dodawać. Co? Dwie liczby, które zaraz przyjdą. Czyli mniej więcej tak: najpierw przygotowuję maszynkę, a potem wrzucam do niej liczby.

eprasa.pl a93bb99ddb





Odwrotna notacja polska znana jest pod skrótem RPN, *Reverse Polish Notation*. Jest ona udziwniona dla człowieka, ale lepsza dla komputera i często stosowana – na przykład w kalkulatorach Hewlett-Packarda. Działanie, które pokazałem wyżej (z liczbami 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) zapiszemy w niej tak:

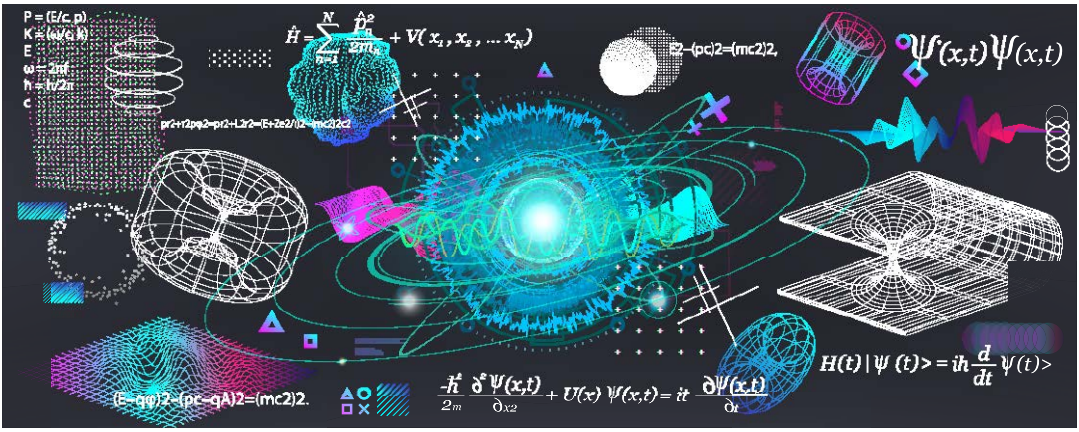
1 2 3 4 5 + / 6 * − 7 ^ +

Nietrudno to zrozumieć, śledząc kolejność działań w diagramie na **rysunku 4**. Ilustruje on zarówno notację prostą Łukasiewicza, jak i odwrotną. W notacji prostej czytamy od góry, w odwrotnej – od dołu do góry. Nawet i z tego punktu widzenia notacja odwrotna wydaje się lepsza: górską wycieczkę zaczynamy przecież od dołu i podchodzimy mozolnie na szczyt. Zupełnie przekona nas do tego **rysunek 5**, gdzie pokazane jest, jak liczby dostarczane są komputerowi (dokładniej: procesorowi) na stos – jakby palacz sypał węgiel do paleniska w parowych lokomotywach.

Matematycy zajmują się na ogół coraz bardziej skomplikowanymi przestrzeniami. Tu mamy przykład, że i w prostej arytmetyce można odkryć coś nowego i pożytecznego. Jest zresztą kilka innych ciekawych przykładów nowatorskiego spojrzenia na proste reguły – takiego spojrzenia, z którego wynika przyspieszenie obliczeń o cenne mikrosekundy. Dotyczy to nawet rozwiązywania najprostszych równań. Ale o tym innym razem. ■

Michał Szurek

eprasa.pl a93bb99ddb



Mechanika kwantowa – za trudna w szkole?

Mechanika kwantowa bywa postrzegana jako bariera nie do przejścia dla uczniów, jednak zrozumienie jej podstaw nie wymaga skomplikowanych obliczeń na liczbach zespolonych. Artykuł w przystępny sposób wyjaśnia fundamentalne różnice między fizyką klasyczną a kwantową, wprowadzając czytelnika w świat dualizmu korpuskularno-falowego, prawdopodobieństwa i zjawisk, których nie da się wytłumaczyć na gruncie tradycyjnej dynamiki. To doskonały punkt wyjścia do zrozumienia, jak cząstki stają się falami, a światło – strumieniem fotonów.

Mechanika klasyczna i mechanika kwantowa

Mechanika klasyczna opisuje zachowanie ciał makroskopowych, przy czym granica pomiędzy ciałem o rozmiarach makroskopowych a mikroskopowych nie zawsze jest oczywista.

Niektóre zjawiska dotyczące atomów czy elektronów można w pełni wyjaśnić w oparciu o jej postulaty, inne – tylko w pewnym przybliżeniu.

Są również takie zjawiska, których w ogóle nie da się wytłumaczyć, myśląc „klasycznie".

W ramach mechaniki klasycznej możemy wyróżnić kinematykę opisującą ruch ciał, dynamikę opisującą związek pomiędzy siłami działającymi na ciała a ich ruchem oraz statykę opisującą warunki równowagi ciał.

Opanowanie tych zagadnień jest kluczowe do późniejszego sprawnego poruszania się w świecie zjawisk, w których mamy do czynienia z oddziaływaniami między obiektami materialnymi i wywołanym przez te oddziaływania ruchem. W wielu sytuacjach możemy ciało makroskopowe sprowadzić do punktu materialnego, w którym jest skupiona cała jego masa.

Dzieje się tak na przykład, jeśli opisujemy ruch prostoliniowy. W tym przypadku nie mają znaczenia rozmiary geometryczne danego ciała, jeśli znamy jego położenie, prędkość oraz wartości i zwroty działających sił.

Nieco inaczej wygląda to, gdy analizujemy ruch obrotowy pod wpływem momentu sił, ale tym zagadnieniem nie będziemy się w tej chwili zajmować.

Mechanika kwantowa z kolei posługuje się pojęciem funkcji falowej obiektu, na przykład cząstki materialnej.

eprasa.pl a93bb99ddb

Sama funkcja falowa jest jedynie matematycznym opisem stanu układu i jako taka nie jest mierzalna.

Ale jeśli podniesiemy ją do kwadratu, to uzyskamy wielkość mierzalną, odzwierciedlającą prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w danej chwili i w danym punkcie przestrzeni.

Warto wspomnieć w tym miejscu, że jest to opis przybliżony, ponieważ zgodnie z aktualną podstawą programową matematyki uczeń nie ma obowiązku posługiwania się liczbami urojonymi oraz zespolonymi, których znajomość jest konieczna do rachunkowego rozwiązywania problemów z zakresu mechaniki kwantowej.

Na potrzeby wyjaśnienia tych zagadnień w szkole zakładamy zatem, że operujemy wyłącznie na liczbach rzeczywistych.

W najistotniejszych szczegółach opis zjawiska pozostaje ten sam nawet przy daleko idących matematycznych uproszczeniach.

Szczególnym przypadkiem funkcji falowej jest orbital elektronu w atomie. Jest on tworem trójwymiarowym i określa przestrzeń, w której z prawdopodobieństwem bardzo wysokim znajdziemy elektron.

Jednak poszukiwany elektron może znaleźć się w dowolnym miejscu orbitalu i nie jesteśmy w stanie podać precyzyjnie jego współrzędnych, tak jak dzieje się to w mechanice klasycznej.

Z niewielkim prawdopodobieństwem elektron może się również znaleźć poza swoim orbitalem, z czego nie wynika dla atomu żaden dramat. W ujęciu klasycznym taki brak dokładnej informacji o położeniu obiektu uniemożliwiłby rozwiązanie wielu zagadnień, ponieważ brakowałoby nam danych.

Odrobina historii

Początki współczesnej mechaniki klasycznej sięgają starożytności. Pierwszym filozofem, który próbował zrozumieć przyczyny poruszania się ciał, był Arystoteles.

Uczony ten błędnie założył, że musi istnieć przyczyna podtrzymująca ruch. Założenie to obalił Galileusz, a Newton sformułował zasady dynamiki, w oparciu o które wyjaśnił ruch ciał makroskopowych oraz zjawisko grawitacji.

Pod koniec XIX wieku napotkano jednak trudności z wytłumaczeniem w oparciu o postulaty Newtona ruchów ciał o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami atomu oraz ciał poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. To doprowadziło na początku XX wieku do sformułowania przez Einsteina szczególnej teorii względności. Równolegle w umysłach kilku uczonych rodziła się koncepcja mechaniki kwantowej.

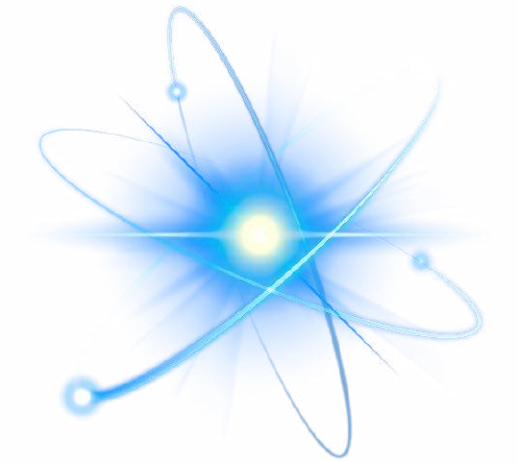
Aby opisywać obiekty i zjawiska zgodnie z jej postulatami, wprowadzono takie pojęcia jak kwant światła, kwantowe orbity w atomie czy fale materii (fale de Broglie'a). W pierwszej połowie XX wieku powstały ścisłe ramy matematyczne służące do opisu zjawisk kwantowych.

Fala jako cząstka

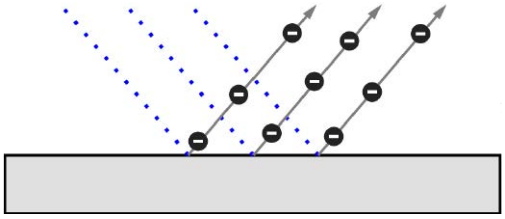
W roku 1900 Max Planck zaproponował, aby wprowadzić pojęcie kwantu (porcji) energii emitowanej przez wzbudzony atom. Kilka lat później Albert Einstein rozszerzył tę koncepcję, wprowadzając pojęcie fotonu, czyli cząstki światła.

Pomysł ten narodził się w trakcie badania zjawiska fotoelektrycznego. Zjawisko to polega na tym, że światło skierowane na płytkę metalu może wybijać elektrony z jego powierzchni. Gdyby światło oddziaływało z metalem tak jak fala, ilość wybijanych elektronów oraz ich energia kinetyczna zależałyby wyłącznie od jego natężenia. Doświadczalnie uzyskano jednak inny efekt. Energia kinetyczna wybijanych elektronów zależała wyłącznie od barwy światła (czyli od długości fali).

W przypadku wybranego metalu efekt zachodził tylko dla fal o niektórych długościach, mniejszych od pewnej długości granicznej. Zazwyczaj były to fale z zakresu światła niebieskiego lub ultrafioletu. Sugerowało to, że energia niesiona przez światło zależy od jego barwy.



eprasa.pl a93bb99ddb



1. Przebieg zjawiska fotoelektrycznego można wytłumaczyć przyjmując, że elektrony są wybijane z metalu przez cząstki światła o energii zależnej od długości fali

Dla światła częstotliwość możemy wyrazić wzorem

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

gdzie *c* jest prędkością światła w próżni, a λ – długością fali.

Ponieważ stwierdzono, że fotony o większych częstotliwościach (a mniejszych długościach fal) niosły większą energię, zaproponowano, aby energię fotonu wyrazić jako $E = h\nu$.

Stałą *h* występującą w tym wyrażeniu nazywamy obecnie stałą Plancka.

Przyjęty model wyjaśniał zderzenia fotonów z elektronami przez analogię do zderzeń dwóch cząstek materialnych.

Foton w trakcie zderzenia przekazywał elektronowi swoją energię i dopiero powyżej pewnej wartości była ona wystarczająca do wyrwania elektronu z metalu.

Pośrednio o cząsteczkowej naturze fotonów świadczą również inne zjawiska: zjawisko anihilacji pary cząstka–antycząstka, w trakcie którego cała ich masa zamienia się w energię kwantu promieniowania.

Istnieje również zjawisko odwrotne (zjawisko kreacji par), w trakcie którego kwant o odpowiednio wysokiej energii może się zamienić w parę cząstka–antycząstka.

Są to zjawiska zupełnie niewytłumaczalne na gruncie mechaniki klasycznej, która nie proponuje żadnego modelu zamiany energii promieniowania w masę obiektu fizycznego.

Cząstka jako fala

W swojej pracy doktorskiej, w roku 1924, Louis de Broglie postawił hipotezę, że każda cząstka materialna może być opisana przy pomocy fali o długości danej wzorem

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

gdzie $p = mv$ jest pędem ciała.

Przy takim założeniu bardzo łatwo można wyjaśnić, dlaczego elektrony poruszają się w atomie wyłącznie po określonych orbitach.

Jeśli elektron jest jednocześnie falą materii, to długość jego orbity powinna być równa długości fali lub jej całkowitej wielokrotności. Na potwierdzenie tej hipotezy nie trzeba było długo czekać, bo już trzy lata później zaobserwowano dyfrakcję elektronów przechodzących przez kryształ.

Ponieważ wiązkę elektronów można przyspieszyć w polu elektrycznym lampy elektronowej, oszacowano wartość napięcia przyspieszającego, które pozwalałoby uzyskać długość fali de Broglie'a rzędu odległości między atomami w krysztale.

Po skierowaniu takiej wiązki na kryształ uzyskano charakterystyczny dla fal obraz interferencyjny, co ostatecznie rozwiało wątpliwości co do dualnej natury materii.

Co ciekawe, uzyskano również obrazy dyfrakcyjne wiązek elektronów na pojedynczej szczelinie (co nie jest jeszcze niczym zaskakującym i obserwowane jest również dla światła) oraz analogiczne obrazy dla elektronów przepuszczanych przez szczelinę pojedynczo.

Szczególnie to drugie doświadczenie dobitnie wskazuje na falowy charakter materii i na to, że funkcja falowa elektronu interferuje sama ze sobą. W efekcie ten sam elektron z pewnym niezerowym prawdopodobieństwem możemy znaleźć w różnych punktach przestrzeni, co z punktu widzenia mechaniki klasycznej byłoby nie tylko niewytłumaczalne, ale również niewyobrażalne.

Sprawdź, co potrafisz

Poniżej podano opisy kilkunastu haseł, które pojawiły się w powyższym tekście. Ustal, jakich pojęć dotyczą te opisy, a następnie znajdź je na wykreślance.

Wskazówka: każde hasło na wykreślance ma przynajmniej jedną wspólną literę z innym hasłem. Hasła zostały zapisane poziomo, pionowo i ukośnie.

1. porcja energii emitowana przez wzbudzony atom
2. dział mechaniki zajmujący się wpływem sił na ruch ciał
3. funkcja falowa opisująca położenie elektronu w atomie
4. zjawisko ugięcia fali obserwowane również w przypadku elektronów

eprasa.pl a93bb99ddb

5. „cząsteczka” światła
6. dział mechaniki zajmujący się równowagą ciał pozostających w spoczynku
7. iloczyn masy i prędkości ciała
8. odkrywca szczególnej teorii względności
9. proces zamiany pary cząstka–antycząstka w promieniowanie elektromagnetyczne
10. jako pierwszy próbował wyjaśnić przyczyny ruchu ciał
11. odkrywca zasad dynamiki w ich współczesnej formie
12. dział mechaniki zajmujący się analizą ruchu ciał

K	W	A	N	T	E	F	D	A	J	B	I	S	A
D	T	O	R	B	I	L	E	H	C	P	A	L	N
I	R	E	D	Y	N	A	M	I	K	A	W	F	I
F	Y	K	P	E	S	W	A	M	I	R	Y	E	H
O	C	S	W	B	T	T	D	E	S	T	K	W	I
T	J	T	O	L	E	F	O	R	B	I	T	A	L
O	O	A	S	W	I	P	J	T	N	A	K	M	A
N	W	T	A	Y	N	I	D	E	E	T	R	O	C
J	F	Y	K	R	E	H	M	S	W	L	F	K	J
A	H	K	P	I	M	A	L	O	B	C	E	D	A
M	B	A	Ę	C	T	H	T	A	Y	H	I	S	M
L	P	F	D	Y	F	R	A	K	C	J	A	F	R
S	O	J	K	T	A	Y	P	C	A	D	M	E	H
C	H	A	D	I	W	A	E	K	L	O	B	J	P

Dla nauczyciela

Elementy mechaniki kwantowej pojawiają się w podstawie programowej przedmiotu fizyka zarówno w zakresie podstawowym, jak i rozszerzonym.

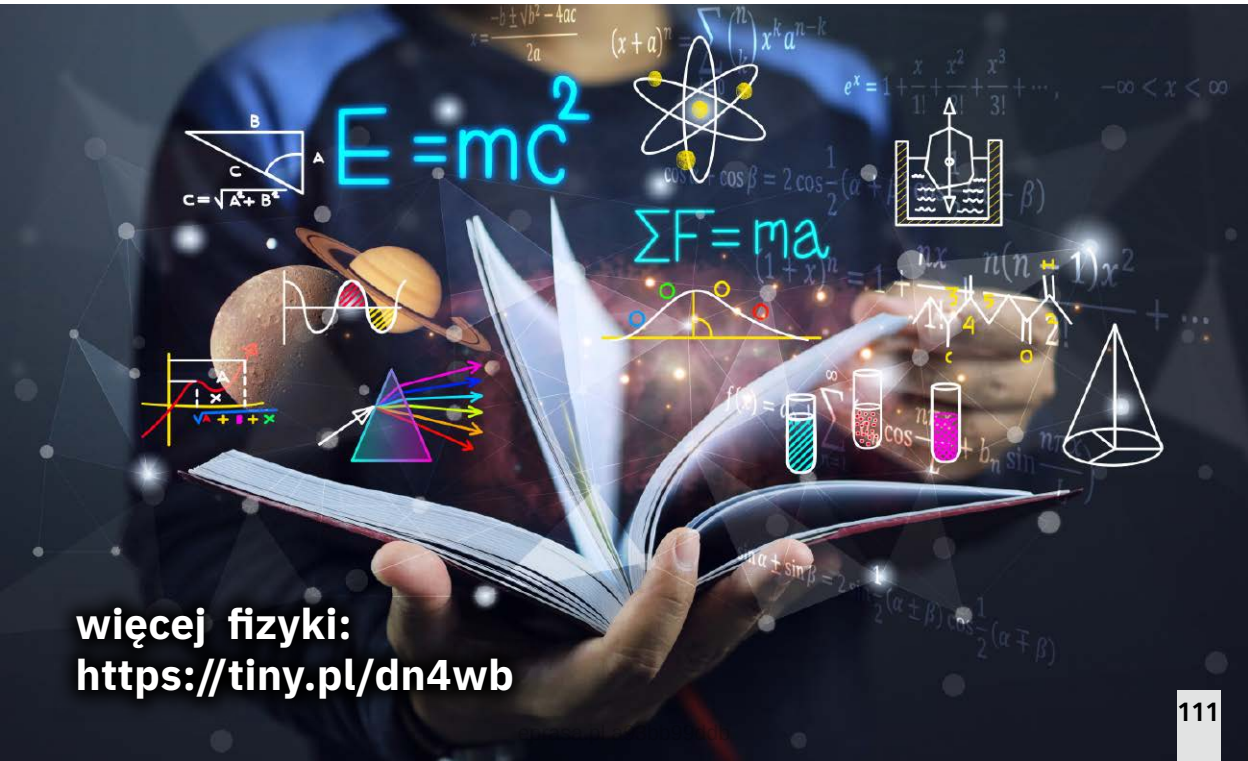
Przede wszystkim znaleźć je możemy w dziale „Fizyka atomowa”. Niemniej dokładne zrozumienie tych zjawisk przydatne jest również do zrozumienia istoty emisji promieniowania gamma przez jądro atomowe, zrozumienia sensu równoważności masy i energii spoczynkowej czy też analizy reakcji, w których następuje kreacja lub anihilacja cząstek materialnych.

W związku z tym warto poświęcić przynajmniej jedną lekcję na gruntowne omówienie podstaw mechaniki kwantowej, bez zagłębiania się w skomplikowany aparat matematyczny i odwołując się jedynie do posiadanej przez uczniów wiedzy dotyczącej ruchu falowego.

Nawet jeśli do tych zagadnień nie ma zbyt dużego wyboru zadań, a szczególnie – zadań rachunkowych, nie będą to zajęcia stracone.

Od tego, na ile uczeń zrozumie samą ideę dualizmu korpuskularno-falowego, zależy również zrozumienie wielu procesów i zjawisk, które mają podłoże kwantowe. ■

Joanna Borgensztajn



Wielobarwny metal, część 2

W drugiej części artykułu o chromie przeprowadzisz doświadczenia, które ponownie dowiodą prawdziwości nadanej mu nazwy (pamiętasz, że chroma to po grecku barwa?). Nie zabraknie również wzmianki o nazewniczych zawiłościach towarzyszących odkryciu kolejnego pierwiastka z rodziny.

Zanim wyjaśnisz zmiany barw połączeń chromu zaobserwowane podczas doświadczeń z ubiegłego miesiąca, jeszcze jeden eksperyment. Sporządź roztwór $Cr_2(SO_4)_3$ jak poprzednio. Nalej porcję roztworu do probówki (pozostaw go jeszcze trochę na później) i po prostu zacznij ogrzewać naczynie w płomieniu palnika. W temperaturze wrzenia ciecz w probówce o pierwotnie morskiej barwie zmieniła kolor na zielony. Co się stało?

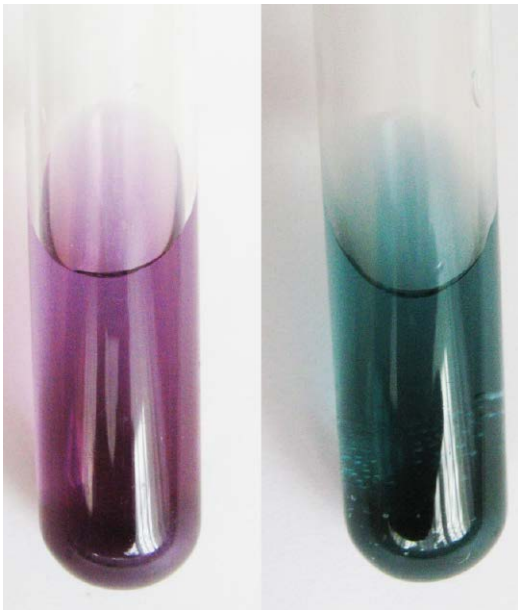
Kompleksy

W eksperymencie zaszła przemiana jednego połączenia kompleksowego chromu w inny. Kationy metali w roztworze wodnym nigdy nie występują samodzielnie, lecz otaczają się cząsteczkami wody, zazwyczaj sześcioma (wzór kationu Cr^{3+} to zatem tylko uproszczony zapis). Jony siarczanowe są bezbarwne, a za morski kolor roztworu powstałego po rozpuszczeniu $Cr_2(SO_4)_3$ odpowiada **akwakompleks** o wzorze $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ (**1**). Podczas ogrzewania następuje wymiana cząsteczek wody w otoczeniu jonu chromu na jony siarczanowe, powstający nowy kompleks absorbuje już inne długości fal świetlnych i w konsekwencji ma odmienną barwę. Przypomnij sobie zmiany koloru zachodzące podczas rozpuszczania osadu $Cr(OH)_3$ w próbach z ubiegłego miesiąca. W przypadku dodania nadmiaru NaOH powstawało zielone zabarwienie, a po użyciu roztworu amoniaku – fiołkowe. I tym razem za kolor roztworu odpowiadały kompleksy, które tworzą się w obecności związków obecnych w roztworze.

Pozostałą porcję roztworu soli chromu podziel na dwie części i do pierwszej z nich dodaj roztwór azotanu(III) sodu $NaNO_2$ (azotynu), a do drugiej



1. Akwakompleks chromu(III) o morskiej barwie



2. Związki kompleksowe chromu(III): z lewej kompleks azotynowy, z prawej – siarczanowy

eprasa.pl a93bb99ddb

– stężonego kwasu solnego. Zawartość pierwszego naczynia zmieniła barwę na różowofioletową, a drugiego na zieloną (w tym przypadku może być konieczne ogrzanie probówki) (**2**).

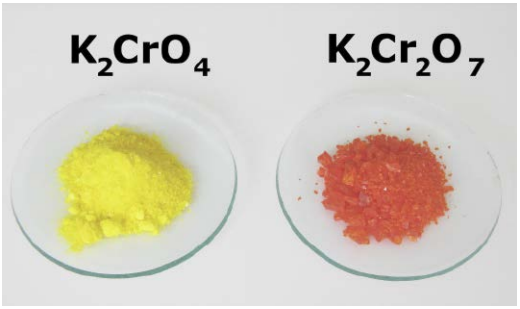
Związki kompleksowe to bardzo ciekawa tematyka, ale na zgłębienie ich teorii przyjdzie czas na studiach chemicznych (jeśli takie podejmiesz). Kationy chromu i innych metali tworzą bardzo liczne połączenia kompleksowe. Zapamiętaj, że w przypadku roztworów wodnych dla uproszczenia zapisu zazwyczaj pomija się przyłączone cząsteczki wody i pisze tylko wzór samego jonu metalu.

Pora na kwasy

Chromowce na najwyższym – szóstym – stopniu utlenienia wykazują właściwości kwasowe. Wzory tworzonych kwasów (istniejących tylko w roztworach lub w postaci soli) są analogiczne jak w przypadku siarki. To jedna z osobliwości układu okresowego: właściwości wielu pierwiastków z grup „jednocyfrowych" zbliżone są do tych, które leżą w grupach mających numer o 10 większy (chromowce grupa 6, tlenowce z siarką – grupa 16).

Związkami do Twoich doświadczeń będą dwa łatwo dostępne odczynniki: chromian(VI) potasu K_2CrO_4 (krócej chromian, tworzy kryształy o żółtej barwie) oraz dichromian(VI) potasu $K_2Cr_2O_7$ (dichromian, pomarańczowe kryształy) (**3**). Oba z nich stosowane są w garbarstwie oraz jako utleniacze. Patrząc na wzory związków, zauważysz ich pokrewieństwo z siarką: chromian ma wzór analogiczny jak siarczan K_2SO_4, a dichromian – jak pirosiarczan $K_2S_2O_7$.

Pamiętaj, że oba chromiany są związkami o właściwościach toksycznych. Nawet kontakt ze skórą garbowaną przy ich pomocy może prowadzić do reakcji uczuleniowej. Dlatego też podczas eksperymentów bezwzględnie przestrzegaj zasad z „dekalogu chemika": nie jesz i nie pijesz podczas pracy, nie wdychasz pyłu związków, chronisz skórę i oczy. Stosowanie się do zaleceń laboratoryjnego BHP oraz rozsądek i rozwaga pozwolą ci bez szkody cieszyć się barwnymi efektami reakcji.



3. Dwa najczęściej używane w laboratorium związki chromu(VI)

Pora na eksperymenty, a przy okazji na wyjaśnienie zmian barw podczas doświadczeń z ubiegłego miesiąca. Sporządź roztwory obu soli (zabarwienie cieczy jest intensywne, wystarczy rozpuścić po kilka kryształów w kilkunastu cm^3 wody) oraz roztwór kwasu siarkowego H_2SO_4 i wodorotlenku sodu NaOH lub potasu KOH (wszystkie o stężeniach wynoszących ok. 10%). Do kolby z żółtym roztworem K_2CrO_4 wlej porcję roztworu kwasu, a do naczynia z pomarańczowym roztworem $K_2Cr_2O_7$ – roztwór wodorotlenku. Jak za dotknięciem magicznej różdżki barwy roztworów zamieniły się miejscami: żółty stał się pomarańczowym, a pomarańczowy – żółtym. Ponieważ czarów nie ma (choć dla wielu osób chemia ma posmak magii, i to czarnej), musiały zajść reakcje powodujące przejście chromianu w dichromian i odwrotnie. Rzeczywiście, pod wpływem kwasu przebiega reakcja:

$$2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$$

Dodatek zasady powoduje zaś przemianę:

$$K_2Cr_2O_7 + 2KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + H_2O$$

Chromiany są więc trwałe w środowisku o odczynie zasadowym, natomiast dichromiany – w kwasowym (nie wylewaj roztworów, wykorzystasz je do następnego eksperymentu) (**4**).

Dichromian to sól **polikwasu**, czyli kwasu, w którym znajduje się więcej niż jeden atom pierwiastka, od którego pochodzi nazwa związku (w tym przypadku chromu). Powstają one przez kondensację cząsteczek zwykłego kwasu z wydzieleniem wody. Do związania „nadmiarowych" atomów tlenu potrzebne są jony wodorowe, zatem kondensacja przebiega z udziałem mocnych kwasów. W ten sposób z chromianów pod wpływem stężonego kwasu siarkowego otrzymuje się tlenek chromu(VI): (**5**)

$$CrO_4^{2-} \rightarrow Cr_2O_7^{2-} \rightarrow Cr_3O_{10}^{2-} \rightarrow \ldots \rightarrow CrO_3$$

eprasa.pl a93bb99ddb



4. Chromiany (z lewej) i dichromiany (z prawej) łatwo przechodzą w siebie nawzajem



5. Tlenek chromu(VI) – końcowy produkt kondensacji kwasów chromowych

Polikwasy są tworzone przez różne pierwiastki (np. siarkę, fosfor, krzem, bor), ale wyjątkowo licznie występują wśród chromowców. Dla przykładu molibden tworzy aniony (większość tych kwasów nie występuje w postaci wolnej, lecz jedynie soli) zawierające do ośmiu atomów metalu, a wolfram nawet do dziesięciu.

Wróć do naczyń z roztworami. Związki chromu(VI) osiągają maksymalną wartościowość dla tego pierwiastka i wykazują własności utleniające. Do doświadczenia potrzebny będzie jeszcze roztwór reduktora, np. siarczanu(IV) sodu Na_2SO_3 (siarczynu). Wlej porcję roztworu do kolby zawierającej pomarańczowy roztwór



6. Podczas redukcji dichromianu wodą utlenioną zaobserwujesz wydzielanie pęcherzyków tlenu w ubocznej reakcji rozkładu nadtlenku wodoru

dichromianu (a także nadmiar kwasu, który został dodany w poprzednim eksperymencie). Zmiana zabarwienia świadczy o szybkim zajściu reakcji (morska barwa roztworu pochodzi od uwodnionych jonów Cr^{3+}). Jako reduktora możesz użyć innego związku, np. $NaNO_2$, etanolu (odbarwiony denaturat) lub też wody utlenionej. Zmiany barwy chromianów potasu wykorzystywano dawniej do badań trzeźwości kierowców – słynne „baloniki", w które dmuchali podejrzani o jazdę na „podwójnym gazie", stawały się zielone w obecności alkoholu w wydychanym powietrzu. W przypadku żółtego roztworu chromianu również zajdzie reakcja redukcji, ale wymaga ona dodania roztworu kwasu (trzeba związać atomy tlenu z cząsteczki chromianu). Zapamiętaj, że utleniające właściwości chromianów ujawniają się w środowisku o odczynie kwasowym. W laboratoriach do dokładnego mycia szkła stosowana jest **chromianka**, czyli stężony roztwór H_2SO_4 z dodatkiem dichromianu potasu.

Teraz możesz już wyjaśnić przebieg reakcji z ubiegłego miesiąca. Roztwór związku chromu(III) w środowisku zasadowym utlenił się pod wpływem nadtlenku wodoru H_2O_2 do żółtego chromianu. Zakwaszenie spowodowało zmianę barwy na pomarańczową, sygnalizującą zajście przemiany chromianu w dichromian. Po dodaniu wody utlenionej dichromian został zredukowany. Może Cię zdziwić dwojakie

eprasa.pl a93bb99ddb

działanie H_2O_2, ale związek ten jest zarówno utleniaczem, jak i reduktorem. Dlatego też nadtlenek wodoru utlenił związek chromu(III), ale sam został utleniony przez dichromian będący utleniaczem silniejszym od niego (**6**).

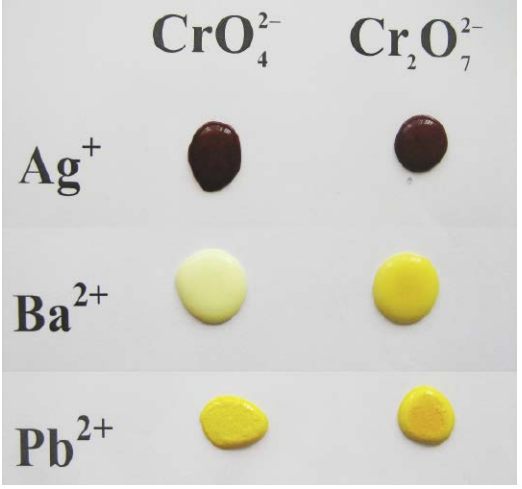
Znowu analityka

Podobnie jak w przypadku kationów, analiza anionów jest również usystematyzowana i opiera się na podobieństwie w reakcjach z jonami srebra i baru. Oba chromiany należą do jednej grupy z m.in. fosforanami i tiosiarczanami – aniony te dają barwne osady ze srebrem oraz białe (chromiany żółte) z barem. Wszystkie osady są rozpuszczalne w roztworze HNO_3 (kwasu mocniejszego niż chromowe, fosforowy, itd.). Ponieważ same aniony chromianowe są zabarwione (to jedna z oznak ich obecności w analizowanej próbce), tworzone przez nie osady również są kolorowe – zwykle żółte, ale niektóre kationy (srebra, rtęci) pogłębiają zabarwienie. Chromiany – jako utleniacze – wykrywa się także w reakcji z reduktorami.

Sporządź roztwory obu chromianów oraz soli srebra (azotan), baru (chlorek lub azotan) i ołowiu (azotan lub octan). Tym razem użyj wody destylowanej, ponieważ w zwykłej kranówce wytrąci się osad chlorku srebra. **Chromiany oraz związki baru i ołowiu są toksyczne, natomiast srebra pozostawiają czarny osad w kontakcie z materiałami organicznymi (np. Twoją skórą i odzieżą). Rękawice ochronne i wykonanie doświadczeń na tacy to warunki, których nie możesz pominąć.** Dzięki próbom kroplowym oszczędzisz odczynniki i zredukujesz zagrożenie dla siebie i otoczenia.

Zmieszaj po kropli roztworów na specjalnej płytce porcelanowej z wgłębieniami, blistrze po tabletkach lub po prostu na folii. W przypadku obu chromianów zabarwienie powstających produktów jest podobne (osady tworzone przez dichromian są o ton ciemniejsze niż w przypadku chromianu): srebro daje brunatnoczerwony osad, a bar i ołów – osady o żółtym kolorze stosowane jako pigmenty (**7**). ■

Krzysztof Orliński



7. Osady chromianów o różnych barwach

Czy to ołów?

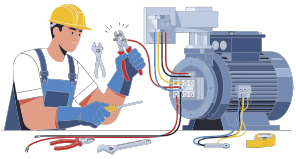
Nazwa **molibden** pochodzi – jak wielu innych pierwiastków – z języka greckiego, w którym *molybdos* znaczy ...ołów. Co ma jednak wspólnego miękki ołów z twardym i topiącym się w temperaturze o 2300 stopni wyższej molibdenem? Cóż, w czasach antycznych, a i wiele wieków później również, minerały oceniano „na oko". Dzisiejszą galenę, rudę ołowiu, Grecy nazwali molibdeną, a zawarty w niej metal również otrzymał taką samą nazwę. Do galeny bardzo podobny jest **molibdenit MoS_2**. Grecy ich nie rozróżniali, zatem i ten minerał stał się molibdeną. Molibdenit ma własności bardzo podobne do grafitu (również mylonego z ołowiem) – jest miękki i łatwo się ściera. Stosowano go jako rysik do pisania (stąd też nazwa ołówek, w którym już od wieków nie stosuje się ołowiu ani molibdenitu), a obecnie wchodzi w skład smarów odpornych na wysoką temperaturę.

Odkrycie molibdenu jest zasługą jednej z gwiazd chemii końca XVIII wieku – skromnego szwedzkiego aptekarza **Karla Wilhelma Scheele** (**8**). W roku 1778 działając kwasem azotowym na molibdenit otrzymał tlenek MoO_3, który nazwał ziemią molibdenową. Nie miał jednak odpowiedniego pieca do przeprowadzenia redukcji tlenku do metalu. Kilka lat później **Peter Hjelm** na uniwersytecie w Sztokholmie ogrzał tlenek z węglem i otrzymał próbkę molibdenu zanieczyszczonego węglikami. Na czysty metal przyszło jeszcze trochę poczekać – w roku 1817 **Jöns Jacob Berzelius**, kolejny sławny szwedzki chemik, zredukował tlenek wodorem (ta metoda stosowana jest do dziś).


8. Carl Wilhelm Scheele (1742–1786), odkrywca kilku pierwiastków, m.in. molibdenu i wolframu, obok próbka molibdenitu (images-of-elements.com)

eprasa.pl a93bb99ddb

Elektrotechnika



W 2004 roku dwóch inżynierów, Martin Eberhard i Marc Tarpenning, założyli firmę, która miała całkowicie zmienić oblicze motoryzacji. Jakiś czas później dołączył do nich Elon Musk, a projekt nazwano Tesla Motors. Ich celem było udowodnienie, że samochody elektryczne mogą być szybsze, lepsze i bardziej ekscytujące niż te z silnikami spalinowymi.

W 2008 roku na drogi wyjechała Tesla Roadster, osiągając przyspieszenie od zera do stu kilometrów na godzinę w mniej niż cztery sekundy. Dzisiaj elektromobilność to nie futurystyczna wizja, ale codzienność miast całego świata. Od samochodów, przez autobusy, po hulajnogi elektryczne, wszystko to wymaga zaawansowanej wiedzy z zakresu przetwarzania, magazynowania i zarządzania energią elektryczną. Specjalistami w tej dziedzinie są inżynierowie elektrotechniki. Zapraszamy na studia.

Elektrotechnika to kierunek, który można realizować na terenie niemalże całej Polski. Większość politechnik i najważniejsze ośrodki naukowe mają ją w swojej ofercie, a co za tym idzie, kandydat na studia ma spore pole manewru, wybierając szkołę dla siebie. Oczywiście najprostszym kryterium wyboru może być odległość uczelni od miejsca zamieszkania, ale bardziej ambitnym osobom przychodzą z pomocą liczne rankingi i porównania. Wśród najlepszych uczelni oferujących elektrotechnikę znajdują się: Politechnika Warszawska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Politechnika Śląska, Politechnika Gdańska oraz Politechnika Wrocławska.

W trakcie podejmowania decyzji warto także uwzględnić możliwości, jakie daje konkretna szkoła, a dokładnie rzecz ujmując – jakie stworzy perspektywy zawodowe. Te, w pewnym stopniu, będą zależały od wyboru specjalizacji, a w zależności od wyboru uczelni, będą się one znacznie różnić. I tak na przykład Politechnika Poznańska oferuje: Elektromobilność i układy elektryczne w pojazdach i przemyśle, Elektronikę, pomiary i technikę świetlną, Systemy i elektroenergetyczną automatykę zabezpieczeniową, Układy izolacyjne, urządzenia i instalacje elektroenergetyczne, Układy przetwarzania energii i systemy sterowania w mechatronice.

By jednak mówić o uzyskaniu dyplomu i dalszej karierze zawodowej, należy szkołę ukończyć, a jeszcze wcześniej się na nią dostać. Elektrotechnika przestała być kierunkiem drugiego wyboru. Poziom trudności będzie oczywiście uzależniony od tego, jak bardzo popularna jest wybrana uczelnia. I tak na przykład na Politechnice Krakowskiej, w rekrutacji na rok akademicki 2025/2026, o jeden indeks starało się aż 3,88 kandydata. Na Politechnice Warszawskiej wskaźnik wyniósł około 4,2 kandydata na miejsce, a na Politechnice Wrocławskiej około 3,5. Warto podkreślić, że elektrotechnika jest jednym z najbardziej obleganych kierunków, a co za tym idzie, należy przyzwyczajać się do myśli, że konkurencja będzie spora.

Pomocne w dostaniu się na wymarzoną uczelnię może być zdanie egzaminu maturalnego na odpowiednio wysokim poziomie. Nie będzie zaskoczeniem, że rozszerzona matematyka, fizyka lub informatyka mogą otworzyć wrota do elektrotechniki. Elektrotechnika to w dużym stopniu matematyka, dlatego wyśrubowany wynik wersji rozszerzonej na maturze jest jak najbardziej wskazany. Tak więc starania o dostanie się na uczelnie należy podjąć już w trakcie nauki w szkole średniej, tak by nie pozostać w tyle za konkurencją.

Inżynierka trwa tutaj trzy i pół roku, a magisterka półtora. Na absolwentów chcących poszerzać swoją wiedzę, widzących się w roli naukowca, otwarte są studia III stopnia.

Po przyjęciu warto oczywiście nawiązać liczne relacje towarzyskie, tak by życie studenckie upływało względnie przyjemnie, ale nie można zapominać o edukacji. Elektrotechnika nie należy do łatwych kierunków i wymaga wytężonej pracy, która nie będzie tolerowała zaniedbań, niedociągnięć i braku systematyczności. A to ten ostatni element jest kluczem do sukcesu, jakim jest ukończenie pięciu lat studiów w czasie regulaminowym, pozbawionym warunków i licznych kampanii wrześniowych. Program nauczania nie rozpieszcza i wymaga skupienia się na realizacji wielu zadań.

Studenci na pierwszym etapie będą musieli zmierzyć się z Królową Nauk, która pojawi się w swej najczystszej formie, aż w 165 godzinach dydaktycznych. Jest to obszerna dawka wiedzy, którą należy przyjmować systematycznie, bo braki odbiją się czkawką w innych obszarach. Krążą historie na temat tego, jak skutecznie eliminuje

eprasa.pl a93bb99ddb

studenta po studencie, pozostawiając na roku tylko najwytrwalszych. W każdej opowieści jest ziarno prawdy, więc nie warto narażać się Królowej. To nie tylko liczby, ale fundament dla rachunku operatorowego, transformaty Laplace'a i Fouriera, bez których nie zrozumiesz stanów nieustalonych w obwodach.

Ponadto 75 godzin fizyki, która na tym kierunku potrafi przyspieszyć proces siwienia. Fizyka skupiona jest na elektromagnetyzmie i fizyce ciała stałego, w tym półprzewodnikach.

Czasami jednak matematyka okazuje się łaskawa i nie sieje spustoszenia, ustępując pola teorii obwodów i urządzeniom elektrycznym. A to okraszone dziewięćdziesięcioma godzinami informatyki. W jej przypadku nie będzie aż tak strasznie, gdyż wykładowcy zwykle zaczynają od podstaw. Standardem w 2026 roku jest C++ wykorzystywane w systemach wbudowanych oraz Python do analizy danych energetycznych. Wśród treści podstawowych znajdą się także: Inżynieria materiałowa, Geometria i grafika inżynierska oraz Metody numeryczne, które wymagają implementacji algorytmów obliczeniowych do rozwiązywania problemów inżynierskich i są trudne dla osób nieprzepadających za programowaniem.

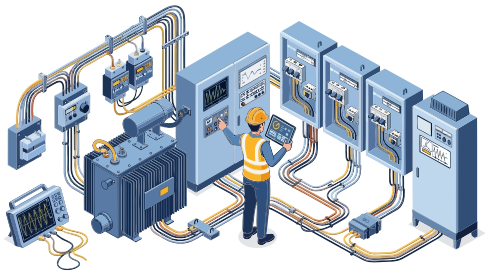
Treści kierunkowe stanowią rdzeń inżynierski, a konkretne przedmioty będą się zmieniać w zależności od wybranej przez studenta specjalizacji. Trudno jednoznacznie powiedzieć, czy studia te są trudne, czy bardzo trudne. Jak zwykle zależy to od wielu zmiennych. Poziom uczelni, zaangażowanie i nastrój wykładowców, predyspozycje i umiejętności studenta oraz to, jak wpływa na nas środowisko akademickie. Na podstawie opinii z grup studenckich i forów technicznych można wyłonić absolutnego „killera", którym jest Teoria pola elektromagnetycznego. Studenci opisują to jako czystą matematykę na sterydach, gdzie operuje się na równaniach Maxwella w formie różniczkowej i całkowej. W tym miejscu nie pozostaje nam nic innego, jak tylko zasugerować skupienie się na systematycznej nauce.

Po ukończeniu studiów absolwenci mogą rozpocząć poszukiwanie pracy, co nie powinno sprawić większych trudności, ponieważ zawód ten oferuje szerokie możliwości zatrudnienia i rozwoju. Uzyskanie tytułu magistra inżyniera na kierunku Elektrotechnika jest tożsame z informacją, że posiadło się szeroki zakres wiedzy, którą da się wykorzystać w wielu branżach. Tym samym możliwości zatrudnienia dla absolwenta są dosyć duże. Inżynierowie elektrotechnicy są poszukiwani w wielu gałęziach przemysłu, takich jak energetyka, przemysł elektromaszynowy, ciężki, motoryzacyjny, chemiczny, spożywczy oraz transport kolejowy, lotniczy i miejski. Pracę można podjąć między innymi w: biurach projektowych, bankach, serwisach, nadzorze produkcji, usługach informatycznych, energetyce, instytucjach naukowo-badawczych, handlu. Wszystkie te branże korzystają z zaawansowanych systemów elektrotechnicznych, co zwiększa popyt na wykwalifikowanych specjalistów. Polska znajduje się w szczycie transformacji energetycznej, a brak kadr jest krytyczny. Energia elektryczna odgrywa kluczową rolę w przemyśle i gospodarce, a rozwój technologii oraz rosnące zapotrzebowanie na zaawansowane urządzenia czynią perspektywy zatrudnienia dla inżynierów elektrotechników coraz bardziej atrakcyjnymi.

Dużą szansą na rozwój w zawodzie jest koncentrowanie się na energetyce, która od dłuższego czasu jest jednym z ważniejszych tematów na całym świecie. Rynek pracy w 2026 roku oferuje konkretne ścieżki kariery generujące wysokie zarobki. Projektant elektroenergetyk może liczyć na zarobki od 10 000 do 18 000 złotych, ale wymaga uprawnień budowlanych zdawanych przed PIIB po roku praktyki. Grid manager, specjalista ds. przyłączeń, to święty Graal rynku, gdzie pensje sięgają od 25 000 do 40 000 złotych w sektorze OZE, ze względu na skomplikowane prawo i ograniczone moce sieciowe. Inżynier serwisu i utrzymania ruchu może liczyć na stabilną pracę w przemyśle z wynagrodzeniem od 8 000 do 13 000 złotych, często z dodatkami za delegacje. Dzięki temu, możliwości zatrudnienia oraz potencjalne dochody są znaczne. Postęp technologiczny i rosnąca liczba zaawansowanych urządzeń elektrycznych i elektronicznych sprawiają, że zapotrzebowanie na inżynierów elektrotechników będzie nadal rosło, zapewniając stabilne i długoterminowe perspektywy zatrudnienia.

Kierunek ten wciąż wybierają głównie mężczyźni, ale powoli rosnąca liczba kobiet inżynierów elektrotechniki, każe sądzić, że trend ten będzie się z czasem zmieniał. Jest to miejsce, w którym można uzyskać kompletną wiedzę i umiejętności, które pozwalają podjąć satysfakcjonującą pracę. Osiągnięcie tego celu jest w zasięgu każdego studenta, wymaga jednak dużego skupienia na nauce. Nie każdemu będzie dane ukończyć ten kierunek, ale każdy, kto podejmie wyzwanie i da z siebie sto procent, jest w stanie osiągnąć sukces. Zapraszamy na elektrotechnikę. ■

Michał Pacholski



eprasa.pl a93bb99ddb

Szkoła Wynalazców

dozwolone do lat 15

Hasło zawarte w tytule piosenki Wojciecha Młynarskiego „W co się bawić" staje się dotkliwą rzeczywistością. Widać to szczególnie w programach „rozrywkowych" TV; coraz głupsze występy niby kabaretowe, wkoło „walcowanie" problematyki II wojny światowej i oczywiście „kryminały", a także szpitale i policja w odmianach.

W dziedzinie sportów zimowych ostatnim „hitem" okazał się snowboard, który przyjął się szeroko i nawet trafił do programu olimpijskiego. I od tego czasu w zasadzie cisza... Zdajemy sobie sprawę z tego, że temat jest trudny, bo naprawdę wydaje się, że wszystko już jest!

A mieliście zadanie, które konkretnie sprecyzowano następująco: Zaproponować nowy rodzaj zabawy/sportu zimowego i oczywiście odpowiedni sprzęt do jego uprawiania. Nowa zimowa dyscyplina lub zabawa na śniegu powinna zapewniać możliwość rywalizacji indywidualnej lub zespołowej, powinna być dynamiczna, sprzęt powinien być prosty i tani.

Kilka lub kilkanaście lat temu pojawił się ciekawy sprzęt: tzw. „super kuper". Były to krótkie spodenki, wyposażone w ślizg plastikowy na całą pupę, umożliwiające zjazd z górki na pupie właśnie, bez dodatkowego sprzętu. Ten sprzęt jednak jakoś się nie przyjął i producent po sprzedaniu kilkuset egzemplarzy zawiesił produkcję. Może zawiniła słaba reklama, kto wie... Rynek bywa bardzo kapryśny. Przyjrzyjmy się pomysłom kolegów.

Zbigniew Góralski – proponuje sprzęt w postaci roweru lub hulajnogi, które zamiast kół miałyby płozy, a kierownica byłaby zaopatrzona w płozę z dość ostrą krawędzią, umożliwiającą sprawne skręcanie podczas zjazdu. Z pomocą takiego sprzętu można by organizować zawody niemal takie jak narciarskie: zjazd, slalom, slalom równoległy itp.

Pomysł chyba niezły. Czy się przyjmie – trudno przewidywać, ale jest prosty, łatwy do zrealizowania i zapewnia rywalizację w różnych odmianach.

Krzysztof Chaba – uważa, że należy skończyć z fikcją skoków narciarskich na odległości rzędu 200 m. Należy wyposażyć skoczka w małą lotnię, sterowaną jak prawdziwa lotnia z pomocą linek, i wtedy nie byłyby to skoki, tylko normalne loty z rozbiegu. Lotnia do lotów narciarskich nie mogłaby być zbyt duża, bo skoczek mógłby odlecieć daleko poza miejsce imprezy!

Interesująca propozycja i chyba już były próby połączenia skoków z lotem z pomocą lotni. Istotna jest uwaga dotycząca wielkości lotni: rzeczywiście zbyt wielka mogłaby zachęcić skoczka – lotniarza do odlotu „w siną dal" – naprawdę daleko od skoczni.

Obu kolegom gratuluję. Wydaje się, że poza nartami, sankami, łyżwami i snowboardem nie da się już wymyślić niczego równie atrakcyjnego. Pozostaje jedynie dążyć do mistrzostwa w opanowywaniu dyscyplin tych, które są i są sprawdzone.

Nowe zadanie

Jest maj... Niektórzy myślą o maturze, ale większość młodych techników myśli o lecie. Niedawno rozważaliśmy możliwość wymyślenia jakiegoś nowego sportu zimowego i sprzętu do jego uprawiania, no więc nadszedł czas, żeby wymyślić jakąś nową formę aktywności fizycznej na letnie miesiące. Rzucanie różnymi obiektami, gry zespołowe z piłką, „jajkiem" (rugby) są już mocno obsadzone. Ćwiczenia na różnych sprzętach – też. Co więc można nowego wymyślić? Nie jest to łatwe zadanie, ale spróbujcie. Macie wszystko to, co jest potrzebne: czas, fantazję i odwagę podejmowania rzeczy niemożliwych.

Wasz temat można sformułować następująco: Zaproponować nowy rodzaj gry indywidualnej lub zespołowej, nadającej się do uprawiania w warunkach letnich i posługującej się tanim, nieskomplikowanym sprzętem. Wydaje się, że kopalnią niezłych pomysłów może być sprzęt używany do polowania przez ludy pierwotne.

eprasa.pl a93bb99ddb

np. bumerang – umożliwiałby przeprowadzanie różnych konkurencji, jak: rzut do celu, rzut do celu z wykorzystaniem powrotu bumerangu do miejsca wyrzutu. Premiowałoby się dokładność powrotu na miejsce itp. Oczywiście oprócz bumerangu są jeszcze inne sprzęty znane z historii różnych ludów, np. proca Dawida. Wszystko to nadaje się do przetworzenia w nowoczesny sprzęt i zastosowania w zawodach i grach zręcznościowych. No więc – do dzieła. Pomyślcie śmiało i spróbujcie zmierzyć się z życiem naszych przodków. Przypominamy o terminie nadsyłania propozycji: do końca czerwca br.

Klub Wynalazców

bez ograniczeń wieku

Zadaniem Waszym było: Zaproponować schemat ideowy urządzenia ułatwiającego starszej osobie powstanie z krzesła lub fotela.

Zadanie łączy w sobie kilka spraw: mechanikę, fizjologię i kinematykę ruchu. Na wstępie trzeba sobie dokładnie wyobrazić, na czym polega trudność wstania z krzesła lub – gorzej – z niskiego fotela, w wykonaniu starszego pana lub pani.

Podstawową sprawą jest zasada mówiąca o tym, że linia pionowa przechodząca przez środek ciężkości ciała musi przechodzić przez środek powierzchni oparcia stóp o podłogę. Inaczej nie ma mowy o ruszeniu się z miejsca. Nie wszystkie meble umożliwiają cofnięcie stóp do tyłu tak, aby wymieniony warunek można było spełnić. Wtedy starsi ludzie pochylają się z zamachem do przodu, przenosząc środek ciężkości w przód, tak aby warunek był spełniony. Następnym krokiem jest wyprostowanie nóg, co niekiedy może być trudne dla osoby nierealizującej jakiejkolwiek formy gimnastyki.

Właściwie każde krzesło spełnia warunek cofnięcia stóp do tyłu, gorzej jest z fotelami. Siedzisko foteli jest niskie i istotnie utrudnia cofnięcie stóp. Kąt pomiędzy podudziami i udami jest mniejszy niż 90°, co swoją drogą utrudnia wstanie z miejsca. Jeżeli nie chcemy wyeliminować foteli z mieszkania, to pozostaje ulepszyć konstrukcję krzesła. I tu można powiedzieć, że rozwiązaniem jest mechanizm zmiany wysokości siedziska fotela komputerowego. Z jednym jednak wyjątkiem: mechanizmy te nie umożliwiają podniesienia do góry osoby siedzącej cały czas na fotelu. Żeby zmienić wysokość siedziska, trzeba wstać na chwilę, nacisnąć dźwignię powodującą wysuwanie się pneumatycznego podnośnika do góry, po czym usiąść. Typowy mechanizm nie daje szansy na podniesienie ciężaru ciała. Pozostaje więc przekonstruowanie podnośnika tak, żeby mógł podnieść osobę siedzącą cały czas na fotelu. To zadanie nie jest proste, ale wykonalne. Można jeszcze zrobić parę rzeczy, ale oddajmy głos naszym czytelnikom.

Ryszard Bogucki – po pierwsze, krzesło dla starszej osoby nie może być zbyt niskie. Kąt między udem a podudziem powinien być zbliżony do kąta prostego. Następnie krzesło takie można z lekka przerobić w taki sposób, żeby siedzisko mogło pochylać się przodem w dół, pozostając na właściwej wysokości. Obok krzesła powinien stać masywny mebel, np. stół, o który starsza osoba może się oprzeć. Najważniejsze jest świadome wykorzystywanie prostych praw fizyki.

Owszem, jest to program minimum, jednakże łatwy do wykonania w każdym domu. Niezależnie od pomocy osobom w wieku senioralnym należy pamiętać o ich aktywizacji ruchowej. Jeszcze nikomu nie udało się uzyskać dobrej sprawności nóg przez korzystanie np. z fotela na kółkach...

Miłosz Warecki – uważa, że zasadniczym problemem jest dostosowanie wysokości siedziska w krześle. Poza tym proponuje lekką drabinkę, krótką, taką na 2...3 szczeble, którą można uchwycić oburącz i z jej pomocą podnieść się z krzesła. Oprócz drabinki pacjent powinien mieć możliwość oparcia się o stół, kanapę itp. masywny mebel.

To również program minimum. W DPS-ach w Anglii stosuje się wózki przejezdne z podnośnikami,

eprasa.pl a93bb99ddb

np. do transportu pensjonariusza do wanny. Czy to jest dobry kierunek? Chyba jednak, poza naprawdę poważnymi uszkodzeniami narządów ruchu, nie sprzyja to podtrzymaniu samodzielności pensjonariusza.

Jak widać, problem ludzi starych to poważna sprawa. A faktem jest, że nasze społeczeństwo się starzeje... No cóż, na razie dziękujemy kolegom za te proste metody i zapraszamy do dalszych zmagań z techniką.

Nowe zadanie

Współczesna technika stawia niekiedy zadania w istocie sięgające czasów starożytnych, kiedy to wznoszono niewiarygodnie olbrzymie i ciężkie budowle, ale okazuje się, że trzeba podobne wykonać dzisiaj i to szybko, bo „czas to pieniądz". Dziś otrzymujecie jedno z takich zadań. Ma ono kilka możliwych rozwiązań i jest jednym ze znanych zadań szkoleniowych na kursach TRIZ. Spróbujcie i wy je rozwiązać: Trzeba dostarczyć rurę o długości 30 m z zakładu na miejsce budowy. Niestety jedyna możliwa trasa prowadzi przez stare miasto, gdzie uliczki są wąskie, a zakręty ostre. Jak to sprawnie zrobić? Znane są problemy dostarczania elementów samolotu – skrzydeł – Airbusa z Wielkiej Brytanii do Tuluzy. Długość jednego skrzydła to ok. 27 m i oczywiście musiało być przewożone w całości. Operację transportową pokazywała większość telewizji. Rura to nie skrzydło. Ale też musi być dowieziona na miejsce. Przyjmijmy, że miała średnicę ok. 50 cm. Spróbujcie skorzystać z metod TRIZ i własnej fantazji. Wszystkim życzymy dobrych pomysłów i przypominamy o terminie: do końca czerwca br.

Vademecum Młodego Wynalazcy

Wielokrotnie czytelnicy zwracali uwagę na to, że pisząc wiele o algorytmizacji procesu rozwiązywania „nierozwiązywalnych" problemów, w zasadzie nie pokazałem pełnego protokołu dochodzenia do rozwiązania. Zrobiłem to świadomie; nawet stosunkowo krótki algorytm ARIZ-64 jest w zapisie szczegółowym dość długi – zająłby kilka stron „Młodego Technika" – co zresztą zależy też od stopnia złożoności problemu. Tym razem postanowiłem pokazać w uproszczeniu drogę prowadzącą do rozwiązania zagadki kryminalnej dotyczącej zdarzenia na „Dzikim Zachodzie". Oczywiście mowa będzie o kowbojach i ich sławnych coltach (**fotografia 1**).

Rzecz dzieje się w małym miasteczku. Na peryferiach miasteczka znaleziono ciało kowboja – Johna. Sprawą zajął się szeryf. Ustalił, że dwa dni temu niejaki Bill mocno pokłócił się z Johnem przy pokerze. Po tej kłótni nikt nie widział Johna żywego. Szeryf od razu zaczął podejrzewać Billa. Na to Bill, broniąc się, odpowiedział: Szeryfie – ja z mojego colta nie strzelałem prawie od pół roku. Proszę popatrzeć, jest czyściutki! No tak, ale od waszej kłótni i śmierci Johna minęły już 2 dni. Miałeś wystarczająco dużo czasu, żeby swojego colta wyczyścić „do białości!" Innych argumentów nie było. Jak w tamtych warunkach udowodnić, że z rewolweru Billa istotnie nie oddano strzału przez dość długi okres czasu?



1

1. Sformułowanie problemu i wdrożenie ARIZ-64

Szeryf chce ustalić prawdę:

- jeśli Bill strzelał tydzień temu, to powinny istnieć jakieś ślady,
- ale rewolwer jest idealnie czysty, więc zwykła obserwacja nic nie daje.

Powstaje sprzeczność techniczna:

- chcemy wykryć ślady strzału,
- ale podejrzany mógł broń wyczyścić i śladów nie ma!

TRIZ mówi: szukaj śladów tam, gdzie podejrzany ich nie usuwa.

2. Idealny wynik końcowy (IWK)

W idealnym rozwiązaniu:

Informacja o tym, czy Bill strzelał, istnieje w systemie samodzielnie i nie wymaga przyznania się ani świadków.

Czyli: dowód musi pozostawać gdzieś poza oczyszczoną powierzchnią broni.

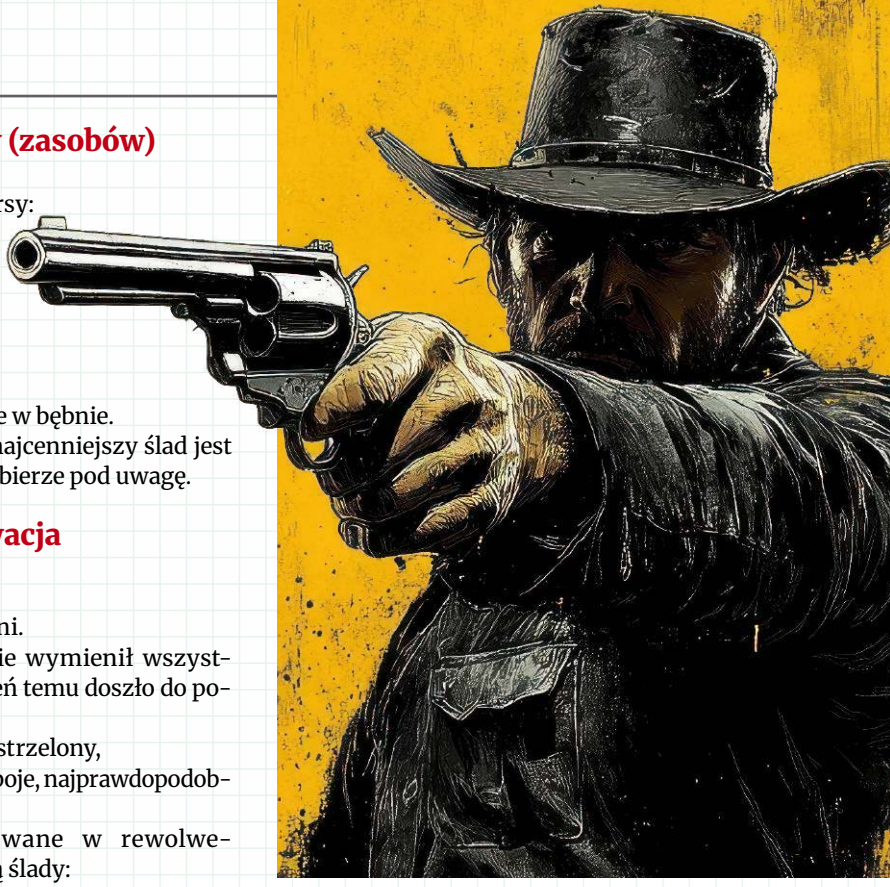
eprasa.pl a93bb99ddb

3. Analiza resursów (zasobów) systemu

Mamy następujące resursy:

- rewolwer,
- naboje,
- bęben rewolweru,
- ślady prochu,
- czas (tydzień),
- ubranie/ręce strzelca,
- niewystrzelone naboje w bębnie.

TRIZ często wskazuje: najcenniejszy ślad jest w miejscu, którego się nie bierze pod uwagę.



4. Kluczowa obserwacja

Bill wyczyścił:

- lufę,
- zewnętrzną część broni.

Ale prawdopodobnie nie wymienił wszystkich nabojów. Jeżeli tydzień temu doszło do pojedynku, to przynajmniej:

- jeden nabój został wystrzelony,
- w bębnie pozostały naboje, najprawdopodobniej z tej samej partii.

A naboje przechowywane w rewolwerze po strzale często noszą ślady:

- sadzy,
- gazów prochowych,
- nagrzania.

5. Rozwiązanie (TRIZ)

Szeryf powinien:

wyjąć naboje z bębna i sprawdzić je.

Jeśli Bill rzeczywiście strzelał z tej broni tydzień temu, to na pozostałych nabojach będą ślady:

- osadu prochowego,
- przypalenia od gazów w komorze bębna.

Takich śladów nie da się usunąć samym czyszczeniem lufy.

Wniosek:

Szeryf powinien zbadać naboje znajdujące się w bębnie rewolweru. Jeśli noszą ślady gazów prochowych, oznacza to, że z tej broni niedawno strzelano.

6. Dlaczego to jest rozwiązanie wg ARIZ-64

W języku TRIZ zastosowano tu zasadę:

Zasada 13 – Odwrócenie uwagi z głównego elementu systemu. Nie badać wyczyszczonej lufy, lecz elementy pomocnicze, które przechowały informację o zdarzeniu. Nie wzięliśmy pod uwagę wszystkich resursów: pola magnetycznego Ziemi. Należy to uwzględnić. W zadaniach TRIZ często zapomina się o jednym z ważnych resursów środowiska: o polach fizycznych, w tym o polu magnetycznym Ziemi. Jeśli potraktujemy zagadkę bardziej rygorystycznie w duchu ARIZ, to rzeczywiście można wykorzystać właśnie ten zasób. Spróbujby przeprowadzić rozumowanie jeszcze raz.

1. Sprzeczność

Szeryf chce wiedzieć, czy Bill strzelał dwa dni temu.

- Lufa jest idealnie wyczyszczona.
- Zatem chemiczne ślady prochu zostały usunięte.

Sprzeczność:

broń jest czysta, ale strzał mógł jednak nastąpić.

TRIZ mówi: trzeba znaleźć ślad, którego nie da się łatwo usunąć zwykłym czyszczeniem.

2. Analiza zasobów systemu

W systemie mamy:

- stalową lufę rewolweru,
- gwałtowne ciśnienie i temperaturę podczas strzału,

eprasa.pl a93bb99ddb

- ruch pocisku,
- tarcie metalu o metal,
- pole magnetyczne Ziemi
- i wszystkie wymienione poprzednio.

Pole magnetyczne zwykle się pomija, a w TRIZ jest traktowane jako darmowy zasób środowiska.

3. Co się dzieje w momencie strzału z punktu widzenia fizyki?

Podczas wystrzału:

- pocisk z ołowiu lub z płaszczem stalowym przesuwa się bardzo szybko,
- w lufie powstaje silne tarcie i naprężenia,
- stal lufy może ulec demagnetyzacji.

W obecności pola magnetycznego Ziemi, w rewolwerze pozostającym w spoczynku, następuje uporządkowanie domen magnetycznych. Dotyczy to zwłaszcza lufy. To zjawisko jest znane w fizyce materiałów.

4. Rozwiązanie problemu

Szeryf powinien:

sprawdzić magnetyzm lufy rewolweru. Można to zrobić bardzo prosto: zawiesić małą igłę magnetyczną (jak kompas), zbliżyć do niej lufę. Jeśli lufa jest wyraźnie namagnesowana, oznacza to, że istotnie od dłuższego czasu z rewolweru nie strzelano.

5. Dlaczego to jest rozwiązanie w duchu TRIZ

Zastosowano tu dwie klasyczne idee TRIZ:

1. Wykorzystanie zasobów środowiska – pole magnetyczne Ziemi.
2. Szukanie „ukrytego śladu procesu" – nie chemicznego, lecz magnetycznego.

6. Idealny wynik (IWK)

- Sama broń przechowuje informację o strzale.
- Informację zapisuje struktura magnetyczna stali.

To zadanie jest w rzeczywistości bardzo elegancką łamigłówką TRIZ, bo pokazuje jedną z ulubionych zasad Altszullera: najlepsze rozwiązania wykorzystują zasoby, które już istnieją w systemie – nawet tak oczywiste jak pole magnetyczne Ziemi.

Spójrzmy na to kompleksowo.

Podczas wystrzału w lufie zachodzą jednocześnie:

- bardzo silny impuls mechaniczny (ciśnienie gazów),
- gwałtowne drgania,
- szybkie nagrzanie i ochłodzenie stali.

Lufa znajduje się cały czas w polu magnetycznym Ziemi. Takie nagłe wstrząsy, skokowy wzrost naprężeń towarzyszące wystrzałowi i temperatura powodują przemieszczanie domen magnetycznych. W rezultacie następuje rozmagnesowanie materiału – podobnie jak przy uderzeniu młotkiem w magnes.

To zjawisko jest znane w fizyce: silne wstrząsy w polu magnetycznym prowadzą do demagnetyzacji ferromagnetyków.

Z punktu widzenia TRIZ mamy więc bardzo dobry „nośnik informacji": stan magnetyczny lufy.

Czyszczenie broni usuwa:

- sadzę,
- nagar,
- ślady chemiczne,

ale nie przywraca poprzedniego uporządkowania domen magnetycznych.

Dlatego rada dla szeryfa jest prosta: powinien sprawdzić, czy lufa zachowała naturalne namagnesowanie powstałe podczas długiego przebywania w polu magnetycznym Ziemi. Można to zrobić prostym sposobem:

- zawiesić cienką igłę magnetyczną (jak w kompasie),
- zbliżyć do niej lufę i obserwować reakcję igły magnetycznej.

Można też użyć drobnych opiłków żelaznych: jeśli lufa je przyciąga, to znaczy, że nie była poddana naprężeniom i wstrząsom jak podczas wystrzału.

Gdyby Bill rzeczywiście od pół roku nie strzelał, stal lufy zdążyłaby ponownie ustawić domeny w polu magnetycznym Ziemi i wykazywałaby wyraźne namagnesowanie kierunkowe.

W języku TRIZ rozwiązanie polega na wykorzystaniu:

- zasobu środowiska – pola magnetycznego Ziemi,
- ukrytego śladu procesu – zmiany struktury magnetycznej materiału.

Czyli dowód nie tkwi w sadzy ani w prochu, lecz w fizyce stali lufy. Przedstawiony tok rozumowania to jest „prawie ARIZ-64". Niebawem pokażemy inne metody, wykorzystujące tzw. „matrycę sprzeczności i metody ich usuwania". ■

Prezes Klubu Wynalazców
Champion TRIZ
Jan Boratyński

eprasa.pl a93bb99ddb

Genialne w swej prostocie: **6 innowacyjnych pomysłów Czytelników, które mogą zmienić naszą codzienność**

Prezentujemy najciekawsze propozycje nadesłane do naszej redakcji w ostatnim miesiącu. Od ekologii, przez ogrodnictwo, aż po wsparcie dla seniorów – oto dowód na to, że kreatywność nie zna granic.

Bogdan Wesołowski – dziadek Bogdana zmaga się z chorobą Parkinsona. Powinien ćwiczyć, w tym wykonywać ćwiczenia usprawniające równowagę, do czego potrzebny jest specjalny sprzęt. Taki sprzęt – zdaniem Bogdana – już większość osób ma w domu. Wystarczy stary wałek do ciasta i deska do krojenia wędlin. Ta deska może być za mała, więc jakaś inna, nieco dłuższa, też może być. Wałek należy przykręcić do deski dwoma wkrętami do drewna i przyrząd gotowy. Ćwiczyć należy, stając obunóż na desce i następnie usiłować utrzymać równowagę.

Prosta rzecz, a na pewno osobom z Parkinsonem potrzebna. Dobry pomysł. Dziadek powinien ćwiczyć w pobliżu stołu, framugi drzwi itp., żeby móc asekurować się przy utracie równowagi.

Ania Motyka – Koniecznością chwili – zwłaszcza na wiosnę – jest opracowanie jakiegoś narzędzia lub nawet urządzenia do oczyszczania kostki brukowej z wyrastających spomiędzy kamieni źdźbeł trawy. Ania uważa, że metody chemiczne są szkodliwe dla środowiska i nie powinno się ich stosować.

Zasadniczo tzw. „święta racja". Problem jest z pracochłonnością takiej roboty. Można więc założyć, że urządzenie raczej musi być mechaniczne, być może to rodzaj szczotki ze stalowymi „włosami", która dałaby radę upartej trawie.

Zygmunt Marek – jak zwykle jest wykorzystywany do podlewania kwiatków rosnących w donicach balkonowych. Nie jest to jakaś ciężka praca, ale wymaga systematyczności i odrobiny staranności. Zygmunt uważa, że nadszedł już najwyższy czas, żeby opracować jakieś poidełko dla kwiatków, działające bez użycia energii elektrycznej, samoczynnie, co najwyżej po jakimś jednym ruchu.

Nasuwa się natychmiast wykorzystanie systemu Drip Tape System, czyli nawadniania kropelkowego za pomocą taśmy spłaszczonej, która posiada otworki i pęcznieje dopiero po podłączeniu źródła wody. Obsługa urządzenia polega na zapewnieniu dostawy wody – można to zrobić za pomocą zbiornika i zaworu do spłuczki WC.

Andrzej Żuławiński – ma zalecenie od lekarza: używać skarpetek „bezuciskowych". Takie skarpetki są w handlu, ale niemal wszystkie mają jedną, istotną wadę. Skarpetka bezuciskowa jest wyższa, a ponieważ jest bezuciskowa – po paru minutach chodzenia zjeżdża w dół, tworząc nieeleganckie „obwarzanki". Andrzej proponuje zmianę konstrukcji skarpety. Powinna ona mieć w części powyżej tzw. „stopki" odpowiednie, usztywniające pręciki lub odpowiedni splot, usztywniający skarpetkę w pionie. Bezuciskowość skarpety polega na niewywieraniu nacisku obwodowego na nogę, co sprzyja tworzeniu się żylaków. Gdyby zastosować nawet pręciki z elastycznego tworzywa, wtedy sztywność obwodowa pozostałaby taka, jaka jest, ale wzrosłaby znacznie sztywność, wzdłużna. I wtedy koniec z obwarzankami!

Bardzo ciekawa koncepcja i łatwa do wykonania. Rzeczywiście: wystające spod nogawki eleganckich spodni pomarszczone obwarzanki są nieestetyczne. Pomysł wart wdrożenia w trybie natychmiastowym!

Krzysztof Dudzik – kilka razy czyścił syfon pod zlewozmywakiem. Obrzydliwe zajęcie; śmierdzące i syfon bardzo niechętnie się odkręca. Krzysztof proponuje syfon z wbudowanym wirnikiem, napędzanym z zewnątrz „motylkiem" wystającym na zewnątrz pod syfonem. Raz na jakiś czas wystarczyłoby pokręcić tym „motylkiem", żeby wirnik zgarnął, a w ogóle ruszył tłuste złogi zatykające syfon. Reszty dokonałaby już ciepła woda.

Pomysł niezły, kłopot w tym, że ośka tego wirnika musiałaby być bardzo szczelna, żeby z syfonu nic nie kapało. Oczywiście poza tym mamy metody chemiczne, np. „Kret,"ale są to substancje żrące, niebezpieczne i jednak nie do końca skuteczne.

Stanisław Graczyk – był kiedyś świadkiem, jak starszy pan wywrócił się na nawierzchni pokrytej „liszajami" lodu, bo jego laska pośliznęła się, nie zapewniając oparcia. Stanisław uważa, że laski z gumową końcówką są w ogóle do niczego. O ile gumowa końcówka może być przydatna na gładkich nawierzchniach, o tyle na lodzie jest w ogóle nieskuteczna. Stanisław proponuje laskę z dwoma końcówkami wymienianymi w łatwy sposób, w tym jedna miałaby postać stożka wykonanego z „widii" – spieku twardego, który oparłby się betonowej i zlodowaciałej powierzchni.

To prawda – bezmyślność konstruktorów lasek jest aż przykra, prawdopodobnie nikt z nich nie chodził z laską w zimie po zlodowaciałej nawierzchni. Stożek ze spiekanych węglików metali (widia) mógłby poprawić sytuację. ■

eprasa.pl a93bb99ddb



Robotyka

Starożytność i średniowiecze

Marzenie o stworzeniu sztucznego człowieka lub zwierzęcia towarzyszy ludzkości od zarania cywilizacji. Już w mitologii greckiej pojawia się Talos – brązowy olbrzym strzeżony przez Krety, który miał krążyć wokół wyspy i bronić jej brzegów przed najeźdźcami. Kowal bogów Hefajstos miał podobno tworzyć złote służki zdolne do mowy i myślenia. W starożytnych Chinach i Grecji powstały pierwsze znane automaty mechaniczne – urządzenia naśladujące zachowania żywych istot za pomocą układów dźwigni, lin i siły wody lub powietrza.

ok. 350 r. p.n.e.

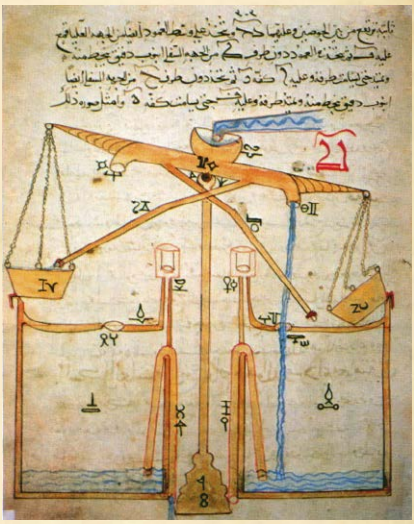
Archytas z Tarentu – matematyk, mechanik i przyjaciel Platona – miał zbudować mechanicznego gołębia (**1**) zdolnego do lotu na odległość ok. 200 metrów, napędzanego sprężonym powietrzem lub parą wodną. Choć żadne fizyczne ślady tego urządzenia nie zachowały się do dziś, antyczne źródła opisują je dostatecznie szczegółowo, by uznać je za jeden z pierwszych udokumentowanych automatów.



1. Mechaniczny gołąb Archytasa z Tarentu (źródło: archiwum Greek Reporter)

Kamień milowy: ok. 1206 r.

Arabski inżynier i wynalazca Ismail al-Dżazari (właściwie Badi az-Zaman Aba al-Izz ibn Isma'il ibn ar-Razzaz al-Dżazari) (**2**) opisał w swoim traktacie *Księga wiedzy o pomysłowych urządzeniach mechanicznych* ponad pięćdziesiąt automatów: od pomysłowych zegarów wodnych po mechaniczne muzykantki potrafiące grać na instrumentach. Jeden z jego projektów to łódka z czworgiem automatycznych muzykantów, napędzana prądem wody. Inny to programowalny automat grający na bębnie, w którym wymienne kołki na obracającym się walcu decydowały o rytmie – pierwowzór mechanizmu, który później znalazł się w katarynkach i pozytywkach. Al-Dżazari jest dziś uważany za ojca inżynierii mechanicznej i robotyki.



2. Strona ilustrowana z traktatu al-Dżazariego, ok. 1206 r. (Biblioteka Bodlejańska, Oxford)

XVIII w.

Złoty wiek automatów. Oświecenie przyniosło rozkwit mechanicznych figur zwanych automatonami, które stały się sensacją europejskich dworów i dworków. Francuski inżynier Jacques de Vaucanson zbudował w 1739 roku słynnego mechanicznego flecistę (**3**) – figurę w naturalnej wielkości człowieka, zdolną grać dwanaście melodii na flecie, z realnym ruchem palców i warg. Rok później zaprezentował mechaniczną kaczkę, która mogła machać skrzydłami, jadać, a nawet – jak żądano na widowni – „trawiać" pokarm. Choć później ujawniono, że funkcja trawienia była iluzją, mechanizm skrzydeł i działanie przewodu pokarmowego robiły ogromne wrażenie na współczesnych.

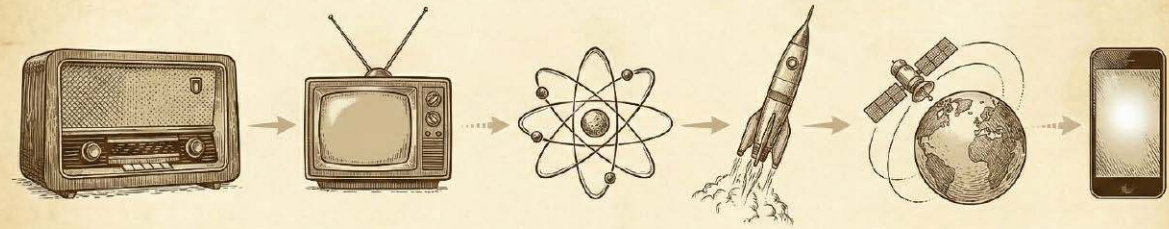


3. Wszystkie trzy Automaty Vaucansona: Gracz na Fleciku, Trawiąca Kaczka i Gracz na Tamburynie, rycina z 1738 r.

1768–1774

Szwajcarskie rodzeństwo Pierre i Henri-Louis Jacquet-Droz zbudowało trzy automaty, które do dziś są uważane za arcydzieła

eprasa.pl a93bb99ddb



mechaniki precyzyjnej. Pisarz (**4**) – chłopiec siedzący przy biurku – potrafił napisać programowaną wiadomość do czterdziestu znaków, śledzac własne pismo oczami. Rysownik szkicował cztery różne obrazki. Muzykantka grała na organach, unosząc i opuszczając piersi w takcie oddychania. Wszystkie trzy mechanizmy są do dziś sprawne i można je oglądać w Muzeum Sztuki i Historii w Neuchâtel.

Kamień milowy: 1921

Słowo robot pojawiło się po raz pierwszy w sztuce teatralnej czeskiego pisarza Karela Čapka (**5**) pt. R.U.R. (*Rossum's Universal Robots*). Słowo pochodzi z języka czeskiego: robota oznacza ciężką, męczącą pracę lub pańszczyznę. W sztuce Čapka roboty to sztuczne istoty produkowane fabrycznie do wykonywania prac zamiast ludzi – i w końcu buntujące się przeciw swoim twórcom. Motyw ten na trwałe wpisał się w kulturę popularną i do dziś kształtuje sposób, w jaki myślimy o automatyzacji i sztucznej inteligencji. Brat Karela, Josef Čapek, był pierwszą osobą, która użyła tego słowa – zaproponował je bratu podczas rozmowy o sztuce.

1954

Narodziny robotyki przemysłowej. Amerykański wynalazca George Devol opatentował pierwszego programowalnego robota przemysłowego i nadał mu nazwę Unimate (**6**). Urządzenie – ciężkie, hydrauliczne ramię sterowane magnetyczną taśmą – zostało zainstalowane w 1961 roku w zakładach General Motors w Ewing Township w stanie New Jersey. Jego zadaniem było pobieranie gorących odlewów z prasy do odlewania ciśnieniowego i układanie ich do chłodzenia – praca niebezpieczna i męcząca dla człowieka. Unimate pracował bez przerwy, powtarzając te same ruchy z dużą precyzją. Zapoczątkował epokę automatyzacji fabryk.

Kamień milowy: 1969–1978

Na Uniwersytecie Stanforda Victor Scheinman zaprojektował w 1969 roku Stanford Arm (**7**) – pierwsze ramię robotyczne w pełni sterowane elektrycznie i komputerowo, z sześcioma stopniami swobody. Był to przełom: wcześniejsze roboty przemysłowe działały hydraulicznie i miały ograniczoną precyzję. Stanford Arm pozwolił na dokładne wykonywanie złożonych trajektorii ruchu, co otworzyło drogę do zastosowan robotyki w montażu elektroniki. W 1978 roku, na bazie projektów Scheinmana, firma Unimation wprowadziła na rynek robota PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly), który przez kolejne dekady stał się standardem w liniach montażowych na całym świecie – od fabryk samochodowych po laboratoria chirurgiczne.

1986–2000

Japoński koncern Honda rozpoczął w 1986 roku tajny projekt budowy robota chodzącego na dwóch nogach. Przez ponad dekadę inżynierowie eksperymentowali z balansem, ruchem i dynamiczną stabilnością. Efektem była prezentacja w 2000 roku robota ASIMO (**8**) – Advanced Step in Innovative MObility. ASIMO potrafił chodzić, wchodzić po schodach, biegać i rozpoznawać twarze. Choć nie



4. Automaty Jacqueta-Droza (ok. 1770), Muzeum Sztuki i Historii, Neuchâtel (Rama – Own work, CC BY-SA 2.0 fr, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=481541)



5. Plakat do spektaklu RUR w reżyserii Remo Bufano, wystawionego w ramach Federal Theatre Project w Nowym Jorku w 1939 r.



6. Robot Unimate na linii montażowej General Motors, lata 60. XX w. (Frank Q. Brown, Los Angeles Times – https://digital.library.ucla.edu/catalog/ark:/21198/zz0002vfhd, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=121482544)

eprasa.pl a93bb99ddb



znalazł zastosowan komercyjnych na taką skalę, jak planowano, stał się symbolem aspiracji robotyki humanoidalnej i dowodem, że dwunożne chodzenie maszyny jest technicznie wykonalne.

lata 2000.

Robotyka wkracza do życia codziennego i medycyny. W 2002 roku firma iRobot wprowadziła na rynek odkurzacz Roomba – pierwszego robota domowego sprzedanego w milionach egzemplarzy. Był prosty: krążył po podłodze, omijając przeszkody za pomocą czujników, i wracał do stacji ładowania. Roomba udowodniła, że robot może być tanim, użytecznym produktem konsumenckim, a nie tylko urządzeniem przemysłowym. Równolegle robotyka zmieniała chirurgię. System da Vinci, wprowadzony do użytku klinicznego w 2000 roku, pozwolił chirurgom operować za pomocą miniaturowych ramion robotycznych wprowadzanych przez małe nacięcia. Ruchy rąk chirurga są precyzyjnie skalowane i filtrowane z drżeń – operacje trwają krócej, a rekonwalescencja jest szybsza. Do 2024 roku na świecie wykonano ponad dziewięć milionów operacji z użyciem systemów da Vinci.

Kamień milowy: 2005–2013

Firma Boston Dynamics (założona przez Marca Raiberta jako odgałęzienie MIT) zaprezentowała serię robotów, które zmieniły postrzeganie możliwości mechanicznego ruchu. BigDog (2005) (**9**) – czworonożny robot przeznaczony do noszenia ładunków w terenie – zachowywał równowagę na śniegu, lodzie i nierównym podłożu w sposób, który wyglądał niemal biologicznie. Atlas (2013) – humanoidalny robot o wzroście człowieka – potrafił chodzić, biegać i wykonywać salta. Nagrania robotów Boston Dynamics podrywających się po przewróceniu bądź spychanych nogami przez pracowników wywoływały na całym świecie mieszaninę zdumienia i niepokoju.

Współczesność

Fuzja robotyki i sztucznej inteligencji. Przez dekady roboty działały według ściśle zaprogramowanych instrukcji: powtarzały te same ruchy z dużą precyzją, ale nie potrafiły adaptować się do zmieniającego się środowiska. Połączenie robotów z sieciami neuronowymi i uczeniem maszynowym otworzyło zupełnie nową epokę. Współczesne roboty potrafią „nauczyć się" chwytać nieznane wcześniej przedmioty, poruszać się w nieprzewidzianych sytuacjach i współpracować z ludźmi (tzw. roboty kolaboratywne, ang. *cobots*). Humanoidalny robot Figure 02 firmy Figure AI (2024) potrafi samodzielnie składać elementy w fabryce BMW, uczony przez demonstrację – tak jak uczy się człowiek.
Robotyka kosmiczna przeżywa własną rewolucję. Łaziki Mars, Perseverance i Curiosity samodzielnie planują trasy po powierzchni Marsa, unikając przeszkód. Dron Ingenuity (**10**) wykonał pierwsze w historii loty napędzane silnikiem na innej planecie. Pytanie, które zadawał już Karel Čapek w 1921 roku – gdzie kończy się narzędzie, a zaczyna istota – staje się coraz mniej retoryczne. ■



7. Stanford Arm – pierwsze w pełni elektryczne ramię robotyczne (1969) (Gildardo Sánchez – https://www.flickr.com/photos/gildardo/6186967797/, CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=87699571)



8. Robot ASIMO firmy Honda (Vanillase – Praca własna, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17300496)



9. Robot BigDog firmy Boston Dynamics (U.S. Marine Corps photo by Lance Cpl. M. L. Meier. – Provenance page, Image page, Domena publiczna, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3492725)

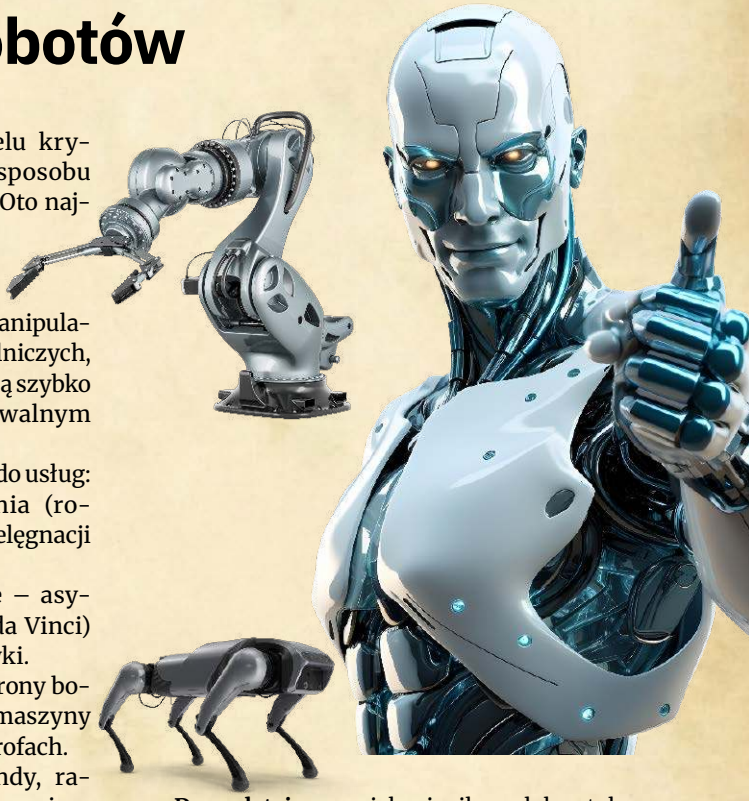


10. Dron Ingenuity (NASA, 2021)

eprasa.pl a93bb99ddb



Klasyfikacja robotów



Roboty można dzielić według wielu kryteriów – zastosowania, budowy, sposobu poruszania się czy stopnia autonomii. Oto najważniejsze z nich:

Ze względu na zastosowanie:

- **Roboty przemysłowe** – ramiona i manipulatory w liniach produkcyjnych, spawalniczych, lakierniczych i montażowych. Pracują szybko i precyzyjnie w stałym, przewidywalnym środowisku.
- **Roboty serwisowe** – przeznaczone do usług: sprzątania (Roomba), dostarczania (roboty logistyczne w magazynach), pielęgnacji chorych i osób starszych.
- **Roboty chirurgiczne i medyczne** – asystują lekarzom podczas operacji (da Vinci) lub służą do rehabilitacji i diagnostyki.
- **Roboty wojskowe i ratownicze** – drony bojowe, roboty do rozminowywania, maszyny do przeszukiwania gruzu po katastrofach.
- **Roboty kosmiczne** – łaziki, sondy, ramiona manipulacyjne na stacjach kosmicznych (Canadarm).
- **Roboty edukacyjne i domowe** – zabawki, asystenci domowi, urządzenia interaktywne dla dzieci i osób potrzebujących wsparcia.

Ze względu na budowę i sposób poruszania się:

- **Roboty stacjonarne (manipulatory)** – zakotwiczone w jednym miejscu, poruszają tylko ramieniem lub końcówką roboczą.
- **Roboty kołowe** – poruszają się na kołach lub gąsienicach; proste w budowie i energooszczędne.
- **Roboty kroczące** – na dwóch nogach (humanoidalne) lub czterech i więcej (kwadrupedy). Radzą sobie w trudnym terenie.
- **Drony latające** – wielowirnikowe lub o stałym płacie, autonomiczne lub zdalnie sterowane.
- **Roboty miękkie** – wykonane z materiałów elastycznych, inspirowane biologią; bezpieczne w kontakcie z człowiekiem.

Ze względu na autonomię:

- **Roboty zdalnie sterowane** – każdy ruch wykonywany jest na polecenie operatora (np. łaziki pierwszej generacji, drony rekreacyjne).
- **Roboty półautonomiczne** – część zadań wykonują samodzielnie, ale wymagają nadzoru i interwencji człowieka.
- **Roboty w pełni autonomiczne** – samodzielnie postrzegają środowisko, planują działania i reagują na nieprzewidziane sytuacje bez ingerencji człowieka. ■

eprasa.pl a93bb99ddb

Prenumerata kwartalnika

KURS PRAKTYCZNY AI

Praktyczne podejście. Zero marketingowej mgły!





PRENUMERATA

4 kolejne wydania drukowane
Kursu Praktycznego AI:
90,00 zł (zamiast 116,00 zł)

Zamów prenumeratę na
www.UlubionyKiosk.pl
lub zeskanuj kod QR
i zaprenumeruj w 1 minutę

Jesteś prenumeratorem Wydawnictwa AVT?
Jeden numer Kursu Praktycznego AI
z rabatem 30%
Podczas zamówienia powołaj się na swój **numer prenumeraty**

eprasa.pl a93bb99ddb